



## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Almacenamiento de energía en sistemas renovables: Baterías versus alternativas emergentes

## Energy storage in renewable systems: Batteries versus emerging alternatives

**David Santiago Ayabaca Landi**

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca-Ecuador

[davsanty907@gmail.com](mailto:davsanty907@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-3811-9253>

**Elsa Rocío Arequipa Quishpe**

Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador

[erarequipa@uce.edu.ec](mailto:erarequipa@uce.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-1238-8220>

**Juan Ennis Espinoza González**

Universidad Tecnológica de Israel, Quito-Ecuador

[e1400799852@uisrael.edu.ec](mailto:e1400799852@uisrael.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-4840-8868>

**Jorge Javier Naranjo Cruz**

Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador

[jjnaranjoc@outlook.com](mailto:jjnaranjoc@outlook.com)

<https://orcid.org/0009-0004-4830-4684>

**Autor de Correspondencia:** David Santiago Ayabaca Landi, [davsanty907@gmail.com](mailto:davsanty907@gmail.com)

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

**Recibido:** 27 agosto 2024 | **Aceptado:** 5 octubre 2024 | **Publicado online:** 9 octubre 2024

### CITACION

Ayabaca Landi, D; Arequipa Quishpe, E; Espinoza González, J y Naranjo Cruz, J. (2024) Almacenamiento de energía en sistemas renovables: Baterías versus alternativas emergentes. *Revista Social Fronteriza*; 4(5): e467. [https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4\(5\)e467](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(5)e467)



Esta obra está bajo una licencia internacional. [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





## RESUMEN

Este artículo revisa y compara las tecnologías actuales y emergentes de almacenamiento de energía en sistemas renovables, enfocándose en la competencia entre las baterías de iones de litio y alternativas innovadoras como el almacenamiento térmico y el hidrógeno. A medida que se expanden las fuentes renovables, como la energía solar y eólica, el almacenamiento eficiente se vuelve esencial para la estabilidad de las redes eléctricas. La revisión evalúa las ventajas y limitaciones de cada tecnología, ofreciendo una visión integral del estado actual y futuro del almacenamiento de energía. Aunque las baterías de iones de litio dominan el mercado por su alta densidad energética, las soluciones emergentes como el hidrógeno presentan ventajas en sostenibilidad y menor impacto ambiental. El hidrógeno, en particular, destaca como un vector energético prometedor, permitiendo el almacenamiento a gran escala y la conversión de energía excedente en combustible limpio, aunque enfrenta desafíos de eficiencia y costos de infraestructura. Por otro lado, el almacenamiento térmico ha demostrado su eficacia en aplicaciones específicas, como la energía solar concentrada. La revisión concluye que combinar diferentes tecnologías de almacenamiento puede ser clave para maximizar la eficiencia de los sistemas energéticos renovables en el futuro.

**Palabras claves:** almacenamiento de energía; baterías de iones de litio; hidrógeno renovable; energías renovables; energía híbrida

---

## ABSTRACT

This article reviews and compares current and emerging energy storage technologies in renewable systems, focusing on the competition between lithium-ion batteries and innovative alternatives such as thermal storage and hydrogen. As renewable sources like solar and wind energy expand, efficient storage becomes essential for the stability of electrical grids. The review evaluates the advantages and limitations of each technology, providing a comprehensive overview of the current and future state of energy storage. While lithium-ion batteries dominate the market due to their high energy density, emerging solutions like hydrogen offer advantages in sustainability and lower environmental impact. Hydrogen, in particular, stands out as a promising energy carrier, enabling large-scale storage and the conversion of excess energy into clean fuel, although it faces challenges in efficiency and infrastructure costs. On the other hand, thermal storage has proven effective in specific applications, such as concentrated solar energy. The review concludes that combining different storage technologies may be key to maximizing the efficiency of renewable energy systems in the future.

**Keywords:** energy storage; lithium-ion batteries; renewable hydrogen; renewable energies; hybrid energy.

---





## **1. Introducción**

El almacenamiento de energía en sistemas renovables se posiciona como un aspecto fundamental para lograr la sostenibilidad energética a nivel global. A medida que aumenta la adopción de fuentes renovables como la solar y la eólica, se vuelve imprescindible desarrollar tecnologías de almacenamiento que sean eficientes y confiables. Aunque las baterías han dominado este campo debido a su capacidad de almacenamiento, flexibilidad y madurez tecnológica, sus limitaciones en cuanto a costos, vida útil e impacto ambiental están promoviendo la exploración de alternativas emergentes, como los supercondensadores, el almacenamiento térmico y las tecnologías basadas en hidrógeno.

La selección de un sistema de almacenamiento adecuado no solo depende de su capacidad energética, sino también de su eficiencia, durabilidad y adaptabilidad a diversas aplicaciones. Por ello, es necesario realizar un análisis detallado que compare las baterías convencionales con estas alternativas emergentes para evaluar sus ventajas, desventajas y su posible influencia en la transición hacia un modelo energético más sostenible. Este artículo de revisión tiene como objetivo ofrecer una visión completa de las distintas tecnologías de almacenamiento, analizando su papel en la integración efectiva de sistemas renovables a gran escala.

### **Planteamiento del problema**

El uso creciente de energías renovables presenta el reto de gestionar su intermitencia y variabilidad. Aunque la energía solar y eólica son abundantes y limpias, dependen de condiciones climáticas que no siempre se alinean con la demanda energética. Por ejemplo, el sol no está disponible durante la noche y los vientos pueden ser inconstantes. Esta desincronización entre la generación y el consumo energético puede provocar inestabilidad en las redes eléctricas, dificultando la integración de estas fuentes en el mix energético global.

El desafío principal consiste en desarrollar soluciones de almacenamiento de energía que no solo sean eficientes y sostenibles, sino también económicamente viables para su integración en la infraestructura existente. Aunque las baterías de iones de litio predominan en el mercado, enfrentan limitaciones importantes relacionadas con su costo, seguridad y



sostenibilidad a largo plazo. Por esta razón, es crucial explorar y evaluar alternativas emergentes que puedan superar estas restricciones y proporcionar una solución factible para un sistema energético más limpio y seguro.

