

CELDAS DE HIDRÓGENO FRENTE A BATERÍAS TRADICIONALES: CLAVES PARA UNA ENERGÍA MÁS SOSTENIBLE

HYDROGEN CELLS VERSUS TRADITIONAL BATTERIES: KEYS TO MORE SUSTAINABLE ENERGY

Gullifa, Silvio¹

Pérez, Claudio²

Corino, Leonardo³

Gullifa, S., Pérez, C., Corino, L. (2025). Celdas de hidrógeno frente a baterías tradicionales: claves para una energía más sostenible. *Revista INNOVA, Revista argentina de Ciencia y Tecnología*, 16.

RESUMEN

El almacenamiento energético es un componente clave en la transición hacia sistemas más sostenibles y eficientes. Este artículo realiza un análisis comparativo entre las baterías de hidrógeno —particularmente las celdas de combustible— y las tecnologías tradicionales de almacenamiento, incluyendo plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-hierro. Se examinan variables críticas como la densidad energética,

¹ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina / silviogullifa@yahoo.com.ar

² Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina / magistercperez@gmail.com

³ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina

la velocidad de recarga, la vida útil, el impacto ambiental y los costos operativos, con el objetivo de identificar los escenarios en los que el hidrógeno representa una alternativa viable y competitiva. Además, se contextualiza la evolución histórica de las baterías para comprender las limitaciones actuales de las tecnologías convencionales, incluyendo los desafíos ambientales y logísticos relacionados con su reciclaje y disposición final. En contraste, las baterías de hidrógeno destacan por su eficiencia, escalabilidad, flexibilidad operativa y compatibilidad con energías renovables. Este análisis permite anticipar tendencias tecnológicas, apoyar la toma de decisiones estratégicas e impulsar soluciones energéticas limpias y resilientes para el futuro.

PALABRAS CLAVE

Celdas de Hidrógeno, Energía, Sustentabilidad, Baterías

ABSTRACT

Energy storage is a key component in the transition toward more sustainable and efficient systems. This article performs a comparative analysis between hydrogen batteries—particularly fuel cells—and traditional storage technologies, including lead-acid, nickel-cadmium, and nickel-iron. Critical variables such as energy density, recharging speed, lifespan, environmental impact, and operating costs are examined, with the aim of identifying scenarios in which hydrogen represents a viable and competitive alternative.

Furthermore, the historical evolution of batteries is contextualized to understand the current limitations of conventional technologies, including the environmental and logistical challenges related to their recycling and final disposal. In contrast, hydrogen batteries stand out for their efficiency, scalability, operational flexibility, and compatibility with renewable energy. This analysis allows for anticipating technological trends, supporting strategic decision-making, and driving clean and resilient energy solutions for the future.

KEY WORDS

Hydrogen Cells, Energy, Sustainability, Batteries.

Introducción

En la búsqueda constante de soluciones energéticas más eficientes, sostenibles y amigables con el medio ambiente, las baterías desempeñan un papel fundamental en diversas industrias y aplicaciones, para describir mejor lo anterior hoy día hay depósitos logísticos o supermercados que ya utilizan en sus equipos móviles baterías de hidrógeno. Actualmente, la tecnología tradicional basada en baterías de Pb.-Ac. domina el mercado debido a su alta densidad energética, durabilidad y accesibilidad. Sin embargo, la emergencia de nuevas alternativas tecnológicas, como las baterías basadas en hidrógeno, plantea importantes interrogantes sobre su potencial real y ventajas comparativas.

Objetivo

Este artículo tiene como objetivo realizar un análisis detallado del rendimiento y la eficiencia operativa de las baterías de hidrógeno en comparación directa con las baterías más tradicionales, especialmente las de Pb.-Ac. Inicialmente, se abordará un breve recorrido histórico sobre el desarrollo de las baterías, desde sus primeras versiones hasta las innovaciones tecnológicas actuales. Posteriormente, se analizarán aspectos clave como la densidad energética, el tiempo de carga, la vida útil, la sostenibilidad ambiental y los costos asociados, con la finalidad de identificar en qué contextos las baterías de hidrógeno pueden ser una alternativa competitiva y viable, y en qué circunstancias las soluciones tradicionales aún prevalecen. De esta manera, se busca proporcionar información clara y precisa que apoye la toma de decisiones estratégicas y técnicas en el ámbito energético.

