El color del hidrógeno

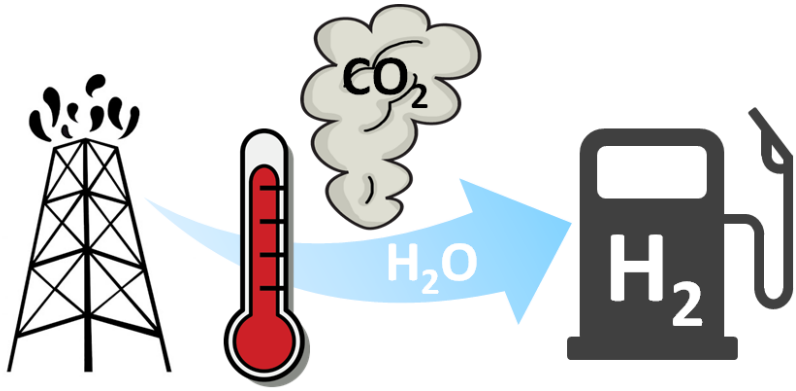
Manuel Iglesias Alonso, ISQCH

Menuda chorrada de título, pensaréis, todo el mundo sabe que el hidrógeno es un gas incoloro. Además, según dicen en los telediarios, es una "fuente de energía limpia", incluso se dice que ya existen coches que funcionan usándolo como combustible y que solamente emiten agua. ¿A qué esperamos entonces? Esta es la solución a todos nuestros problemas: la contaminación atmosférica en las ciudades, la crisis energética, la volatilidad de los precios de los combustibles y el calentamiento global con todas sus desastrosas consecuencias.

Pues el principal problema es que la premisa es errónea, el hidrógeno no es una fuente de energía —no existen pozos de hidrógeno de donde podamos extraerlo—. El hidrógeno es un elemento abundante en la corteza terrestre, pero se suele encontrar enlazado a otros átomos, formando una gran variedad de sustancias, como el agua (H_2O), el metano (CH_4) y otros hidrocarburos, o la biomasa. Por lo tanto, el hidrógeno tiene que ser producido, y este es el quid de la cuestión: ¿cómo se produce el hidrógeno?

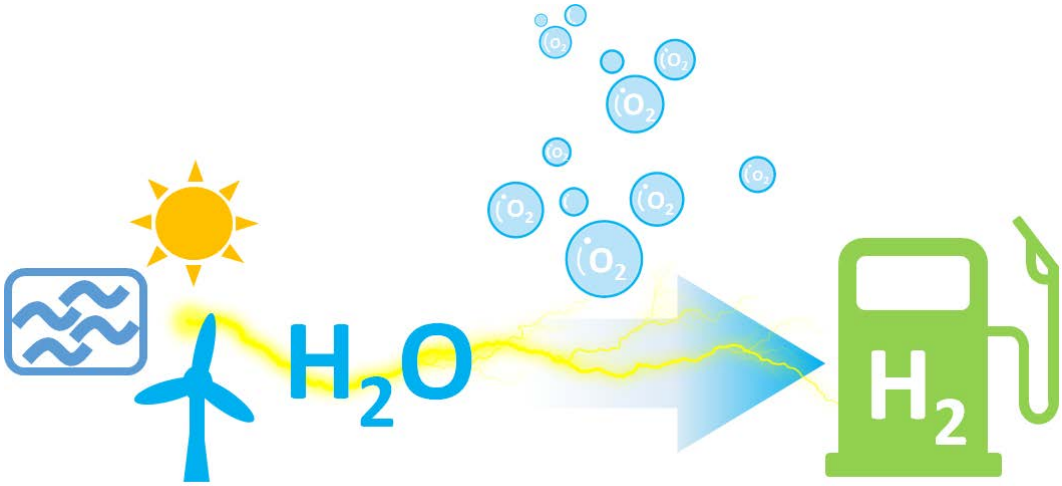
Pues, según el método de producción, el hidrógeno se puede clasificar en hidrógeno gris, azul o verde de acuerdo con la sostenibilidad del proceso (¿veis como el título al final tenía sentido?).

El hidrógeno gris es el más empleado en la actualidad (más del 90%), pero su proceso de producción es el menos sostenible. Se obtiene a partir de combustibles fósiles, normalmente mediante el reformado con vapor de agua del gas natural, que está compuesto mayormente de metano (CH_4). Este método supone la conversión del gas natural en hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO), utilizando vapor de agua (H_2O) a temperaturas cercanas a los 1000 °C y presiones entre 3 y 25 bares ($CH_4 + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO$). El monóxido de carbono así obtenido se convierte en más hidrógeno y dióxido de carbono (CO_2) mediante la reacción de desplazamiento de agua y gas (WGSR por sus siglas en inglés), por lo cual el proceso genera inevitablemente dióxido de carbono ($CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$). Además, al CO_2 producido debido a la propia reacción, hay que añadir también el que se emite al generar la energía necesaria para alcanzar la temperatura de reacción en el proceso de reformado, ya que el reactor habitualmente se calienta mediante la combustión de parte del gas natural. Por lo tanto, aunque el uso de hidrógeno como combustible produce exclusivamente agua, el dióxido de carbono se genera en la propia producción del hidrógeno. Bien es cierto que el uso de medios de transporte que funcionen con hidrógeno gris como combustible podría mejorar la calidad del aire en las ciudades, ya que la polución debida a la materia particulada y los óxidos de nitrógeno, principalmente originada por los motores de combustión, se vería reducida. Pero, por desgracia, la huella de carbono del proceso global sería similar.