### **Antecedentes**

Según Jabbar et al. (2024) las baterías de iones de litio se destacan como una solución eficiente y confiable para el almacenamiento de energía en aplicaciones renovables, gracias a su alta densidad energética y su capacidad de respuesta rápida, que permiten gestionar eficazmente la intermitencia de fuentes como la solar y la eólica. Sin embargo, su adopción a largo plazo presenta desafíos significativos, como la degradación de materiales activos en los electrodos, que disminuye su capacidad y eficiencia con el tiempo, y la limitada disponibilidad de litio, que genera preocupaciones respecto a su sostenibilidad y costos. Estos problemas, sumados a los impactos ambientales asociados a la extracción y procesamiento del litio, subrayan la necesidad de explorar y desarrollar tecnologías alternativas que ofrezcan soluciones más sostenibles y duraderas para el almacenamiento de energía en el futuro.

Las tecnologías basadas en hidrógeno, como las pilas de combustible y el almacenamiento de hidrógeno comprimido, ofrecen una alta capacidad de almacenamiento y un ciclo de vida prolongado, lo que las convierte en una opción prometedora para el almacenamiento de energía a gran escala. Estas tecnologías no solo permiten almacenar grandes cantidades de energía, sino que también facilitan su transporte y distribución, lo que las hace adecuadas para su integración en diversas aplicaciones, desde el suministro de energía para comunidades remotas hasta el uso en vehículos eléctricos. Sin embargo Onete et al. (2023) la eficiencia energética global de estos sistemas sigue siendo un desafío importante, ya que se producen pérdidas significativas durante los procesos de conversión de energía eléctrica a hidrógeno (electrólisis) y de hidrógeno a energía eléctrica (reconversión en pilas de combustible). Estas pérdidas, junto con la infraestructura limitada para la producción y distribución de hidrógeno, representan obstáculos críticos que deben superarse para que estas tecnologías sean competitivas frente a otras soluciones de almacenamiento energético más establecidas.

Los supercondensadores, aunque poseen una capacidad de almacenamiento significativamente menor en comparación con las baterías convencionales,



destacan por sus altas tasas de carga y descarga, lo que los convierte en una opción excelente para aplicaciones que requieren una entrega de energía inmediata y eficiente. Estas características los hacen particularmente adecuados para sistemas que necesitan soportar cargas pico, como vehículos eléctricos, sistemas de frenado regenerativo y respaldo de energía en redes eléctricas. Además, enfatizan Loor et al. (2022) su capacidad para realizar numerosos ciclos de carga y descarga sin sufrir una degradación significativa en su rendimiento los posiciona como una tecnología duradera y de bajo mantenimiento. No obstante, su baja densidad energética sigue siendo una limitación considerable, ya que implica que, para almacenar la misma cantidad de energía que una batería, se requiere un volumen mucho mayor de supercondensadores, lo que restringe su uso en aplicaciones a gran escala donde el espacio y la capacidad de almacenamiento son factores críticos.

El almacenamiento térmico como una alternativa viable y prometedora, particularmente en aplicaciones que utilizan sistemas solares concentrados. Esta tecnología permite capturar y almacenar energía térmica generada durante el día para luego liberarla cuando la demanda lo requiere, contribuyendo así a una mayor estabilidad en la generación de energía y reduciendo significativamente la intermitencia asociada con la producción solar. Además, el almacenamiento térmico puede ser empleado en una variedad de aplicaciones, desde el suministro de electricidad hasta la calefacción y refrigeración industrial. Sin embargo, Pesantez et al. (2021) señalan que la eficiencia de conversión de la energía térmica en energía eléctrica, así como los elevados costos de instalación y mantenimiento de estos sistemas, representan desafíos importantes que limitan su adopción a gran escala. A pesar de estas barreras, el desarrollo de nuevos materiales con mejor capacidad de almacenamiento térmico y la optimización de los diseños de sistemas podrían mejorar su eficiencia y reducir los costos, lo que aumentaría su viabilidad como una opción competitiva en el mercado de almacenamiento energético.

Al analizar el potencial de los sistemas híbridos que integran diversas tecnologías de almacenamiento, como baterías y supercondensadores, con el fin de maximizar el rendimiento y extender la vida útil del sistema energético en su conjunto. Estos sistemas combinados permiten aprovechar las fortalezas de cada tecnología, por ejemplo, utilizando baterías para el almacenamiento a largo plazo y supercondensadores para gestionar picos de demanda y proporcionar una respuesta rápida. De este modo, se mejora la



eficiencia global y se reduce la degradación de los componentes, lo que incrementa la fiabilidad y la estabilidad operativa. No obstante Castro et al. (2023) a pesar de sus numerosos beneficios, la implementación de estos sistemas híbridos presenta desafíos significativos, como la complejidad en su diseño y la necesidad de sofisticados sistemas de gestión para coordinar el funcionamiento de los diferentes componentes. Además, los costos iniciales elevados asociados con la instalación y el mantenimiento de estas tecnologías pueden disuadir su adopción en ciertos mercados. A pesar de estas limitaciones, el avance en la investigación y la reducción de costos podrían facilitar su integración futura, posicionando a los sistemas híbridos como una opción viable y eficiente para el almacenamiento de energía en el contexto de las redes eléctricas inteligentes y la expansión de las energías renovables.

### **Fundamentación teórica**

Establece que las baterías de iones de litio han experimentado avances notables en las últimas décadas, especialmente en el desarrollo de nuevos materiales catódicos y electrolitos que han mejorado su capacidad de almacenamiento, eficiencia y seguridad operativa. Sin embargo, De Oliveira et al. (2019) también señala que estos avances han permitido una mayor densidad energética, una vida útil prolongada y una menor susceptibilidad a problemas como el sobrecalentamiento y los cortocircuitos, lo que las hace más adecuadas para aplicaciones en vehículos eléctricos, dispositivos electrónicos y sistemas de almacenamiento de energía a gran escala. Que persisten preocupaciones importantes en torno a su impacto ambiental, particularmente en lo que respecta a la extracción y procesamiento del litio y otros materiales como el cobalto y el níquel, cuyos procesos de extracción son intensivos en energía y agua y están asociados con efectos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades locales. Además, la gestión de residuos y el reciclaje de baterías al final de su vida útil representan desafíos significativos, ya que la acumulación de baterías desechadas puede generar contaminación por metales pesados y productos químicos tóxicos. Estos aspectos subrayan la necesidad urgente de desarrollar métodos más sostenibles para la producción y reciclaje de baterías, así como de investigar alternativas que reduzcan la dependencia de materiales críticos y mitiguen su impacto ambiental.

