

¿Es el hidrógeno (H₂) un gas tan diverso como los colores presentes en el arcoíris?

Manuela Sofía Páez Salamanca

Estudiante de posgrado, Departamento de Química
Universidad de los Andes

Manuel Salvador Rodríguez Susa

Profesor asociado, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad de los Andes

Campo con molinos eólicos
Fotografía por: Freepik.



Recientemente el hidrógeno se ha incluido como fuente de abastecimiento en algunas naciones, ya que diversificar la matriz energética permite garantizar a la población la independencia y el suministro constante del recurso. Dada la versatilidad de métodos que existen actualmente para la obtención de hidrógeno, la industria energética ha decidido atribuir a este gas una nomenclatura basada en colores. Si bien esta fuente posee aplicaciones tanto en movilidad como a escala industrial, aún se presentan limitaciones, por lo cual es necesario optimizar los procesos basados en hidrógeno con el fin de lograr una mayor eficiencia.

Concepto de estación de carga de automóvil con combustible de hidrógeno.

Fotografía por: Freepik.



Planta de hidrógeno..

Fotografía por: Freepik.

En el curso de los últimos años se ha hecho cada vez más evidente la necesidad de que los países logren llegar a un estado de independencia energética, es decir, que cada sociedad sea capaz de producir la energía que demanda. Incluso, los diversos conflictos internacionales que se han venido desarrollando recientemente redescubren la inestabilidad del suministro energético, así como el impacto económico en diferentes frentes que se derivan de los inconvenientes en el abastecimiento. Dado que la energía es un recurso indispensable para el desarrollo económico de un país y que inevitablemente hace parte de las cadenas de producción inherentes a cualquier bien o servicio, diversos autores han propuesto el concepto de seguridad energética para caracterizar el proceso que es interrumpido y que asegura el suministro o la asequibilidad de este recurso en cada país [1].



Figura 1. Principales colores del hidrógeno con sus respectivos métodos de producción [4].

En la agenda internacional, la seguridad energética ha concentrado la atención del debate al convertirse en el ideal que persiguen los países en sus políticas actualmente. Naciones como Francia, Alemania o Estados Unidos han buscado sustituir su dependencia por los combustibles fósiles a través de la inclusión de nuevos compuestos dentro de la matriz energética, entre los que se destaca el hidrógeno. Este es un gas incoloro que no se encuentra de forma aislada en la naturaleza, sino que está unido a moléculas abundantes como el oxígeno en el agua (H₂O) y el carbono en los hidrocarburos [1, 2]. Sin embargo, para obtener el hidrógeno libre es necesario aportar energía a estas moléculas y, por tanto, el hidrógeno se considera un vector energético y no una fuente de energía primaria [2].

¿Cuáles son los procesos industriales que permiten producir hidrógeno? Para responder esta pregunta, es necesario considerar que, en la actualidad, existen varios procesos que implican fuentes de energía primaria como luz, calor, electricidad o una combinación de estos. Dada la variedad de métodos y tecnologías que permiten su obtención, se han atribuido colores al hidrógeno y se ha instaurado el término «espectro de colores del hidrógeno» [3], si bien estos son códigos que ha acogido la industria energética para diferenciar entre los diversos tipos, no existe una convención o nomenclatura universal. Por ende, las definiciones que se conocen y emplean actualmente pueden cambiar con el tiempo [2].

Entre los colores del hidrógeno propuestos hasta el momento (ver figura 1) se encuentra el hidrógeno verde, el cual se obtiene a partir de la electricidad proveniente de los excedentes de energías renovables como la solar o eólica sin que se produzca dióxido de carbono (CO_2) [3, 5]. El hidrógeno azul, el cual se genera gracias al gas natural en el proceso conocido como reformado con vapor; allí el hidrocarburo (principalmente metano y etano) se calienta con agua gaseosa, lo que genera CO_2 como subproducto [5]. En este caso, se emplean presiones de 3 bar a 25 bar con temperaturas entre los 700°C a los 850°C que permiten disociar el carbono del hidrógeno en el compuesto de partida [6]. Cabe destacar que la definición de hidrógeno azul incluye el secuestro del CO_2 generado a través de formas naturales, como la plantación de árboles, o a escala geológica en el subsuelo.