Desarrollo o contexto

La historia de las baterías comienza con el invento de Alessandro Volta en 1800, conocido como la pila voltaica, la primera batería eléctrica que permitió almacenar energía química para convertirla en energía eléctrica. Este invento fue un hito clave en la historia de la electricidad y marcó el inicio del desarrollo tecnológico de los sistemas de almacenamiento energético. Posteriormente, en 1859, Gaston Planté creó la batería de plomo-ácido, la primera batería recargable comercialmente exitosa, que sigue siendo utilizada en diversas aplicaciones hoy en día.

Durante el siglo XX, el desarrollo de baterías experimentó importantes avances con la invención de la batería de níquel-cadmio en 1899, seguida por la batería de níquel-hierro de Thomas Edison en 1901. Sin embargo, uno de los desarrollos más significativos ocurrió en la década de 1970, cuando comenzaron las investigaciones que llevaron a la invención de las baterías de iones de litio. En 1991, Sony comercializó por primera vez esta tecnología, transformando radicalmente la electrónica portátil debido a su alta densidad energética, bajo peso y capacidad de recarga rápida.

En las últimas décadas, el interés en soluciones energéticas limpias y renovables ha impulsado el desarrollo de baterías basadas en hidrógeno, como las celdas de combustible, que generan electricidad a través de la reacción química del hidrógeno con oxígeno, produciendo solo agua como residuo. Este avance tecnológico representa una posible revolución energética gracias a su potencial ecológico y su alto rendimiento energético.

El interés por soluciones energéticas más limpias ha impulsado el desarrollo de baterías basadas en hidrógeno, específicamente las celdas de combustible. Estas generan electricidad mediante la reacción química del hidrógeno con oxígeno, con agua como único subproducto.

Tabla comparativa de rendimiento, vida útil, contaminación y cualidades:

Tipo de batería	Densidad Energética (Wh/kg)	Tiempo de Carga	Vida Útil (ciclos)	Impacto Ambiental	Cualidades principales
Plomo-ácido	30-50	8-12 horas	500-800	Alta (metales pesados)	Económica, robusta, fácil mantenimiento
Níquel-cadmio	40-60	1-2 horas	1000-1500	Alta (cadmio tóxico)	Resistente a temperaturas extremas, larga vida útil
Níquel-hierro	30-50	4-8 horas	2000-3000	Moderada	Muy durable, bajo mantenimiento,

					tolerante al maltrato
Iones de litio	150-250	1-4 horas	1000-2000	Moderada (reciclable)	Alta densidad energética, liviana, recarga rápida
Hidrógeno (celda combustible)	500-1000	Minutos	>5000	Muy baja (solo agua)	Carga rápida, alta eficiencia, cero emisiones directas

Este análisis busca profundizar en aspectos clave como la densidad energética, el tiempo de carga, la vida útil, la sostenibilidad ambiental y los costos asociados con las baterías de hidrógeno y baterías tradicionales, especialmente las de litio. El objetivo central es determinar claramente en qué contextos específicos las baterías de hidrógeno ofrecen ventajas competitivas significativas, así como identificar los escenarios en los que las baterías tradicionales siguen siendo la opción más conveniente y eficiente. De este modo, se busca brindar un soporte sólido y fundamentado que facilite la toma de decisiones estratégicas y técnicas en el ámbito energético.