Cuando se produce a partir de fuentes renovables mediante electrólisis, tiene el potencial de servir como un portador de energía limpio y versátil, esencial para la transición energética global. Este hidrógeno puede ser utilizado en diversas aplicaciones, como



generación de electricidad, calefacción, transporte e industria, y contribuye a la descarbonización de sectores difíciles de electrificar directamente. Sin embargo Martinelli et al. (2019) también subraya que la investigación actual se centra en superar desafíos significativos, como mejorar la eficiencia de los procesos de electrólisis y desarrollar infraestructuras adecuadas para la distribución y almacenamiento del hidrógeno. Estos avances son cruciales para reducir los costos y facilitar la adopción masiva del hidrógeno, asegurando su competitividad frente a otras tecnologías de almacenamiento y portadores de energía en el futuro.

Aborda cómo los supercondensadores pueden desempeñar un papel complementario a las baterías en sistemas híbridos, aportando beneficios significativos en términos de gestión de energía. Afirma Gonzalo et al. (2020) estos dispositivos destacan por su capacidad para soportar cargas pico y proporcionar una respuesta rápida, lo cual es crucial en aplicaciones que requieren variaciones rápidas en la demanda de energía. Al integrar supercondensadores con baterías, se pueden aprovechar las fortalezas de ambas tecnologías: las baterías para el almacenamiento a largo plazo y los supercondensadores para la entrega rápida de energía. Esta combinación mejora la eficiencia general del sistema, optimiza la vida útil de los componentes y aumenta la estabilidad operativa. A pesar de los avances en el desarrollo de supercondensadores, su adopción masiva enfrenta retos importantes, como la necesidad de mejorar su capacidad de almacenamiento para que sea comparable a la de las baterías y la reducción de sus costos de producción. Estos desafíos deben ser superados para que los supercondensadores puedan ser implementados de manera más amplia en sistemas de energía renovable y en aplicaciones de almacenamiento energético a gran escala.

Analiza diversas técnicas de almacenamiento térmico, como el uso de sales fundidas y materiales de cambio de fase, que facilitan el almacenamiento de grandes cantidades de energía térmica. Las sales fundidas, por ejemplo, son capaces de almacenar energía en forma de calor a altas temperaturas, lo que permite su liberación de manera controlada cuando es necesario. Los materiales de cambio de fase, por otro lado, absorben y liberan energía durante las transiciones de estado, como el cambio de sólido a líquido, lo que proporciona un medio eficiente para el almacenamiento y la liberación de calor en una variedad de condiciones. Estas tecnologías encuentran aplicaciones particularmente efectivas en plantas de energía solar concentrada, donde la capacidad de almacenar y liberar calor de manera



eficiente es esencial para mantener una generación continua de electricidad, incluso cuando el sol no está disponible. No obstante Alvarez et al. (2023) también resalta que la eficiencia de estas técnicas depende en gran medida de la gestión térmica y el diseño del sistema. La optimización de la transferencia de calor, la reducción de pérdidas térmicas y la integración adecuada con el sistema de generación son factores críticos que afectan el rendimiento general. Por lo tanto, para maximizar los beneficios del almacenamiento térmico, es necesario un enfoque integral que considere tanto la selección de materiales como el diseño del sistema de almacenamiento.

La combinación de tecnologías de almacenamiento, como baterías, supercondensadores y almacenamiento térmico, ofrece una solución integrada que maximiza tanto la eficiencia como la resiliencia de los sistemas energéticos. Al integrar estas tecnologías, se aprovechan las fortalezas individuales de cada una, como la capacidad de las baterías para el almacenamiento a largo plazo y la alta densidad energética, la habilidad de los supercondensadores para gestionar picos de demanda y la capacidad del almacenamiento térmico para acumular grandes cantidades de energía térmica. Propone Espinosa et al. (2023) que este enfoque requiere una planificación cuidadosa y un entendimiento profundo de las características y comportamientos de cada tecnología, así como una adecuada integración en el sistema de gestión de energía para garantizar un funcionamiento eficiente y estable. La implementación de sistemas híbridos no solo mejora la capacidad de respuesta ante fluctuaciones en la oferta y demanda de energía, sino que también fortalece la estabilidad y seguridad operativa del sistema global, facilitando la transición hacia un modelo energético más sostenible.

La integración de sistemas de almacenamiento en redes eléctricas basadas en energías renovables demanda no solo avances tecnológicos, sino también el establecimiento de un marco regulatorio y económico que respalde su adopción. Para que estos sistemas de almacenamiento sean efectivos y puedan ser implementados a gran escala, es fundamental que existan incentivos adecuados que fomenten la inversión en infraestructuras necesarias. Esto incluye la provisión de subsidios o créditos fiscales para la instalación de tecnologías de almacenamiento, así como la creación de políticas que incentiven la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en este campo. Enfatiza Nuñez et al. (2022) que la formulación de políticas que apoyen la innovación y reduzcan las barreras

económicas es crucial para superar los desafíos asociados con la integración de sistemas de almacenamiento en redes eléctricas renovables. Un entorno regulatorio favorable y una planificación estratégica son esenciales para garantizar que las tecnologías de almacenamiento puedan contribuir eficazmente a la estabilidad y eficiencia de las redes eléctricas, facilitando así una transición exitosa hacia un sistema energético más sostenible.

### **Herramientas**

La metodología de este artículo se basará en una revisión bibliográfica exhaustiva de diversas fuentes relevantes, tales como publicaciones científicas, informes técnicos y literatura especializada sobre tecnologías de almacenamiento de energía. Esta revisión abarcará el análisis de estudios de caso detallados y revisiones anteriores para proporcionar una comprensión integral del estado actual del conocimiento en el campo. Además, se llevará a cabo un análisis crítico de los datos y hallazgos presentados en la literatura existente, con el fin de identificar y sintetizar las tendencias emergentes y los desarrollos recientes. Este enfoque permitirá consolidar la información disponible y señalar áreas que requieren más investigación y desarrollo, contribuyendo así a un entendimiento más profundo de cómo las tecnologías de almacenamiento pueden evolucionar y ser implementadas en sistemas energéticos futuros.

### **Objetivo**

Este artículo tiene como propósito comparar las baterías tradicionales con las nuevas alternativas de almacenamiento de energía en sistemas renovables, evaluando aspectos clave como su eficiencia, viabilidad económica y sostenibilidad ambiental. La finalidad es identificar cuál de estas tecnologías proporciona el mejor soporte para la integración efectiva de energías renovables a gran escala.

### **Pregunta**

Con el aumento de la adopción de energías renovables, surge la necesidad de determinar cuál tecnología de almacenamiento de energía ofrece el mejor soporte para su integración en el mix energético global. La pregunta central de este estudio es: ¿Cuál tecnología de almacenamiento de energía resulta ser la más eficiente y sostenible para apoyar la integración de sistemas renovables en el mix energético global: las baterías tradicionales o las nuevas alternativas emergentes? Esta cuestión busca comparar las características de ambos enfoques, evaluando su capacidad para optimizar el rendimiento y la estabilidad de las



redes eléctricas basadas en energías renovables.

## **2. Materiales y Métodos**

La metodología empleada en este estudio se basó en un enfoque cualitativo, el cual permitió un análisis profundo y detallado de las tecnologías de almacenamiento de energía. Este enfoque fue seleccionado debido a su capacidad para proporcionar una comprensión integral de las características, ventajas y desafíos asociados con las baterías tradicionales y las alternativas emergentes. El análisis cualitativo facilitó la identificación de patrones y tendencias en la literatura existente, así como la evaluación de las implicaciones de cada tecnología en el contexto de sistemas renovables.

El método utilizado para la investigación fue la investigación documental, que consistió en una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relevante. Esta metodología permitió recopilar y analizar una amplia gama de fuentes, proporcionando una visión comprensiva de los desarrollos y debates actuales en el campo del almacenamiento de energía. La investigación documental fue fundamental para construir un marco teórico sólido y para identificar las tecnologías emergentes y sus posibles impactos.

Las técnicas e instrumentos empleados en la revisión documental incluyeron la consulta de bases de datos académicas como Scopus y SciELO. Estas plataformas ofrecieron acceso a estudios y artículos de alta calidad, facilitando la obtención de información relevante y actualizada. La revisión de documentos en estas bases de datos permitió una evaluación crítica de los estudios existentes, contribuyendo a una mejor comprensión de las capacidades y limitaciones de las tecnologías de almacenamiento.

La validación de los datos recopilados se llevó a cabo utilizando el software Excel, que se utilizó para organizar, procesar y analizar la información. Este software permitió la creación de bases de datos y tablas que facilitaron la comparación de diferentes tecnologías y la identificación de tendencias emergentes. La aplicación de Excel como herramienta de validación garantizó la precisión y coherencia de los datos, asegurando la integridad y fiabilidad de los resultados presentados en el artículo.