Por el contrario, el hidrógeno gris se crea a partir del gas natural mediante el reformado con vapor. Es, en esencia, el mismo proceso que se desarrolla para el hidrógeno azul, pero el CO_2 liberado no se captura ni se almacena en el subsuelo [5]. El hidrógeno negro e hidrógeno marrón son los que generan un mayor impacto negativo para el medio ambiente, ya que se obtienen desde el carbón bituminoso o lignito a través del proceso denominado como gasificación. Allí se produce la quema del carbón a altas temperaturas, cuya combustión libera H_2 y CO (monóxido de carbono) gaseoso [3]. El hidrógeno rosa se refiere al proceso de electrólisis impulsado por energía nuclear, en el que el agua (H_2O) se divide en sus componentes elementales, es decir, hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) [3, 6].



Colores del hidrógeno.. Fotografía por: Freepik.

En cambio, el hidrógeno amarillo es uno de los métodos más recientes, en el que la electrólisis se genera a partir de la energía del sol. El hidrógeno blanco es de origen natural y se encuentra principalmente en depósitos subterráneos cuya obtención se genera por medio del *fracking* [6]. Por último, en este arcoíris, está el hidrógeno turquesa producido desde la pirólisis de metano o hidrocarburos ligeros de bajo peso molecular; en este caso se busca promover la degradación térmica del combustible en ausencia de oxígeno bajo el suministro de calor [7]. El metano pasa a través de un metal fundido que facilita la conversión del precursor en hidrógeno y carbono sólido, generalmente se emplea magnesio o níquel ya que favorecen la reacción.

Según la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA), a finales del 2021, el 61 % de la producción mundial de hidrógeno correspondió al color gris y negro; el 23 % al hidrógeno verde; el 11 % se atribuyó al hidrógeno azul; un 4 % al rosado; y el 1 % al turquesa [7]. El hidrógeno amarillo y blanco son alternativas con bajas tasas de producción, lo que dificulta su cuantificación. Cabe destacar que el hidrógeno verde es una fuente de energía promisoría para la descarbonización, ya que permitirá sustituir parcialmente el suministro de los combustibles fósiles con el fin de limitar la producción de gases de efecto invernadero como el CO₂ [6]. El proceso químico que comprende la obtención de hidrógeno verde se fundamenta en la electrólisis del agua. Allí se emplea una corriente eléctrica para descomponer H₂O en oxígeno e hidrógeno a través de una celda electroquímica [2].

La celda de electrólisis opera como una pila, al tener un polo con carga positiva y otro con carga negativa, los cuales se encuentran unidos a un circuito externo que suministra electricidad para el desarrollo de la reacción de interés (ver figura 2). Estos polos se denominan ánodo y cátodo, y están compuestos de níquel o platino, metales relativamente resistentes a la corrosión [3]. Durante el proceso de electrólisis se desarrollan distintas reacciones electroquímicas sobre el cátodo y el ánodo a medida que se aplica electricidad; en este caso, las moléculas de agua pierden electrones y experimentan una semirreacción de oxidación para formar gas oxígeno, así como iones de hidrógeno con carga positiva (figura 2) [1].

Al mismo tiempo, en el cátodo, los iones de hidrógeno ganan electrones y producen hidrógeno gaseoso como consecuencia de una semirreacción de reducción [1].