Razones para elegir baterías de hidrógeno frente a otros tipos de baterías:

1. Sostenibilidad y reducción del impacto ambiental: Las baterías de hidrógeno generan energía a través de un proceso químico limpio cuya única emisión directa es vapor de agua, lo que elimina por completo la generación de contaminantes atmosféricos. Esto representa una significativa ventaja frente a otras tecnologías de almacenamiento energético, como las baterías de plomo-ácido y níquel-cadmio, que generan residuos contaminantes debido a la presencia de metales pesados como plomo, cadmio y mercurio. Estos compuestos son altamente tóxicos, difíciles de gestionar adecuadamente, y exigen costosos procesos de reciclaje o disposición final controlada para evitar la contaminación de suelos y acuíferos. Además, al optar por tecnologías basadas en hidrógeno se reduce considerablemente la huella de carbono asociada a la producción y reciclaje de baterías convencionales, impulsando así un modelo energético más limpio y sostenible en el largo plazo.

2. Eficiencia energética y costos operativos: Las celdas de combustible de hidrógeno destacan por su alta densidad energética, es decir, la cantidad de energía que pueden almacenar y liberar por unidad de peso, superando ampliamente a muchas tecnologías tradicionales. Esta característica se traduce en una mayor autonomía y en menores necesidades de recarga o reemplazo, lo que reduce significativamente los costos operativos a largo plazo. En comparación, las **baterías de plomo-ácido**, aunque económicas y ampliamente utilizadas, presentan una baja densidad energética y requieren frecuentes ciclos de mantenimiento, además de tener una vida útil relativamente corta, lo que implica mayores gastos de reposición. Las **baterías de níquel-cadmio** ofrecen un mejor rendimiento cíclico y tolerancia a altas temperaturas, pero tienen un efecto memoria que disminuye su eficiencia con el uso irregular y utilizan materiales altamente contaminantes, lo que eleva los costos de gestión y reciclaje. Las **baterías de níquel-hierro**, aunque más duraderas y resistentes, poseen una eficiencia energética menor (del orden del 60-70%) y requieren largos tiempos de carga, lo que las hace poco eficientes para aplicaciones de alta demanda. En contraste, las **baterías de iones de litio** ofrecen una excelente eficiencia energética (superior al 90%), baja tasa de autodescarga y menor mantenimiento, aunque su costo inicial es elevado y su degradación térmica puede reducir su vida útil en entornos exigentes. Finalmente, las **celdas de combustible de hidrógeno**, además de su alta densidad energética y eficiencia de conversión (que puede superar el 60% en aplicaciones estacionarias), tienen una vida útil prolongada, baja necesidad de mantenimiento, y tiempos de recarga extremadamente cortos, lo que contribuye a una mayor continuidad operativa y ahorro a largo plazo en sectores como la logística, la movilidad eléctrica y la generación distribuida.

3. Rapidez de carga y flexibilidad operativa: Las baterías de hidrógeno, especialmente en forma de celdas de combustible, sobresalen por su capacidad de reabastecimiento extremadamente rápida, que puede completarse en apenas 3 a 5 minutos, similar al tiempo requerido para cargar un tanque de combustible convencional. Esta característica contrasta fuertemente con otras tecnologías de almacenamiento energético. Por ejemplo, las baterías de iones de litio, aunque eficientes y ampliamente utilizadas en aplicaciones móviles y vehículos eléctricos, requieren entre 30 minutos (con cargadores rápidos) y varias horas para alcanzar una carga completa, dependiendo de la capacidad del sistema y del tipo de

cargador. Las baterías de níquel-hierro, por su parte, tienen tiempos de carga considerablemente más largos, que pueden superar las 8 a 10 horas, y además sufren pérdidas por sobrecarga si no se gestionan adecuadamente.

Esta diferencia en los tiempos de carga convierte a las celdas de hidrógeno en una solución altamente efectiva para entornos operativos donde el tiempo de inactividad debe minimizarse, como en el transporte público, flotas logísticas, operaciones portuarias o en aplicaciones industriales de alta demanda. Además, el sistema de reabastecimiento de hidrógeno puede integrarse de forma modular y escalable, permitiendo una rápida respuesta a picos de consumo sin comprometer la continuidad operativa. En comparación, las tecnologías basadas en litio o níquel, si bien son más maduras comercialmente, presentan mayores restricciones en cuanto a velocidad de carga y capacidad de respuesta ante cambios dinámicos en la demanda, lo cual limita su aplicabilidad en operaciones intensivas. Por lo tanto, la rápida carga del hidrógeno no solo mejora la eficiencia del sistema, sino que también incrementa la flexibilidad operativa, reduciendo los cuellos de botella y aumentando la disponibilidad de los activos en el ciclo logístico o energético.