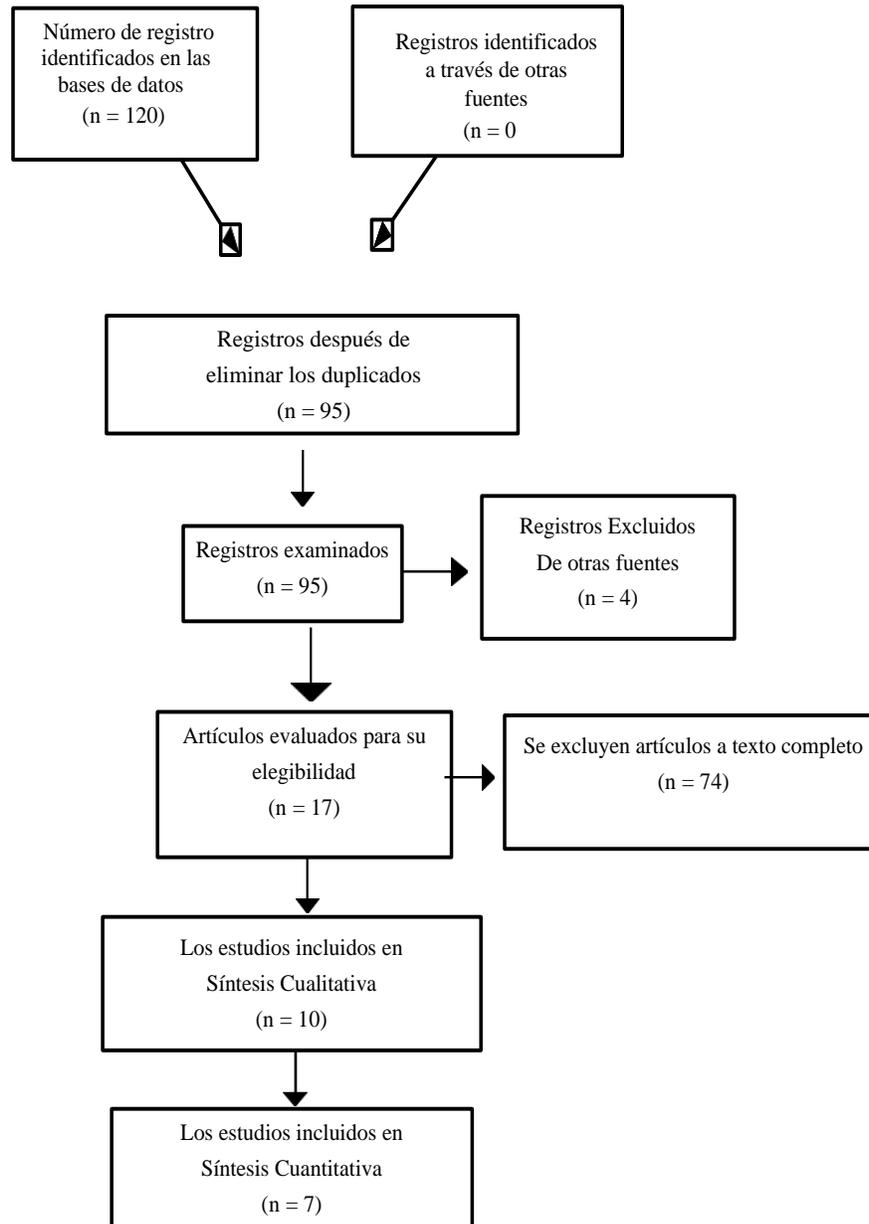


Se utilizó el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para realizar una revisión sistemática sobre tecnologías de almacenamiento energético en el contexto de energías renovables. Primero, se identificaron 120 registros a través de búsquedas exhaustivas en bases de datos académicas como Scopus, SciElo. Durante el proceso, se detectaron y eliminaron 25 registros duplicados, lo que redujo el número de registros únicos a 95.

A continuación, se excluyeron 4 registros provenientes de otras fuentes que no cumplían con los criterios establecidos. Se procedió a una evaluación detallada de los 95 registros restantes, resultando en la exclusión de 74 artículos basados en la evaluación de texto completo, debido a que no cumplían con los criterios técnicos o de relevancia.

Se evaluaron 17 artículos para determinar su legibilidad y pertinencia, asegurando que estos estudios cumplieran con los requisitos de calidad y aplicabilidad para la revisión. Finalmente, de estos 17 artículos, se incluyeron 10 en la síntesis cualitativa, los cuales proporcionaron una comprensión integral de las características y desempeño de las tecnologías de almacenamiento. Además, 7 estudios fueron incorporados en la síntesis cuantitativa, ofreciendo datos numéricos y análisis estadísticos sobre las tecnologías evaluadas. Este proceso garantizó una revisión sistemática rigurosa, asegurando la inclusión de estudios relevantes y de alta calidad.





### 3. Resultados

Se presentaron los resultados clave de la revisión sistemática organizados en tablas para ofrecer una visión clara y concisa de los aspectos evaluados en el estudio.

Las tablas destacaron las principales ventajas, desafíos y necesidades asociadas con distintas tecnologías de almacenamiento de energía, como baterías de iones de litio, tecnologías basadas en hidrógeno, supercondensadores, almacenamiento térmico y sistemas híbridos. También se abordó la integración de sistemas de almacenamiento en redes eléctricas renovables y los requisitos regulatorios y económicos necesarios para su adopción efectiva. Estas tablas facilitaron una comparación directa y detallada de cada tecnología, permitiendo identificar tendencias emergentes y áreas que requerían mayor investigación y desarrollo.

**Tabla 1***Ventajas y Desventajas de las Tecnologías de Almacenamiento de Energía*

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Referencia</b>
<b>Baterías de iones de litio</b>	Alta densidad energética; respuesta rápida; efectivas para manejar intermitencias.	Degradación de materiales; disponibilidad limitada de litio; costos y sostenibilidad a largo plazo.	Jabbar et al. (2024)
<b>Pilas de combustible de hidrógeno</b>	Alta capacidad de almacenamiento; ciclo de vida prolongado; flexibilidad en aplicaciones.	Pérdidas significativas en conversión; infraestructura limitada; altos costos.	Onete et al. (2023)
<b>Supercondensadores</b>	Altas tasas de carga/descarga; numerosos ciclos sin degradación significativa; bajo mantenimiento.	Baja densidad energética; gran volumen necesario para almacenamiento a gran escala.	Loor et al. (2022)
<b>Almacenamiento térmico</b>	Captura y liberación controlada de energía; reducción de intermitencias solares; múltiples aplicaciones.	Eficiencia de conversión limitada; altos costos de instalación y mantenimiento.	Pesantez et al. (2021)
<b>Sistemas híbridos</b>	Combina ventajas de baterías y supercondensadores; mayor eficiencia y vida útil; respuesta rápida.	Complejidad de diseño; altos costos iniciales y de mantenimiento; sistemas de gestión sofisticados.	Castro et al. (2023)

Nota. Las principales tecnologías de almacenamiento de energía presentaron ventajas y desafíos únicos. Las baterías de iones de litio se destacaron por su eficiencia, pero enfrentaron problemas de sostenibilidad y costos. Las pilas de combustible de hidrógeno ofrecieron alta capacidad, aunque requirieron una infraestructura costosa. Los supercondensadores permitieron cargas rápidas, pero su baja densidad energética limitó su uso. El almacenamiento térmico fue eficaz en aplicaciones solares, aunque presentó altos costos y desafíos de conversión. Finalmente, los sistemas híbridos combinaron beneficios de diferentes tecnologías, pero su complejidad y costos iniciales dificultaron su adopción.

**Tabla 2***Desafíos y oportunidades en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento*

Tecnología	Desafíos	Oportunidades	Referencia
<b>Baterías de iones de litio</b>	Impacto ambiental de la extracción de materiales; reciclaje complejo; contaminación por metales pesados.	Desarrollo de nuevos materiales más sostenibles y métodos de reciclaje.	De Oliveira et al. (2019)
<b>Hidrógeno renovable</b>	Mejorar eficiencia en electrólisis; infraestructura para distribución y almacenamiento.	Reducción de costos; mayor adopción en aplicaciones difíciles de electrificar.	Martinelli et al. (2019)
<b>Supercondensadores</b>	Capacidad de almacenamiento limitada; altos costos de producción.	Incremento de capacidad; reducción de costos; aplicaciones en sistemas híbridos.	Gonzalo et al. (2020)
<b>Almacenamiento térmico</b>	Gestión térmica compleja; selección de materiales adecuados; pérdidas térmicas significativas.	Optimización de transferencia de calor; desarrollo de nuevos materiales.	Alvarez et al. (2023)
<b>Sistemas híbridos</b>	Coordinación de diferentes tecnologías; costos iniciales altos.	Maximizar eficiencia y resiliencia de sistemas energéticos.	Espinosa et al. (2023)

Nota. La tabla analizó los desafíos y oportunidades de las tecnologías de almacenamiento de energía. Las baterías de iones de litio enfrentaron problemas ambientales y de reciclaje, mientras que el hidrógeno renovable requirió mejoras en eficiencia e infraestructura. Los

supercondensadores y el almacenamiento térmico buscaron incrementar la capacidad y reducir costos, y aunque los sistemas híbridos resultaron complejos, mostraron potencial para optimizar la eficiencia y resiliencia energética.