La producción del denominado hidrógeno azul utiliza gas natural como materia prima, pero, a diferencia del gris, hace uso de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono —que todavía se encuentran en desarrollo— para reducir o eliminar la huella de carbono del proceso. El uso de esta tecnología permitiría separar el dióxido de carbono del hidrógeno e inyectarlo en formaciones geológicas profundas. Lo cual, por otro lado, es un proceso energética- y económicamente costoso, y que muchas agrupaciones ecologistas ponen en duda, calificando esta estrategia como lo que en "términos técnicos" se denominaría "barrer debajo de la alfombra" —lo cual es un recurso muy socorrido cuando tienes prisa (y tiempo no es lo que nos sobra precisamente para detener el cambio climático)—.

La producción de hidrógeno verde se lleva a cabo mediante la electrólisis del agua ($H_2O \rightarrow H_2 + ½O_2$), utilizando la electricidad generada por fuentes de energía renovables, principalmente la solar y la eólica. De cara al futuro, es evidente que la dependencia de combustibles fósiles no es deseable, lo que nos llevaría a elegir al hidrógeno verde como opción más sostenible. Aunque esta tecnología todavía está en fase de desarrollo, existen prometedores proyectos piloto en marcha, como la planta de electrólisis de Mainz (Alemania). El principal problema actual es el alto coste energético del proceso de electrólisis; sin embargo, el rápido avance de esta tecnología, especialmente gracias al desarrollo de nuevos catalizadores más eficaces y capaces de bajar el voltaje necesario para que la reacción tenga lugar, parece indicar que su competitividad pronto alcanzará niveles óptimos. Esta estrategia permitiría el aprovechamiento de la energía generada durante los periodos de bajo consumo (por ejemplo, por las noches) y de los picos de producción inherentes a las fuentes de energía alternativas, ya que el exceso de energía eléctrica se podría almacenar como hidrógeno. Por lo tanto, volviendo a la confusión que habitualmente generan los medios de comunicación generalistas, el hidrógeno no es una fuente de energía, sino que es un portador de energía o vector energético. Es decir, el H_2 se puede usar para almacenar y transportar la energía generada a partir de una variedad de fuentes de energía —entre ellas se podría incluir la nuclear, que produce cantidades insignificantes de CO_2, pero tiene otros inconvenientes por todos conocidos—.



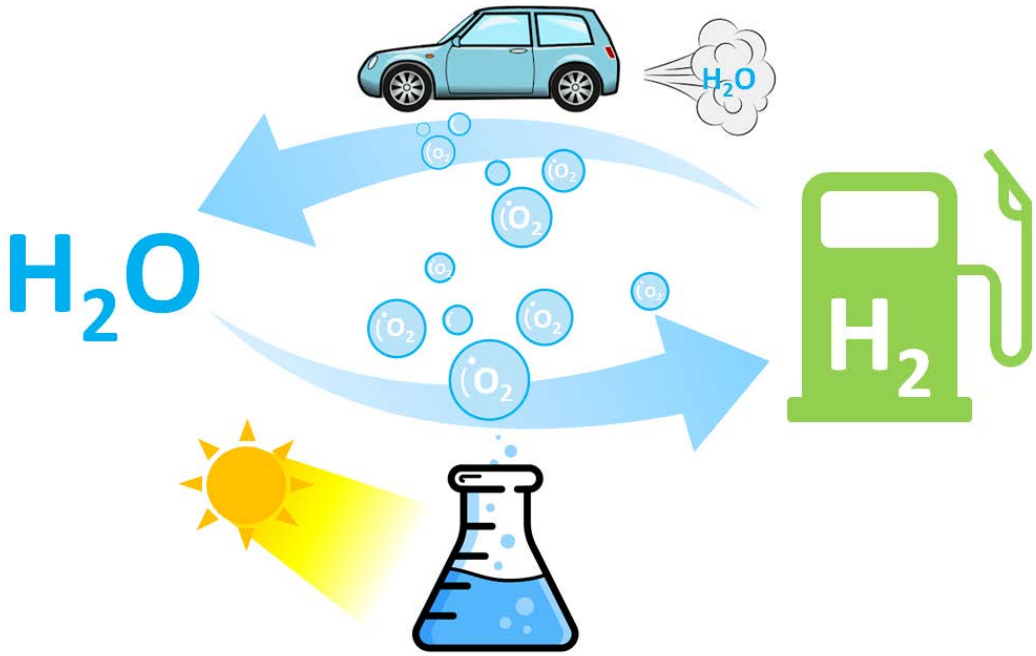
Mención especial merece el hidrógeno producido mediante la gasificación de biomasa, ya que, aunque no es una tecnología reciente, no tiene un color asignado formalmente. El hecho de que el crecimiento de la masa forestal o cultivos energéticos elimine CO_2 de la atmósfera ha llevado a que este proceso se considere en ocasiones neutro en emisiones de carbono y, por tanto, algunos expertos clasifican como verde el hidrógeno así generado. Uno de los problemas para clasificar la gasificación de biomasa es que esta puede emplear una gran variedad de recursos biomásicos como materia prima —cultivos energéticos, residuos forestales, agrícolas o urbanos (y no, no funciona como en *Regreso al futuro*, que os conozco)— lo cual complica la evaluación del balance de carbono del proceso.