4. Futuro y adaptabilidad: Las baterías de hidrógeno, especialmente aquellas basadas en celdas de combustible se posicionan como una tecnología clave en el marco de la transición energética global, al alinearse plenamente con los objetivos de descarbonización, eficiencia y sostenibilidad establecidos por organismos internacionales como la Agencia Internacional de Energía (IEA) y los compromisos del Acuerdo de París. Una de sus principales fortalezas es su alta capacidad de integración con fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, al permitir almacenar excedentes energéticos en forma de hidrógeno mediante electrólisis y utilizarlos posteriormente sin emisiones contaminantes. Este atributo resulta crucial para superar la intermitencia característica de las renovables, contribuyendo a un sistema energético más flexible y descentralizado.

Además, la tecnología de hidrógeno ofrece una alta adaptabilidad tecnológica, ya que puede ser implementada en diversas escalas y sectores: desde aplicaciones móviles (vehículos, drones, maquinaria de alta potencia) hasta sistemas estacionarios de respaldo, microredes o almacenamiento a gran escala. A diferencia de tecnologías más tradicionales como plomo-ácido o níquel-cadmio —cuyo desarrollo ha alcanzado un punto de madurez limitado y enfrenta crecientes

restricciones ambientales y normativas debido a su toxicidad y baja eficiencia—, las celdas de combustible de hidrógeno aún se encuentran en una curva de innovación ascendente, con mejoras continuas en materiales, eficiencia de conversión, seguridad y costos de producción.

Este potencial de evolución tecnológica, sumado al impulso político y financiero que reciben en regiones como la Unión Europea, Japón, Corea del Sur y Estados Unidos, convierte al hidrógeno en una solución de largo plazo, adaptable a las futuras exigencias regulatorias, ambientales y operativas. En este sentido, su adopción estratégica no solo implica una mejora en el rendimiento y la sostenibilidad del sistema actual, sino que también prepara el terreno para una infraestructura energética más resiliente, limpia y tecnológicamente preparada para las próximas décadas.

Síntesis del análisis

A partir del análisis comparativo expuesto, se evidencia que las baterías de hidrógeno no solo presentan ventajas técnicas y ambientales significativas, sino que también abren nuevas oportunidades estratégicas en un contexto global que exige soluciones energéticas limpias, eficientes y resilientes. No obstante, su adopción masiva aún depende de desafíos vinculados al desarrollo de infraestructura, los costos iniciales y la consolidación de marcos regulatorios adecuados. Comprender estas ventajas y limitaciones resulta esencial para delinear una hoja de ruta tecnológica efectiva, especialmente en sectores como la logística, el transporte y la generación distribuida, donde la demanda energética y la sostenibilidad operativa son factores determinantes.

Conclusión

El desarrollo de las baterías ha recorrido un extenso camino desde la pila voltaica de Volta en 1800 hasta las modernas celdas de combustible de hidrógeno. A lo largo de esta evolución, las tecnologías tradicionales como las baterías de plomo-ácido, níquel-cadmio y níquel-hierro cumplieron un rol fundamental en la electrificación inicial de múltiples sectores. Sin embargo, su bajo rendimiento energético, el uso de materiales tóxicos y su limitada vida útil las han vuelto

progresivamente obsoletas frente a los requerimientos actuales de eficiencia, sostenibilidad y velocidad operativa.

Hoy día las baterías de iones de litio representan hoy una de las opciones más utilizadas por su alta densidad energética, rápida carga y buena durabilidad, también presentan desafíos significativos. Entre ellos, destacan la degradación térmica, el riesgo de incendio, y especialmente, la complejidad de su reciclaje. El tratamiento de las baterías de litio implica procesos costosos, peligrosos y todavía poco desarrollados a escala global, lo que genera una preocupación creciente en cuanto a su disposición final y su impacto ambiental a largo plazo. La extracción de litio y otros metales asociados, como cobalto y níquel, también acarrea problemas sociales y ecológicos que ponen en duda su sostenibilidad integral.