**Tabla 3***Integración de tecnologías de almacenamiento de redes eléctricas*

Área de Integración	Descripción	Recomendaciones / Soluciones Propuestas	Referencia
<b>Regulación y Políticas</b>	Falta de incentivos para inversión en almacenamiento; necesidad de políticas que promuevan la innovación.	Establecer subsidios, créditos fiscales; políticas de apoyo a I+D.	Núñez et al. (2022)
<b>Infraestructura y Costos</b>	Altos costos de instalación y mantenimiento; necesidad de infraestructura adecuada para almacenamiento.	Planificación estratégica y desarrollo de infraestructura específica.	Núñez et al. (2022)
<b>Tecnologías de Almacenamiento Combinadas</b>	Sinergia entre diferentes tecnologías de almacenamiento para maximizar eficiencia y estabilidad operativa.	Integración de sistemas híbridos; mejora en gestión de energía y coordinación.	Espinosa et al. (2023)

Nota. El análisis abordó las áreas clave para la integración del almacenamiento de energía. En el ámbito de regulación y políticas, se identificó la necesidad de incentivos y políticas que fomentaran la inversión e innovación, recomendando subsidios y créditos fiscales. En cuanto a infraestructura y costos, se resaltó la importancia de la planificación estratégica y el desarrollo de infraestructura específica para reducir los altos costos de instalación y mantenimiento. En el caso de las tecnologías combinadas, se propuso la sinergia entre diferentes sistemas para maximizar la eficiencia y estabilidad operativa, promoviendo el uso de sistemas híbridos y una gestión energética mejorada.

**Tabla 4***Potencial de aplicaciones de tecnologías emergentes*

Tecnología	Aplicaciones Potenciales	Limitaciones Principales	Referencia
<b>Baterías de iones de litio</b>	Vehículos eléctricos; almacenamiento en redes	Degradación de capacidad; limitaciones en	De Oliveira et al. (2019)

Tecnología	Aplicaciones Potenciales	Limitaciones Principales	Referencia
<b>Hidrógeno renovable</b>	eléctricas; dispositivos electrónicos. Generación de electricidad; transporte; industria; calefacción.	disponibilidad de materiales. Eficiencia limitada; infraestructura de producción y distribución insuficiente.	Martinelli et al. (2019)
<b>Supercondensadores</b>	Soporte en sistemas de energía; aplicaciones en vehículos eléctricos y frenado regenerativo.	Baja densidad energética; capacidad de almacenamiento insuficiente.	Gonzalo et al. (2020)
<b>Almacenamiento térmico</b>	Plantas de energía solar concentrada; calefacción y refrigeración industrial.	Eficiencia de conversión; altos costos de instalación.	Alvarez et al. (2023)
<b>Sistemas híbridos</b>	Redes eléctricas inteligentes; almacenamiento a largo y corto plazo; gestión de picos de demanda.	Complejidad en integración y gestión; altos costos de implementación.	Espinosa et al. (2023)

Nota. Las tecnologías de almacenamiento de energía tuvieron diversas aplicaciones y limitaciones. Las baterías de iones de litio se utilizaron en vehículos eléctricos y redes eléctricas, pero sufrieron degradación y escasez de materiales. El hidrógeno renovable se aplicó en la generación de electricidad y transporte, aunque enfrentó problemas de eficiencia e infraestructura. Los supercondensadores resultaron ideales para sistemas de energía, pero presentaron baja densidad energética. El almacenamiento térmico fue útil en plantas solares, pero experimentó ineficiencia y altos costos de instalación. Finalmente, los sistemas híbridos optimizaron la gestión en redes eléctricas, aunque presentaron desafíos en integración y costos.

## Tabla 5

### *Almacenamiento de Energía en Sistemas Renovables*

Tema	Autor	Resumen	URL
Red para la Integración a Gran Escala de Energías	Medina (2024)	Se analizan los avances en baterías de iones de litio y su impacto	<a href="https://doi.org/10.14483/23448393.21950">https://doi.org/10.14483/23448393.21950</a>



Tema	Autor	Resumen	URL
Renovables en Sistemas Eléctricos (RIBIERSE-CYTED, 723RT0150): Resultados 2023		ambiental, así como alternativas sostenibles.	
Análisis de las variables energías renovables en el sistema eléctrico español basado en distribuciones probabilísticas kernel	Parrado (2020)	Este estudio discute el potencial del hidrógeno renovable como portador de energía y sus limitaciones actuales.	<a href="https://doi.org/10.6036/9892">https://doi.org/10.6036/9892</a>
Topologías para la interconexión de baterías y supercondensadores en microrredes residenciales con generación intermitente	Narváez (2020)	Se exploran las capacidades y aplicaciones de los supercondensadores, destacando sus ventajas y desventajas.	<a href="https://doi.org/10.14483/23448393.15668">https://doi.org/10.14483/23448393.15668</a>
Una aproximación geoespacial para la estimación de la generación de energía fotovoltaica en Sonora	Coronado (2024)	El artículo analiza las técnicas de almacenamiento térmico, su eficiencia y las oportunidades de mejora.	<a href="https://doi.org/10.14350/rig.60765">https://doi.org/10.14350/rig.60765</a>
Crowdlending para proyectos de energías renovables: factores clave para mejorar el rendimiento	Vásquez et al. (2022)	Este trabajo investiga la sinergia entre tecnologías de almacenamiento para maximizar la eficiencia y estabilidad operativa.	<a href="https://doi.org/10.1108/ARLA-07-2021-0135">https://doi.org/10.1108/ARLA-07-2021-0135</a>
Inversión ambientalmente sostenible: Dinámica entre índices temáticos mundiales	Gabriel (2019)	Se aborda la regulación y las políticas necesarias para fomentar la inversión en almacenamiento de energía.	<a href="https://doi.org/10.5295/cdg.150545vg">https://doi.org/10.5295/cdg.150545vg</a>