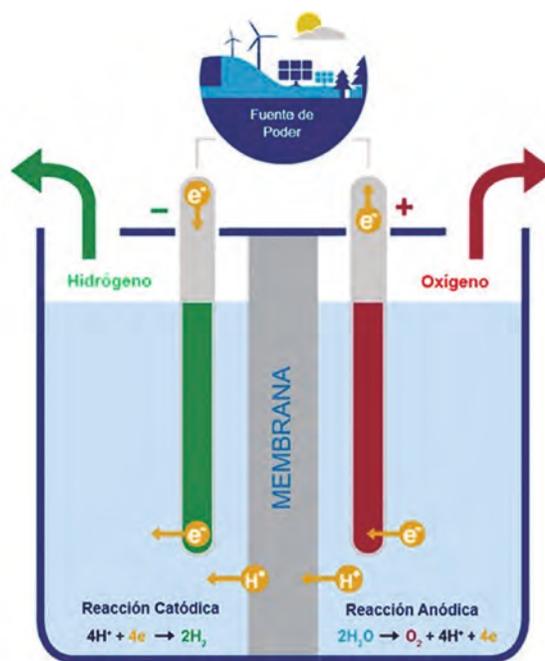


Figura 2. Componentes de la celda de electrólisis para la producción de hidrógeno verde [8].

Con respecto a lo anterior, se identifica que el proceso de producción de hidrógeno verde puede resumirse así: primero, el agua utilizada en la electrólisis debe contener electrolitos (sales y minerales) para permitir el flujo de electricidad; segundo, los dos electrodos se sumergen en el agua y se conectan a una fuente de energía; tercero, el proceso se desarrolla al emplear una fuente de corriente continua y, cuarto, se produce una reacción de oxidación/reducción (conocida como redox) debido al efecto de la electricidad.

El hidrógeno como vector energético posee múltiples aplicaciones al permitir el transporte de energía desde una fuente primaria hasta el lugar donde se requiere. Por ejemplo, el hidrógeno se utiliza en el refinamiento de petróleo; el tratamiento de metales; la producción de fertilizantes (entre los que se destaca el amoníaco) y de productos químicos (metanol); así como en el procesamiento de alimentos [5]. Estas aplicaciones tienen relevancia a escala industrial ya que, en la actualidad, las fábricas de acero, vidrio y amoníaco emplean carbón o gas natural para su suministro energético, lo que deriva en la emisión de CO_2 en la atmósfera [6]. Se debe considerar que el hidrógeno tiene una densidad energética de alrededor 120 MJ/kg que es casi tres veces mayor a la gasolina o el diésel, lo que potencia su uso [1, 7].

Los fertilizantes que emplean como precursor al hidrógeno poseen la misma composición química y física que los derivados de fuentes fósiles (gas natural, carbón o petróleo), pero tienen un menor impacto ambiental, por lo cual se denominan «verdes» [9]. Entre estos se destaca el amoníaco (NH_3), el cual se produce a partir del hidrógeno procedente de la electrólisis del agua y el nitrógeno (N_2) se separa del aire. Ambos precursores (H_2 y N_2) experimentan el proceso Haber-Bosch al reaccionar a temperaturas y presiones elevadas para producir NH_3 gaseoso [10]. El NH_3 es relevante para la industria agrícola pues permite la formación de materias primas para la producción de abonos, es decir, especies de nitritos (NO_2^-) o nitratos (NO_3^-) como el nitrato de amonio (NH_4NO_3) [9].



Representación gráfica de la electrólisis. Fotografía por: Freepik.



Estación de carga de hidrógeno para vehículos. Fotografía por: Freepik.

Sin embargo, una de las principales ventajas del hidrógeno se obtiene cuando se emplea en la movilidad como combustible en motores eléctricos, considerando que el proceso de combustión es limpio. El único residuo que se produce es agua, es decir, no se generan gases de efecto invernadero como sí ocurre en motores diésel o gasolina, lo que lo hace ideal para entornos urbanos [5]. Cabe destacar que los autos eléctricos alimentados con H_2 , se denominan vehículos de pila de combustible de hidrógeno (FCEV, por su sigla en inglés). Allí se emplea una pila para la conversión del hidrógeno en electricidad [3, 6]. En este caso ocurre un proceso conocido como electrólisis inversa, porque el H_2 reacciona con el oxígeno presente en el aire para producir calor y agua, por lo que evita la liberación de contaminantes en el aire o de gases de efecto invernadero [7].