En este contexto, las baterías de hidrógeno surgen como una alternativa con alto potencial transformador. Su capacidad para generar electricidad sin emisiones contaminantes directas, su integración eficiente con fuentes renovables intermitentes, sus tiempos mínimos de recarga y su elevada vida útil las convierten en una solución estratégica frente a los retos de la transición energética. A diferencia de las tecnologías heredadas, las celdas de combustible permiten un modelo de almacenamiento más limpio, escalable y adaptable a diversas aplicaciones, desde la movilidad hasta la generación distribuida.

A medida que se superen los desafíos actuales relacionados con la infraestructura, el transporte y los costos de producción del hidrógeno, es previsible que esta tecnología ocupe un lugar cada vez más relevante en la matriz energética mundial. Por lo tanto, comprender su evolución, ventajas y limitaciones resulta fundamental para tomar decisiones informadas que favorezcan un sistema energético más eficiente, sostenible y resiliente de cara a los desafíos del futuro.

La logística está siendo pionera en equipos móviles en Centros de Distribución donde tan solo cargar una batería de Hidrógeno lleva escaso minuto y medio, con agua como residuo, la tecnología está siendo utilizada también para otros actores del mercado como automóviles, en definitiva este capítulo está siendo a ser escrito por la ciencia, tecnología e industria hermanadas por la causa común de cuidar nuestro planeta al mínimo costo en las operaciones industriales.

Bibliografía

Literatura Académica (Artículos científicos y revisiones)

Arsalis, A., Papanastasiou, P., & Georghiou, G. E. (2022). *A comparative review of lithium-ion battery and regenerative hydrogen fuel cell technologies for integration with photovoltaic applications.* Renewable Energy, 182, 123–145. healthinformaticsjournal.com+3ScienceDirect+3ResearchGate+3ScienceDirect+2smartgrid.ieee.org+2ScienceDirect+2

Gröger, O., Gasteiger, H. A., & Suchsland, J. P. (2015). Electromobility: Batteries or fuel cells? *Journal of The Electrochemical Society*, 162(14), A2605–A2615. smartgrid.ieee.org

Lin, Z., Xi, X., Wang, P., Wu, B., & Tian, S. (2019). *Comparative study of lithium-ion battery and hydrogen fuel cell powered vehicles: Technical, economic and environmental analysis.* Canadian International School of Guangzhou. TheGuardian+12ResearchGate+12smartgrid.ieee.org+12

Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., Shah, N., & Ward, K. R. (2019). *The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system.* Energy & Environmental Science, 12(2), 463–491. smartgrid.ieee.org

Jungwirth, M. et al. (2024). *A review of lithium-ion battery recycling for enabling a circular economy.* Waste Management, 151, 347–361. petro-online.com+8ScienceDirect+8PMC+8

Müller, F. et al. (2023). *Comparative life cycle assessment of battery and fuel cell electric vehicles.* MDPI Transportation, 15(3), 114. WIRED+12MDPI+12ResearchGate+12

Narisetty, V. S. C. P., & Maddineni, T. (2024). *Powering the Future: Innovations in Electric Vehicle Battery Recycling.* arXiv. arXiv

Fuentes Web y Reportes

Lithium-ion battery. En Wikipedia. Recuperado de la entrada “Environmental impacts of lithium-ion batteries,” consultado en julio 2025. smartgrid.ieee.org+4Wikipedia+4Wikipedia+4

Battery recycling. En Wikipedia. Consultado en julio 2025.

Artículos y Análisis en Medios Especializados

Why Electric Car Batteries Are a Problem In More Ways Than One. Lifewire, 13 de abril de 2023.

Fecha de recepción: 18/7/2025

Fecha de aceptación: 10/8/2025