

Construcción de Celdas de Hidrógeno como Recurso Didáctico

DOI: 10.58299/utp.263.c926



Autores

Frida Karem Rivas Moreno

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ingeniería
Puebla, México
frida.rivas@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0009-0003-8540-2796>

Gabriela Vidal García

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ingeniería
Puebla, México
gabriela.vidal@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0009-0000-1913-5800>

Roberto Ángel Marcelino Zárate

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ingeniería
Puebla, México
roberanmarzar@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-4989-9059>

Nubia Saavedra Cruz

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ingeniería
Puebla, México
nubia.saavedra@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9606-6893>

Eric Aguilar García

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ingeniería
Puebla, México
eric.aguilargarcia@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7746-4290>

Construcción de Celdas de Hidrógeno como Recurso Didáctico

Construction of Hydrogen Cells as a Didactic Resource

Resumen

Este trabajo presenta la elaboración de Celdas de Hidrógeno en la asignatura Química General con Laboratorio del área de básicas en la Facultad de Ingeniería de la BUAP como un recurso didáctico para que los estudiantes aborden los conceptos de oxidación y reducción, los principios básicos de una celda electroquímica y su funcionamiento, las diferencias entre una celda galvánica y una celda electrolítica, así como sus componentes fundamentales. Se puntualiza la importancia de las celdas de hidrógeno como generadoras de electricidad a partir de reacciones químicas.

Palabras clave: electricidad; estrategias didácticas; hidrógeno.

Abstract

This work presents the development of Hydrogen Cells in the General Chemistry with Laboratory course, part of the basic sciences area at the Facultad de Ingeniería of BUAP, as a didactic resource for students to address the concepts of oxidation and reduction, the basic principles of an electrochemical cell and its operation, the differences between a galvanic cell and an electrolytic cell, as well as their fundamental components. The importance of hydrogen cells as electricity generators from chemical reactions is emphasized.

Keywords: electricity; hydrogen; teaching strategies.

Introducción

La transición energética global hacia un modelo sostenible y bajo en carbono constituye uno de los mayores retos del presente siglo. En este escenario, el hidrógeno (H_2) se perfila como un vector energético estratégico gracias a su elevada densidad energética y su potencial para reducir emisiones en sectores donde la electrificación directa resulta complicada, como la industria pesada, el transporte de larga distancia y el almacenamiento estacional de energía. No obstante, su impacto ambiental depende del origen de producción: mientras el hidrógeno "gris" y "azul", derivados de combustibles fósiles, implican significativas emisiones de CO_2 , el hidrógeno verde —producido mediante electrólisis del agua con electricidad renovable— representa una alternativa limpia y libre de emisiones (Kluschke & Neumann, 2019; Pathak et al., 2025).

La electrólisis del agua es el pilar fundamental en la obtención de hidrógeno verde. Dentro de las tecnologías disponibles, la de membrana de intercambio protónico (PEM) resalta por su alta eficiencia, capacidad de respuesta rápida y adaptabilidad a la intermitencia de las fuentes renovables. Sin embargo, su implementación masiva enfrenta limitaciones relacionadas con los elevados costos y la necesidad de metales preciosos como el platino (Pt) y el iridio (Ir) en los catalizadores (Patel, 2019; Bernt, 2020).

Hidrógeno como vector energético

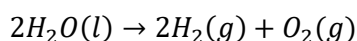
Ante la crisis climática y la transición hacia energías limpias, el hidrógeno surge como un combustible con ventajas sobresalientes frente a los fósiles y biocombustibles líquidos. A diferencia de la gasolina, el diésel o el gas natural, su uso en celdas de combustible solo produce vapor de agua, lo que lo convierte en un vector energético esencial para alcanzar la descarbonización global. Su alta densidad energética por unidad de masa lo hace idóneo para aplicaciones como la movilidad pesada, el almacenamiento a gran escala y la generación descentralizada de electricidad (United States Department of Energy, 2025).

En comparación con los biocombustibles, el hidrógeno ofrece un rendimiento más eficiente en pilas de combustible, no requiere grandes superficies agrícolas y puede producirse a partir de energías renovables mediante electrólisis. Por estas razones, no solo representa una alternativa viable, sino también un componente fundamental en la construcción de un sistema energético sostenible y libre de emisiones.

Dado que el hidrógeno no se encuentra en estado libre en la naturaleza, debe obtenerse a partir de compuestos como el agua o la biomasa. Al emplearse como combustible, su oxidación o uso en pilas únicamente libera vapor de agua, consolidándolo como un recurso estratégico para la descarbonización (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

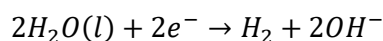
Producción de hidrógeno mediante electrólisis

La electrólisis del agua es uno de los métodos más limpios cuando se alimenta con energía renovable. La reacción global es:

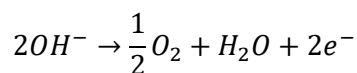


La reacción se divide en:

Reducción (cátodo):



Oxidación (ánodo):



Celdas de combustible de hidrógeno como recurso didáctico

Una celda de combustible funciona de forma inversa a la electrólisis, es decir, convierte hidrógeno en electricidad y agua, por lo tanto, es un sistema altamente eficiente y no genera contaminantes locales.