La electricidad generada en la pila de combustible puede fluir hacia el motor eléctrico para accionar el vehículo o cargar una batería que permitirá el almacenamiento temporal de energía hasta que se requiera para la conducción [6]. En términos de eficiencia energética, la principal desventaja que surge al emplear el hidrógeno como combustible es la cantidad de agua que se pierde durante su electrólisis. El rendimiento de este proceso aumenta con la temperatura, pues al suministrar calor se debilitan los puentes de hidrógeno que mantienen unidos los átomos de hidrógeno y oxígeno en la estructura química del agua y se produce H_2 u O_2 [1]. Por ende, al elevar la temperatura en la celda, se puede promover la evaporación del agua. Entonces, la eficiencia de toda la cadena energética, desde la producción de electricidad hasta el funcionamiento del automóvil, es el del 40% [2, 6].

A partir de lo expuesto, se determina que en un futuro inmediato la introducción de tecnologías de electrólisis a escala industrial y su optimización será fundamental para satisfacer la necesidad de hidrógeno en el transporte. Con el fin de promover el uso del hidrógeno en las aplicaciones mencionadas, es necesario desplegar y desarrollar mejoras en los procesos de producción actuales para que así se pueda satisfacer la creciente demanda energética. Por otro lado, es relevante y recomendable que los países incluyan fuentes alternativas y renovables como el hidrógeno en su matriz de energía, ya que así será posible garantizar a su población la denominada seguridad energética sin necesidad de depender del suministro externo.

Referencias

- [1] Zhou Y, Li R, Lv Z, Zhou H, Xu C. Green Hydrogen: A Promising Way to the Carbon-Free Society. *Chin. J. Chem. Eng.* 2022; 43(1): 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2022.02.001>
- [2] Incer-Valverde J, Korayem A, Tsatsaronis G, Morosuk T. «Colors» of Hydrogen: Definitions and Carbon Intensity. *Energy Convers Manage.* 2023 sept. 1; 291. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117294>
- [3] Marín-Arcos JM, Santos DMF. The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production. *Gases.* 2023 febr. 3; 3(1): 25-46. <https://doi.org/10.3390/gases3010002>
- [4] Zhang M, Yang X. The Regulatory Perspectives to China's Emerging Hydrogen Economy: Characteristics, Challenges, and Solutions. *Sustainability.* 2022 ag. 6; 14(15): 2-20. <https://doi.org/10.3390/su14159700>
- [5] Cheng W, Lee S. How Green Are the National Hydrogen Strategies? *Sustainability.* 2022 febr. 8; 14(3):2-33. <https://doi.org/10.3390/su14031930>
- [6] Ajanović A, Sayer M, Haas R. The Economics and the Environmental Benignity of Different Colors of Hydrogen. *Int J Hydrogen Energy.* 2022 jul. 5; 47(57): 24136-24154. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>
- [7] International Renewable Energy Agency (IRENA). *Hydrogen: A Renewable Energy Perspective* [Internet]. Abu Dhabi: IRENA; 2019, [citado 2024 mar. 27]. 52 p. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf
- [8] Kumar S, Lim H. An Overview of Water Electrolysis Technologies for Green Hydrogen Production. *Energy Rep.* 2022 nov.; 8(1): 13793-13813. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>
- [9] Wang R, Yang X, Chen, X, Zhang X, Chi Y, Zhang D, Chu S, Zhou P. A Critical Review for Hydrogen Application in Agriculture: Recent Advances and Perspectives. *Crit Rev Env Sci Technol.* 2023 jul. 13; 54(3): 222-238. <https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2232253>
- [10] Keunecke A, Dossow M, Dieterich V, Spliethoff H, Fendt S. Insights Into Fischer-Tropsch Catalysis: Current Perspectives, Mechanisms, and Emerging Trends in Energy Research. *Front. Energy Res.* 2024 abr. 23; 12(1): 1-11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1344179>

Comparte esta nota:

