

USOS DEL H₂. LA ESCALERA DE LIEBREICH

escrito por Víctor D. Parra | 17 septiembre 2023

Probablemente antes de llegar hasta aquí habrás leído bastante sobre el **Hidrógeno**, puede que incluso aquí en **MyTips** donde ya hemos escrito varias veces sobre el tema. En este post iremos un poco más allá y hablaremos sobre algunos de sus posibles usos, pero sobre todo, de si tienen sentido desde el punto de vista técnico y/o económico.

Introducción al Hidrógeno

Como ya sabrás, el Hidrógeno, símbolo químico H, es el elemento más abundante en el universo, representando el 75% de la materia visible. En la atmósfera terrestre, es escaso (1 ppm en volumen) debido a su molécula ligera (H₂) que escapa de la gravedad y se difunde en el espacio. Aun así, es el decimoquinto elemento más abundante en su superficie, aunque siempre se presenta en forma de compuestos (agua, H₂O o en forma de hidrocarburos, moléculas más o menos complejas formadas por átomos de Hidrógeno y Carbono).

Hasta no hace mucho ni siquiera los geólogos y los químicos pensaban que pudiera existir yacimientos de Hidrógeno en el subsuelo, al menos, en grandes concentraciones, por eso hasta ahora era necesario producirlo, razón por la que no se considera una [fuente de energía](#) -como pueden ser el sol, el viento el gas natural o el petróleo- sino un [vector energético](#), una forma práctica de transportar o almacenar la energía (como la electricidad o la gasolina).

Más abajo, en el apartado **Artículos relacionados**, **aquí en**

MyTips te dejo un listado con otros post que quizás te interese leer.

Métodos de producción del Hidrógeno

Hay varios métodos para producir Hidrógeno (puedes encontrar más información en el apartado **Artículos relacionados, aquí en MyTips**). Actualmente, cerca del 96% del Hidrógeno global se produce a partir de combustibles fósiles, principalmente mediante reformado de gas natural con vapor de agua. Este proceso plantea preocupaciones por el uso de recursos no renovables y las emisiones de CO₂ resultantes.

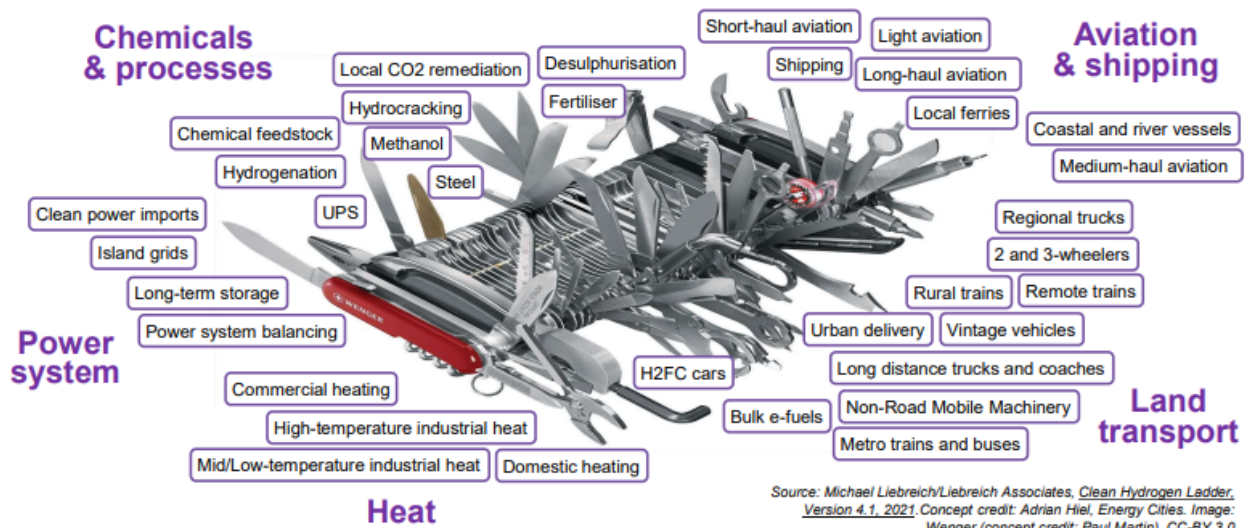
El restante 4% se produce mediante electrólisis del agua (H₂O), proceso en el que se separa la molécula de agua en H₂ y O mediante electricidad. En este caso, las emisiones de la producción de Hidrógeno dependerán de cómo se generó la electricidad empleada para “romper” la molécula de agua. Si esta electricidad es de origen renovable, la producción de Hidrógeno no supondrá emisiones, por eso se espera poder aprovechar el reciente auge de la generación eléctrica renovable -solar fotovoltaica y la eólica- para desarrollar la producción de Hidrógeno Verde (H₂V) que reemplazaría a los combustibles fósiles y eliminaría los problemas de emisiones, contribuyendo así a la descarbonización de la economía.

Tampoco habría emisiones en caso de emplear H₂ de origen nuclear -mediante electrólisis con electricidad (H₂ rosa) o mediante procesos termoquímicos (H₂ rojo)- nos evitaríamos el problema de la intermitencia de las energías renovables y tendríamos la preocupación acerca de la seguridad de las centrales nucleares, la gestión de sus residuos... así que de momento no voy a explorar esa línea.

Retomando el tema del H₂V, muchos lo ven como una especie de “bala de plata” o “navaja suiza” que sirve para todo, como refleja la siguiente imagen.

Clean Hydrogen Swiss Army Knife

Liebreich Associates



Source: Michael Liebreich/Liebreich Associates, Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. Image: Wenger (concept credit: Paul Martin). CC-BY 3.0

1 9 September 2021

Clean Hydrogen Use Case Ladder – Version 4.1a

@mliebreich

Figura 1. El H2 como una solución para cualquier problema, como una navaja suiza.

Pero como cualquiera sabe, una navaja suiza puede ser muy útil en caso de apuro, pero dista mucho de ser la herramienta ideal para cualquier situación, y de esto tratará este post.

“Una navaja suiza puede resultar una herramienta muy útil en muchas situaciones, pero no es la herramienta ideal para todos tus problemas. Lo mismo pasa con el Hidrógeno”

¿Qué es la Escalera del Hidrógeno Limpio, o la Escalera de Liebreich?

La **Escalera del Hidrógeno Limpio** es un gráfico que clasifica los casos de uso del Hidrógeno limpio (entiéndase como **H2V, sin emisiones o con bajas emisiones**) en función de su probabilidad de éxito frente a otras tecnologías limpias contra las que tendrá que competir.

Esta clasificación es similar a la de los electrodomésticos en función de su eficiencia energética; va desde la A (usos inevitables en los que no existe un reemplazo para el Hidrógeno) hasta la G, donde se recopilan usos en los que el

Hidrógeno no resulta competitivo al existir mejores alternativas, **atendiendo a criterios como costes, simplicidad, seguridad y conveniencia.**

Su creador es [Michael Liebreich](#), quien se define a sí mismo como “Conferenciante, analista, escritor, asesor, inversor en la economía del futuro. Presentador del podcast Cleaning Up sobre liderazgo en la era del cambio climático”. Según dice, la escalera “es mi intento de poner los casos de uso del Hidrógeno limpio en una especie de orden de mérito” ya que en su opinión el Hidrógeno no es la solución idónea para todos los casos.

Aplicaciones del Hidrógeno, según la Escalera de Liebreich

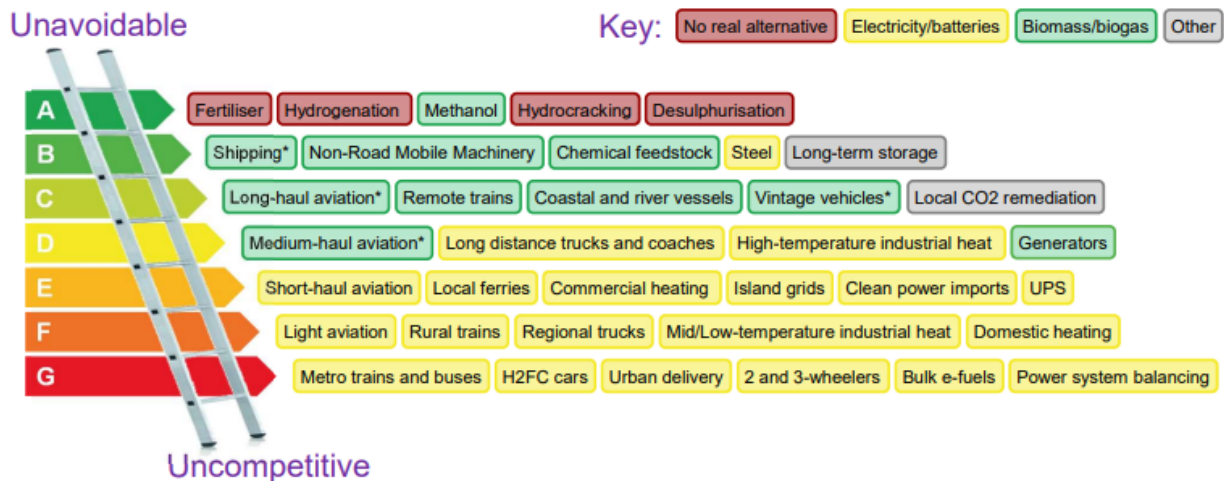
La Escalera reconoce cuatro principales aplicaciones del Hidrógeno, a saber:

- 1. Uso como materia prima y en ciertos procesos industriales.**
- 2. Generación de energía.**
- 3. Transporte,** donde distingue 2 subcategorías: por un lado Transporte Aéreo y Marítimo y por otro el Transporte Terrestre.
- 4. Calefacción.**

Cada una de estas cuatro grandes categorías recoge distintas posibles aplicaciones del Hidrógeno en las que su uso puede o no ser la mejor opción.

Clean Hydrogen Ladder: Competing technologies

Liebreich Associates



* Most likely via ammonia or e-fuel rather than H2 gas or liquid

Source: Michael Liebreich/Liebreich Associates, *Clean Hydrogen Ladder*, Version 4.1, 2021. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. CC-BY 3.0

8 9 September 2021

Clean Hydrogen Use Case Ladder – Version 4.1a

@mliebreich

Figura 2: La escalera del H2 limpio y la competencia de otras tecnologías

Mi resumen y opinión personal

Lo primero, reconocer que no soy un experto en el tema. Me interesa la **Transición Energética** desde diferentes ángulos y procuro aprender. Fruto de mis “investigaciones” sobre el tema encontré este esquema que me pareció muy útil para poder separar el grano de la paja en todo este jaleo de proyectos de H2.

Lo segundo, no es mi intención “fusilar vilmente” la publicación de Michael Liebreich. Su gráfico de la escalera compila muy bien todo lo que detalla en su artículo (o viceversa, su artículo desgrana toda la información que hay en el gráfico) y en los enlaces que os he dejado más abajo podéis ampliar toda esta información si os apetece.

Como indicaba más arriba, **la gran mayoría del H2 empleado actualmente es de origen fósil, por lo que su producción implica emisiones de CO2**. Sus principales usos se dan en la industria del refino (41%), en la producción de amoníaco (34%) y en la de metanol (13%) y, en cantidades menores, en otros

múltiples procesos industriales.

Tan solo reemplazar el actual H2 “sucio” (de origen fósil) por H2V, ya supondría un reto enorme tanto en la “parte eléctrica” (aumento de capacidad de generación, redes de distribución eléctrica, capacidad de almacenamiento para combatir la intermitencia de la generación renovable) como en la red de distribución del H2 (almacenamiento y redes de transporte) que quizás sean las dificultades más evidentes que vemos los “técnicos”, pero no debemos olvidar los aspectos regulatorios y financieros.

Por todo ello, **aumentar la necesidad de H2 para emplearlo en nuevos usos en los que pueden existir otras opciones más adecuadas no parece lo más lógico.**



Figura 3. La Cadena de Suministro del Hidrógeno. Fuente: Decarbonisation Technology (agosto 2023)

Simplemente **hay usos en los que no hay alternativa que pueda reemplazar el uso del H2**, esos deberían ser los primeros en pasarse al H2V mientras que **hay otros que podrían descarbonizarse mediante otras tecnologías más adecuadas.**

Los primeros son los que Liebreich clasifica en la categoría **A**, y marca en color Rojo en su esquema, destacando “sin

alternativa real al H₂”. Son los procesos de Hidrogenación, Hidrocracking e Hidrodesulfuración de la industria de refino. En ellos, el H₂ no actúa como combustible, sino como materia prima sin que exista nada que pueda reemplazarlo en esta función. En estas aplicaciones, la molécula de H₂ es fundamental para que se produzcan las reacciones químicas necesarias para obtener distintos productos a partir del petróleo crudo o para que los productos refinados cumplan con las especificaciones de calidad requeridas.

Lo mismo ocurre con la fabricación de Fertilizantes a partir del amoníaco (el 70% de la producción de amoníaco se destina a fertilizantes sintéticos). La molécula de H₂ se combina con el Nitrógeno (N), un gas diatómico obtenido del aire para formar la molécula del amoníaco NH₃ mediante el proceso de [Haber-Bosch](#). **Sin fertilizantes sintéticos peligraría la alimentación de la mitad de la población mundial** como muy bien explica [Vaclav Smil](#) en su libro [“Cómo funciona el mundo”](#).

En cuanto a la **producción de Metanol**, además de la producción a partir del metano (CH₄), también podría realizarse a partir de [biometano](#), de la biomasa. Mediante un proceso de pirólisis de biomasa o la biodegradación de la materia orgánica a través de la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno, se produce **biogás**, una mezcla de metano (un 50%-70% del volumen) y CO₂ más otros gases como H₂, N₂, O₂ y sulfuro de hidrógeno. Tras un proceso de *upgrading* se retiran estos componentes indeseados, y el biogás se convierte en biometano, un compuesto idéntico al metano de origen fósil, que se considera de 0 emisiones netas.

En el apartado **Para saber más** he dejado algunos enlaces con artículos y/o noticias acerca de **aplicaciones en las que el H₂ no es la solución más acertada**. Una de estas podría ser por ejemplo, la del uso de H₂ para la calefacción o las cocinas domésticas, una aplicación fácilmente electrificable y descarbonizable (obviamente, si se usa electricidad de bajas emisiones) y mejor desde el punto de vista de la seguridad

(nada de canalizaciones o depósitos de gases inflamables).

No se puede descartar la posibilidad de avances tecnológicos relacionados con el Hidrógeno que podrían cambiar esta clasificación en la escalera. Sin embargo, es igualmente probable que se produzcan en las tecnologías que compiten con el H₂.

Personalmente veo dos tendencias o visiones en cuanto al hidrógeno. Por una parte, hay una visión similar al actual, con grandes infraestructuras de distribución que llevarían el H₂ hasta los consumidores (de ahí el interés en la construcción de hidrodutos y/o la reutilización de gasodutos) y otra de la creación de **Clusters de Hidrógeno** en las que productores y consumidores sean “vecinos”. Esta última opción creo que podría ser la más interesante para la reindustrialización de España, mucho mejor que la de exportadora de energía limpia ya sea electricidad verde, H₂V o cualquier otro producto generado a partir de este .

Para saber más

En español

- [Procesos de obtención de hidrógeno y sus posibilidades presentes y futuras](#), artículo de [Manuel Parra Palacios](#) publicado el 06/09/2020 en **LinkedIn**.
- [El proceso de Steam Reforming](#), artículo de Antonio J. Fernández Garrido publicado en la web **Ingenieriaquimica.net** el 29/04/2014 describiendo el proceso de reformado de gas natural con vapor, el principal método industrial de producción de H₂.
- [Los riesgos del hidrógeno](#), artículo de David Valle publicado el 24/05/2021 en la web de **ElPeriódicodelaEnergía.com**. El título lleva a engaño, porque más que de riesgos, habla de los inconvenientes

que presenta el H₂ (baja eficiencia energética para algunos procesos, dificultades para su almacenamiento y transporte, necesidad de recursos naturales, precio...)

- [83\) Historia y química detrás de la síntesis del producto que ha ayudado a alimentar el planeta: Amoniaco \(I\)](#) y [84\) Descarbonización: Fertilizantes sostenibles gracias al hidrógeno verde](#) dos magníficas entradas de la lista de correo de [Ager Prieto Elorduy](#). En ellos explica la relación entre la producción de fertilizantes, el H₂ y el gas natural: el proceso de [Haber-Bosch](#).
- [Kawasaki construye el primer buque capaz de transportar hidrógeno a gran escala](#) noticia del 19/04/2023 en [ElEconomista.es](#), haciéndose eco de la construcción del Suizo Frontier, un barco diseñado para transportar H₂ entre Australia y Japón. Según la noticia, el barco puede transportar 1.250 m³, frente a los entre 100.000 m³ y 266.000 m³ de capacidad de un metanero (según Wikipedia).
- [Demuestran la viabilidad de inyectar un 15% de hidrógeno verde mezclado con gas natural en la red de distribución](#), noticia del 06/09/2023 recogida en la web [PV Magazine](#). La mezcla de H₂ y gas natural es un método para poder utilizar los actuales gasoductos para transportar H₂, evitando los problemas de fragilización del acero que provoca el H₂.
- [Una forma segura, fácil y asequible de almacenar y recuperar hidrógeno](#), artículo del 11/07/2023 en el blog [Cienciaplus](#) recogiendo la noticia del descubrimiento de un compuesto que permite el almacenamiento de H₂ y amoniaco de una forma más económica que la licuefacción a muy bajas temperaturas.
- [Un recubrimiento especial protege al acero del “ataque” del hidrógeno](#), post del 29/07/2020 en la web [Quimica.es](#). El desarrollo de recubrimientos para el interior de las actuales conducciones de gas natural es otra línea de investigación para que los gasoductos puedan usarse como “hidroductos” para transportar hidrógeno.

- [Alemania deja colgada a Ribera y apuesta por el hidrógeno azul del norte de Europa](#), noticia del 28/07/2023 en el periódico on line **TheObjective.com**. Para asegurarse el suministro del H2 que va a necesitar su industria, Alemania prioriza el H2 azul frente al H2 verde. Esto muestra el contraste entre las distintas estrategias dentro de Europa: España quiere hacer valer el H2 verde, Francia promociona el H2 rosa de origen nuclear y Alemania que opta por el pragmatismo del H2 de origen fósil, pero capturando el CO2 (H2 azul).
- [Bruselas descarta que el hidrógeno viaje por los actuales gasoductos y aboga por una red de hidroductos nueva](#). Noticia del 07/09/2023 en **ElPeriódicodeLaEnergía.com**. Una forma de transportar el H2 que se estaba barajando era mezclándolo con el gas natural para inyectarlo en la red de gasoductos ya existentes. La cantidad de H2 en la mezcla es limitada, pero además la posterior separación del H2 del metano tampoco era fácil y afectaría negativamente a la eficiencia del proceso completo.
- [Estudio real del blending. ¿Cómo debe ejecutarse el proceso de mezcla de hidrógeno con gas natural?](#), artículo de [Ager Prieto Elorduy](#) en la web **EnergíaEstratégica.es**. El artículo analiza el efecto de la mezcla de hidrógeno con gas natural (fundamentalmente metano), enfocándose en cómo cambian las propiedades del gas para su uso como combustible. Se considera la adición de hidrógeno al gas natural como una estrategia para descarbonizar las redes de distribución y reducir las emisiones de CO₂.

En inglés

- [The Clean Hydrogen Ladder \[Now updated to V4.1\]](#), artículo de Michael Liebreich donde presenta su "*Clean Hydrogen Ladder*" (Escalera del Hidrógeno limpio),

clasificando los casos de uso del Hidrógeno limpio en función de su probabilidad de éxito.