Llegados a este punto, entiendo que alguno esté algo desilusionado con el hidrógeno en todos sus colores ¿dónde está esa fuente de energía inagotable, limpia y sostenible que nos prometían? No desesperéis, para los más exigentes guardo una bala en la recamara.

Julio Verne predijo en sus novelas avances inimaginables a finales del siglo XIX, pero quizá el más impactante aún este por llegar. En *La isla misteriosa*, publicada por primera vez en 1874, Verne, a través del personaje Cyrus Smith, hace la siguiente predicción: "*Yo creo que el agua será empleada un día como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, empleados individualmente o juntos, suministrarán una fuente inagotable de calor y luz, en una intensidad de la que el carbón no es capaz. Algún día, los hogares y las calderas de las locomotoras, en lugar de carbón serán alimentados con estos dos gases condensados, que se quemarán en los hornos con un enorme poder calórico. Yo creo que cuando los depósitos de carbón se agoten, nosotros nos calentaremos con agua. El agua será el carbón del futuro*".

Este brillante futuro que profetizó Verne se empieza a atisbar gracias a los recientes avances en la reacción de descomposición fotocatalítica del agua con luz solar. Esta tecnología se basa en el uso de catalizadores capaces de absorber la radiación solar y utilizarla para romper la molécula de H_2O, convirtiéndola en H_2 y O_2. El hidrógeno así producido se puede utilizar para alimentar pilas de combustible, en las que se produce electricidad en presencia de oxígeno y agua como subproducto. El vapor de agua que se forma como subproducto de este proceso es emitido a la atmósfera, lo cual cierra el ciclo. Sin embargo, aunque actualmente existen prototipos capaces de llevar a cabo

esta transformación, su eficiencia dista todavía de la requerida para aplicaciones prácticas.



Además de los problemas descritos anteriormente, existen otros que, para ser justos, hay que mencionar. Entre ellos hay que destacar la baja eficiencia de las pilas de combustible actuales o las dificultades derivadas del transporte de un gas inflamable y potencialmente explosivo como el hidrógeno. Para no desanimar a los más pesimistas hay que aclarar que en la última década se ha avanzado mucho en el desarrollo de pilas de combustible más eficaces y en nuevos materiales para el almacenamiento de hidrógeno. De hecho, hoy en día ya existen vehículos propulsados por hidrógeno en muchos países, por ejemplo, autobuses (ya presentes en muchas ciudades europeas), trenes (e.g. Coradia iLint 54, HydroFLEX train o el proyecto de Dhamma Energy para el tren Zaragoza-Pau) y también algunos coches disponibles comercialmente (e.g. Toyota Mirai, Honda FCX Clarity o Hyundai Nexo). Esto es una muestra de que muchas de las economías avanzadas se están tomando en serio la apuesta por la economía del hidrógeno.

A pesar de los problemas técnicos actuales, existe una necesidad urgente de promover el uso de fuentes de energía más sostenibles que eviten el desastre medioambiental de proporciones bíblicas que se nos viene encima. Por fortuna, estos problemas se pueden resolver con tiempo y más investigación, pero, por desgracia, como el tiempo no nos sobra, solamente nos queda apostar fuerte por lo segundo.

Hay que recordar que la economía del hidrógeno se popularizó enormemente en los 70 debido a la crisis del petróleo, y progresivamente se perdió el interés, hasta su renacimiento durante el último par de décadas, espoleada por las urgencias del cambio climático y los problemas de contaminación del aire en las grandes urbes. De hecho, durante la escritura de este artículo, el gobierno español ha anunciado que destinarán 1.500 millones de euros procedentes del Fondo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea para desarrollar métodos de producción de hidrógeno verde. Estas ayudas se enmarcan en la estrategia del hidrógeno de la UE, que pretende

promover la implantación de esta tecnología instalando 40 GW de electrolizadores para 2030. Parece que el viejo hidrógeno, como en la película de Scorsese, esté dispuesto a una última aventura.