La educación científica requiere recursos didácticos que faciliten la comprensión de conceptos complejos. La construcción y uso de una celda de hidrógeno ofrece un medio práctico y visual para que los estudiantes comprendan: los procesos de electrólisis y

conversión de energía; la relación entre hidrógeno, electricidad y energías renovables; el potencial del hidrógeno en la transición energética; las reacciones químicas involucradas en el funcionamiento de la celda; así como la variedad de materiales que pueden ser utilizados en su construcción.

Fundamentos de la electrólisis del agua y la tecnología PEM

La electrólisis del agua es un proceso electroquímico que mediante corriente eléctrica continua (DC) separa la molécula de agua (H_2O) en sus dos componentes: hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). Este principio es la base para la construcción de una celda didáctica de hidrógeno, que permite a los estudiantes visualizar cómo la energía eléctrica puede transformarse en un vector energético limpio.

En un electrolizador de membrana de intercambio protónico (PEM), los componentes clave son:

1. *Membrana PEM*: actúa como electrolito sólido, permitiendo el paso de protones (H^+) y evitando la mezcla de gases.
2. *Electrodos porosos (ánodo y cátodo)*: donde ocurren las reacciones químicas.
3. *Capas catalíticas (CCL)*: finas películas con catalizadores que aceleran las reacciones.
4. *Placas bipolares*: distribuyen el agua, retiran el H_2 y O_2 generados y conducen la corriente.

Este diseño hace que la tecnología PEM sea especialmente útil en proyectos educativos, permitiendo obtener hidrógeno de alta pureza, operando de forma segura a escala y demostrando de forma tangible los principios de la energía renovable. El aprendizaje implícito en la construir estas celdas implica comprender que, aunque en laboratorio presentan un funcionamiento adecuado, enfrentan retos tecnológicos reales asociados con el uso de:

- *Catalizadores de HER (hidrógeno)*: el platino (Pt) es altamente eficiente, pero es costoso. Por ello, en modelos educativos se buscan alternativas más económicas o reducciones en su uso.
- *Catalizadores de OER (oxígeno)*: el iridio (Ir) y su óxido (IrO_2) son los más utilizados, lamentablemente son escasos. La investigación explora óxidos de metales más abundantes y materiales innovadores.

Además de la electrólisis PEM, existen otras rutas que tiene potencial para incluirse como un recurso educativo comparativo:

- *Biohidrógeno por fermentación oscura*: este proceso emplea microorganismos que transforman residuos agrícolas en H_2 , desechos que aparentemente no tienen valor comercial.
- *Electro-oxidación de compuestos orgánicos*: sustituye la reacción de oxígeno por la oxidación de biomoléculas (ej. ácido acético), esto disminuye el consumo de energía y produce compuestos secundarios de utilidad.

Seguridad en la manipulación y almacenamiento del hidrógeno

El hidrógeno es un gas seguro si se maneja con protocolos adecuados. A nivel educativo, se debe hacer énfasis en que tiene un amplio rango de inflamabilidad, por lo que deben evitarse espacios confinados; únicamente debe trabajarse en áreas ventiladas y con pequeñas cantidades; los equipos que lo operen deben tener válvulas de seguridad y sensores simples. Si bien su uso didáctico no busca almacenar grandes volúmenes, se debe minimizar el riesgo.

Metodología

Las etapas que a continuación se mencionan fueron aplicadas a un grupo de estudiantes:

1. *Explicación de conceptos fundamentales:* se explicó el principio de electrólisis y su relación con energías renovables; también se introdujeron los conceptos de cátodo, ánodo, electrolito y reacciones redox, entre otros
2. *Construcción de la celda electroquímica:* se diseñó una celda de electrólisis con electrodos de acero inoxidable, donde como electrolito se utilizaron soluciones 1 M de NaOH o H₂SO₄ para mejorar la conductividad. No obstante, para que la celda pudiera operar se conectó a una fuente de corriente continua de bajo voltaje (12 V), aquí se observó la formación burbujas de hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo.
3. *Reacciones en la celda:* se analizaron las reacciones de reducción y oxidación; se midieron variables como tiempo y voltaje aplicado. Asimismo, se relacionó el proceso con la eficiencia y las posibles pérdidas energéticas.
4. *Aplicaciones y futuro del hidrógeno:* se discutió el rol del hidrógeno en la movilidad limpia, abordándose sus ventajas frente a combustibles fósiles y biocombustibles. Además, se analizó el potencial de integración con sistemas solares y eólicos.

Didácticamente, cada una de estas etapas sirvieron para correlacionar conceptos fundamentales (por ejemplo: electrólisis) con la construcción de una celda y la medición de variables, los resultados obtenidos, fueron un punto de partida para genera una discusión sobre su potencial aplicación, haciendo énfasis en las aplicaciones actuales y futuras.

Resultados

Los estudiantes construyeron un reactor de hidrógeno con materiales obtenidos de casa como frascos de vidrio, mangueras, jeringas y tornillos para hacer asequible su elaboración (ver figura 1). Durante la construcción del reactor se presentaron diferentes problemáticas que tuvieron que solucionar, lo que fortaleció su desarrollo de habilidades blandas como la creatividad, la comunicación efectiva, el manejo de la frustración, el empleo de sus conocimientos académicos y científicos, así como sus habilidades prácticas en la construcción y análisis de sistemas energéticos. Al fabricar el reactor de esta manera lograron una mayor comprensión de cómo funciona la electroquímica en la obtención del hidrógeno y su aplicación como vector energético. Además, se concientizó sobre el papel de las energías renovables en la sostenibilidad. Finalmente, se logró el objetivo que fue la generación de burbujas de hidrógeno, permitiendo el acercamiento a la parte práctica de la electroquímica.

Figura 1. Participación de estudiantes en la construcción de una celda electrolítica.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La elaboración de una celda de hidrógeno como recurso educativo facilitó la comprensión práctica de los principios esenciales relacionados con la generación y el aprovechamiento de este vector energético. Mediante el diseño y la evaluación de la celda electroquímica, se lograron explicar de forma clara los fundamentos de la electrólisis, las reacciones químicas implicadas y el funcionamiento de las celdas de combustible.

Este trabajo no solo reforzó el aprendizaje teórico, sino que también resaltó la importancia del hidrógeno como alternativa limpia y sostenible frente a los combustibles fósiles, además de mostrar su potencial en diversas aplicaciones, como el almacenamiento de energía renovable, la movilidad y la generación eléctrica. La experiencia adquirida aporta a la formación académica de los estudiantes y promueve una cultura científica orientada a las energías renovables, despertando interés en tecnologías emergentes que resultan clave para la transición energética y la reducción de los efectos del cambio climático.

Referencias

- Bernt, M., Hartig-Weiß, A., Tovini, M. F., El-Sayed, H. A., Schramm, C., Schröter, J., Gebauer, C., & Gasteiger, H. A. (2020). Current challenges in catalyst development for PEM water electrolyzers. *Chemie Ingenieur Technik*, 92(1-2), 31-39. <https://doi.org/10.1002/cite.201900101>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable*. Gobierno de España, Madrid. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF
- Kluschke, P., & Neumann, F. (2019). Interaction of a hydrogen refueling station network for heavy-duty vehicles and the power system in Germany for 2050. *arXiv preprint*.1-40. <https://arxiv.org/abs/1908.10119>
- Patel, P., & Ayers, K. (2019). Electrolysis for hydrogen production. *MRS Bulletin*, 44, 684–685. <https://doi.org/10.1557/mrs.2019.210>
- Pathak, P. K., Yadav, A. K., & Kamwa, I. (2025). Green hydrogen: A strategic energy vector for achieving net-zero emissions by 2050. *Sustainable Energy & Fuels*, 9(19), 5218-5226. <https://doi.org/10.1039/D5SE00902B>
- United States Department of Energy. (2025). *Hydrogen production: Electrolysis*. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>

Certificado de evaluación

La Editorial UTP, con Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas, por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) en México; **indexada en catálogos de calidad internacional**. Que, teniendo como **base fundamental el desarrollo del potencial humano**, es líder en el desarrollo y divulgación de producción científica, tecnológica y educativa con altos estándares de calidad en contextos locales, nacionales e internacionales, a través de publicaciones de artículos en revistas, libros, capítulos de libros, recursos educativos, conferencias y congresos.

CERTIFICA

Que el capítulo de libro titulado **“Construcción de Celdas de Hidrógeno como Recurso Didáctico”** presentado por los autores Frida Kareem Rivas Moreno, Gabriela Vidal García, Roberto Ángel Marcelino Zárate, Nubia Saavedra Cruz y Eric Aguilar García ha sido sometido a un exhaustivo proceso de arbitraje por pares académicos, a través de criterios establecidos para investigaciones de alta calidad, siendo dictaminado como producto de investigación científica, tecnológica y/o educativa de alta calidad. Su publicación en el libro titulado **“Investigación y experiencias de enseñanza-aprendizaje en ingeniería: hacia una educación más activa y significativa”** estará disponible a partir del 9 de diciembre de 2025 en la Biblioteca digital de la Universidad Tecnocientífica del Pacífico.

Se extiende el presente certificado, a los 10 días del mes de noviembre del año 2025.

Transformando con Ciencias
 Tepic, Nayarit; México



Dra. Ana Luisa Estrada Esquivel
 Directora de la Editorial UTP
 Universidad Tecnocientífica del Pacífico



César Alejandro González Guzmán
 Coordinador de la Editorial UTP
 Universidad Tecnocientífica del Pacífico



Calle 20 de Noviembre, 75 Pte. Col. Mololoa. Tepic, Nayarit, México. C.P. 63050
<https://editorial-utp.com.mx>. Correo electrónico: editorial_utp@tecnocientifica.com.mx. Teléfono: 311 101 01 03