- [*Chemical Engineer Paul Martin Reflects on Liebreich's Hydrogen Ladder & #Hopium – Part 1*](#) artículo de 01/09/2021 en la web **Cleantechnica.com** en el que [Michael Barnard](#) y [Paul Martin](#) (a quienes sigo en LinkedIn para aprender sobre estos temas) debaten sobre la Escalera de Liebreich.
- [*Hidden Hydrogen. Does Earth hold vast stores of a renewable, carbon-free fuel?*](#), artículo en la web de **Science.org** donde se habla del Hidrógeno natural, generado por reacciones agua-roca en el interior de la Tierra y de un pozo de gas descubierto en 2012 en Malí que produce un gas con una pureza de Hidrógeno del 98%. En España [hay proyectos en la provincia de Huesca](#).
- [*Hydrogen economy Part 1: Supply, demand, reliability and safety*](#), artículo publicado en el número de agosto de 2023 de la revista online **DecarbonisationTechnology.com**. Es el primero de una serie de dos dedicados a las dificultades a las que se enfrenta el desarrollo de las cadenas de suministro de Hidrógeno Verde. Para acceder al artículo es necesario registrarse.
- [*Hydrogen to Replace Natural Gas – By the Numbers*](#) publicación de Paul Martin en LinkedIn del 06/12/2020 donde demuestra que reemplazar el gas natural por el hidrógeno es un uso ineficiente de la energía.
- [*The Myth of Hydrogen for Export*](#), artículo publicado en LinkedIn el 28/04/2022 (y actualizado el 05/06/2023) por la consultora canadiense **Spitfire Research Inc**, en el que se detallan los desafíos técnicos y limitaciones a superar para usar el H₂ como una solución para “mover” la energía desde las regiones donde se produce hasta donde se necesita.
- [*No, You Won't Be Flying In Hydrogen-Powered Passenger Planes*](#), post de Michael Barnard publicado el 03/08/2023 en la revista on line **CleanTechnica**.
- [*German pull the breaks on hydrogen trains*](#), artículo del

03/11/2022 en el medio online **energynews.biz** donde se recoge que las pruebas realizadas con trenes de hidrógeno en 16 líneas distintas en el estado de Baden-Württemberg han llevado a los expertos a recomendar la sustitución de las locomotoras diésel con trenes eléctricos con baterías o trenes eléctricos tradicionales, en función de los trayectos considerados.

- [**Why LNG terminals will not be transporting hydrogen any time soon**](#), artículo del 29/06/2023 en la web **ShipTechnology.com** Tras la crisis energética en Europa como consecuencia de la invasión rusa de Ucrania, Europa se ha lanzado a construir terminales de almacenamiento y regasificación de GNL, a pesar del objetivo europeo de ser un continente NetZero para 2050. La idea que se vende es que estas nuevas instalaciones podrían reacondicionarse para manejar H2. El artículo explica que esto no será ni sencillo ni barato.
- [**Making Net-Zero Ammonia Possible. An industry-backed, 1.5°C – aligned transition strategy**](#). Un interesante documento sobre el reto que supone la reducción de la huella de carbono debida a la producción de amoníaco.
- [**Green Hydrogen: Energizing the path to net zero**](#), interesante informe de la consultora Deloitte sobre las perspectivas mundiales del H2V en 2023. La previsión del aumento de la demanda de H2 es enorme, pero el informe también habla de las dificultades a las que se enfrenta toda la cadena logística del H2.
- [**Recent developments in the field of hydrogen safety**](#) artículo del 08/08/2023 en la web de **Hazardex**. El artículo aborda las principales propiedades del H2 relacionadas con la seguridad y proporciona una visión general sobre la seguridad en su uso, destacando hallazgos recientes.

Artículos relacionados, aquí en MyTips

[EL HIDRÓGENO EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA](#)

[LA "PALETA DE COLORES" DEL HIDRÓGENO](#)

[EL PAPEL DEL REFINO DE PETRÓLEO EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y EL POR QUÉ DEL INTERÉS DE LAS PETROLERAS EN EL HIDRÓGENO](#)