Nota. La investigación sobre el almacenamiento de energía en sistemas renovables abarcó una variedad de enfoques y tecnologías. Se destacaron los avances en baterías de iones de litio y el análisis de su impacto ambiental, así como el potencial del hidrógeno renovable y sus desafíos de infraestructura. Además, se exploraron las capacidades de los



supercondensadores en microrredes residenciales y las técnicas de almacenamiento térmico para mejorar la eficiencia energética. También se estudiaron estrategias para fomentar proyectos de energías renovables y la importancia de políticas regulatorias que apoyaran la inversión en tecnologías de almacenamiento de energía, promoviendo una transición energética más sostenible.

#### **4. Discusión**

Obtenidos en la revisión sistemática revela una visión amplia y detallada de las principales tecnologías de almacenamiento de energía, destacando sus ventajas, desafíos y necesidades, según los autores revisados. Jabbar et al. (2024) resaltan que las baterías de iones de litio ofrecen alta densidad energética y capacidad de respuesta rápida, pero enfrentan problemas relacionados con la degradación de materiales, la disponibilidad limitada de litio y la sostenibilidad a largo plazo. Por otro lado, Onete et al. (2023) señalan que las pilas de combustible de hidrógeno, aunque presentan una alta capacidad de almacenamiento y flexibilidad en aplicaciones, sufren pérdidas significativas en la conversión de energía y requieren una infraestructura costosa para su implementación.

Loor et al. (2022) destacan que los supercondensadores, aunque permiten ciclos de carga y descarga rápidos y sin degradación significativa, tienen una baja densidad energética y requieren un gran volumen para almacenamiento a gran escala, lo que limita su aplicabilidad. Pesantez et al. (2021) abordan el almacenamiento térmico, señalando su efectividad en la reducción de intermitencias solares y su amplia aplicabilidad, aunque con limitaciones en la eficiencia de conversión y altos costos de instalación y mantenimiento.

Los sistemas híbridos, como lo indican Castro et al. (2023), combinan las ventajas de diferentes tecnologías de almacenamiento, proporcionando una mayor eficiencia y vida útil en aplicaciones energéticas complejas. Sin embargo, la complejidad de su diseño, así como los elevados costos iniciales y de mantenimiento, representan barreras significativas para su adopción masiva.

En cuanto a las oportunidades de desarrollo, De Oliveira et al. (2019) sugieren que la innovación en materiales y técnicas de reciclaje podría mitigar algunos de los

problemas ambientales asociados con las baterías de iones de litio. Martinelli et al. (2019) proponen que la reducción de costos y la mejora de la infraestructura para el hidrógeno renovable son esenciales para su expansión en sectores difíciles de electrificar. Gonzalo et al. (2020) subrayan la necesidad de incrementar la capacidad de almacenamiento y reducir los costos de producción de los supercondensadores para hacerlos competitivos. Finalmente, Alvarez et al. (2023) recomiendan optimizar la gestión térmica y desarrollar nuevos materiales para mejorar la eficiencia del almacenamiento térmico.

La integración de estas tecnologías en redes eléctricas renovables, Espinosa et al. (2023) y Nuñez et al. (2022) enfatizan la importancia de implementar políticas regulatorias que promuevan la inversión en investigación y desarrollo (I+D) y la creación de infraestructura adecuada. Proponen establecer subsidios y créditos fiscales como incentivos para facilitar la adopción de estas tecnologías emergentes y, en particular, la implementación de sistemas híbridos, que tienen el potencial de maximizar la eficiencia y la resiliencia operativa en sistemas energéticos.

La revisión identifica que cada tecnología de almacenamiento de energía tiene sus propios beneficios y desafíos, y su adopción efectiva dependerá no solo de la mejora tecnológica, sino también de un marco regulatorio y económico que apoye su integración y desarrollo a largo plazo.

## **5. Conclusión**

Este artículo resalta la importancia del almacenamiento de energía en la integración de sistemas renovables, comparando las baterías tradicionales con alternativas emergentes. A través de un análisis exhaustivo de aspectos como la eficiencia, viabilidad económica y sostenibilidad ambiental, se evidencia que cada tecnología presenta características únicas que afectan su aplicabilidad en contextos específicos. Las baterías de iones de litio, aunque eficientes y ampliamente utilizadas, enfrentan desafíos relacionados con su sostenibilidad y costos a largo plazo. Alternativas como el hidrógeno renovable y los supercondensadores ofrecen promesas significativas, pero también presentan limitaciones que requieren atención, especialmente en términos de infraestructura y capacidad de almacenamiento.



Las tecnologías híbridas emergen como una opción viable, combinando las ventajas de diferentes sistemas para maximizar la eficiencia y la resiliencia energética. Esta sinergia no solo optimiza el uso de recursos disponibles, sino que también puede adaptarse mejor a las fluctuaciones en la generación y demanda de energía. La investigación sugiere que, para lograr una integración efectiva de energías renovables a gran escala, es crucial fomentar la innovación y desarrollar políticas que apoyen la investigación y la inversión en estas tecnologías.

El avance hacia un futuro energético más sostenible depende de la capacidad para superar los desafíos actuales y aprovechar las oportunidades que ofrecen tanto las baterías tradicionales como las alternativas emergentes en el campo del almacenamiento de energía. Este enfoque integral permitirá no solo la optimización de recursos, sino también la creación de un sistema energético más robusto y adaptable a las demandas del futuro. La colaboración entre los sectores público y privado, junto con el compromiso de los investigadores y la industria, será fundamental para garantizar el desarrollo de soluciones innovadoras que contribuyan a la transición hacia un modelo energético más limpio y eficiente.

La necesidad de adoptar un enfoque multidimensional en el almacenamiento de energía se hace evidente al considerar las diversas aplicaciones y contextos en los que estas tecnologías pueden ser implementadas.

La interconexión de redes eléctricas, el uso en vehículos eléctricos y la integración con sistemas de energía renovable requieren soluciones personalizadas que maximicen el rendimiento y minimicen el impacto ambiental. Asimismo, la educación y la sensibilización sobre las ventajas y desventajas de cada tecnología son cruciales para fomentar una adopción informada y consciente. Con el creciente interés en la sostenibilidad y la lucha contra el cambio climático, es esencial que tanto los investigadores como los responsables de la formulación de políticas trabajen de la mano para establecer marcos regulatorios que no solo promuevan la innovación, sino que también aseguren la equidad en el acceso a estas tecnologías. En última instancia, el futuro del almacenamiento de energía en sistemas renovables radica en la capacidad para innovar y colaborar de manera efectiva, garantizando que las soluciones implementadas sean accesibles y beneficiosas para todos.





## **Conflicto de Intereses**

Los autores declaran que este estudio no presenta conflictos de intereses y que, por tanto, se ha seguido de forma ética los procesos adaptados por esta revista, afirmando que este trabajo no ha sido publicado en otra revista de forma parcial o total.





## Referencias Bibliográficas

- Alvarez, I., Cruz, C., Enriquez, E., Sanchez, S., & Torres, M. (2023). Materiales activados alcalinos e híbridos: alternativa al cemento Portland como medio de almacenamiento de energía solar térmica. *Materiales activados alcalinamente e híbridos: alternativas al cemento Portland como medio de almacenamiento de energía térmica. ElSevier*, 62(2), 160-173. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.11.006>
- Castro, T. I., Restrepo, V. S., Cardona, M., & Hernando, G. (2023). Modelos técnico-económicos de sistemas híbridos con energías renovables para zonas rurales. *Revista unal, DYNA*, 90(226). <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n226.106106>
- Coronado, A. L., & Galeana, P. J. (2024). Una aproximación geoespacial para la estimación de la generación de energía fotovoltaica en Sonora. *Investigaciones Geográficas*(113). <https://doi.org/10.14350/rig.60765>
- De Oliveira, d. S., Guilherme, C. V., Fontes, L. M., & Geraldo, d. F. (2019). Método hidrometalúrgico para reciclagem de metais terras raras, cobalto, níquel, ferro e manganês de eletrodos negativos de baterias exauridas de Ni-MH de telefone celular. *Química Nova*, 1(31). <https://doi.org/10.1590/S0100-40422014000100005>
- Espinosa, S. T., & Domínguez, P. R. (2023). Influencia de la densidad de potencia y geometría de cladodios jóvenes de cactus (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.) en la cinética de secado intermitente por microondas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 22(1). <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2965>
- Gabriel, V. (2019). Inversión ambientalmente sostenible: Dinámica entre índices temáticos mundiales. *Cuadernos De Gestión*, 19(1), 41–62. <https://doi.org/10.5295/cdg.150545vg>
- Gonzalo, P. H., Frechoso, E. F., & Gonzalez, L. J. (2020). Análisis de las variables energías renovables en el sistema eléctrico español basado en distribuciones probabilísticas kernel. *DYNA*, 96, 179-185. <https://doi.org/10.6036/9892>
- Jabbar, M. H., Abdullah, A. K., & Ali, F. M. (2024). Implementación de soluciones de electricidad de microrredes inteligentes para comunidades rurales utilizando un sistema de microrredes híbrido basado en fuentes de energía renovables. *Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 3. <https://doi.org/10.56294/sctconf2024833>
- Loor, V. C., & Loor, C. M. (2022). Simulación de un sistema de almacenamiento híbrido de baterías y supercondensadores aplicado en un sistema fotovoltaico. *Revista Internacional de Estudios Interdisciplinarios*, 3(6), 71-81. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.486>
- Martinelli, H., Castro, R. V., & Puszkil, J. (2019). Estudio y caracterización del efecto de compuestos con titanio sobre el sistema hidruro Li-B-Mg-H con alta capacidad de almacenamiento de hidrógeno. *Revista Matéria (Rio de Janeiro)*, 2(23). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180002.0459>
- Medina, Q. M., Serra, F. M., Baier, F. C., Montoya, G. O., & al, e. (2024). Red para la Integración a Gran Escala de Energías Renovables en Sistemas Eléctricos (RIBIERSE-CYTED, 723RT0150): Resultados 2023. *Hogar Universidad distrital Francisco Jose de Caldas*, 29(1). <https://doi.org/10.14483/23448393.21950>
- Narváez, C. E., Cortés, G. C., & Trujillo, R. C. (2020). Topologías para la interconexión de baterías y supercondensadores en microrredes residenciales con generación intermitente. *Hogar Ingeniería eléctrica y electrónica*, 25(1). <https://doi.org/10.14483/23448393.15668>
- Núñez, I., Cano, E., Rovetto, C., & al, e. (2022). *Tecnologías clave aplicadas a la optimización de sistemas de redes inteligentes basados en Internet de las cosas: una revisión*. V Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil (AmITIC). <https://doi.org/10.1109/AmITIC55733.2022.9941270>
- Onete, C. B., Budz, S., Teodorescu, I. B., Chița, S. D., Sava, Ș., & Bucur, C. (2023). The relationship between renewable energy and blockchain as a sustainable technology tool. *Amfiteatru Economic*, 64( 919-932), 25. <https://doi.org/10.24818/EA/2023/64/919>
- Parrado, H. G., Frechoso, E. F., & Miguel, G. L. (2020). Análisis de las variables





- energías renovables en el sistema eléctrico español basado en distribuciones probabilísticas kernel. *Dyna ingeniería e industria*, 96, 179-185. <https://doi.org/10.6036/9892>
- Pesantez, J. P., Ríos, V. A., & González, R. J. (2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. *Revista Politécnica*, 2(47), 7–16. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>
- Vásquez, O. L., Lassala, C. U., & Ribeiro, S. (2022). Crowdlending para proyectos de energías renovables: factores claves para mejorar el desempeño. *Academia Revista Latinoamericana de Administración*, 35(2), 223-238. <https://doi.org/10.1108/ARLA-07-2021-0135>

