

HIDRÓGENO: VECTOR ENERGÉTICO DEL PRESENTE Y FUTURO

EL HIDRÓGENO ES EL ELEMENTO MÁS ABUNDANTE DEL UNIVERSO, PERO NO SE ENCUENTRA DE FORMA LIBRE EN LA TIERRA. NO ES UN RECURSO NATURAL, ES DECIR, HAY QUE PRODUCIRLO, AL IGUAL QUE SUCEDER CON LA ELECTRICIDAD, MOTIVO POR EL QUE SE SUELE DECIR QUE EL HIDRÓGENO ES UN VECTOR ENERGÉTICO. EL HIDRÓGENO PUEDE PRODUCIRSE A PARTIR DE RECURSOS MUY VARIADOS (AGUA, RECURSOS FÓSILES, BIOMASA, MICROORGANISMOS, ETC.), SIGUIENDO DIVERSOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN COMO ELECTROLISIS, GASIFICACIÓN, REFORMADO, FOTOELECTROLISIS, FOTOBÍOLISIS, Y OTROS.

Por la diversidad de recursos, la utilización del vector energético hidrógeno implica mayor seguridad de abastecimiento energético y mayor acceso a la energía. En función de los recursos disponibles localmente, cada ciudad o país puede escoger entre la forma más coste-efectiva para la producción de hidrógeno.

Todos los gastos de transformación suponen un gasto energético, cuyos costes son asumibles (como sucede con la electricidad), pero a diferencia de la electricidad, el hidrógeno es fácilmente almacenable. Dentro de los diferentes procesos de producción de hidrógeno, se distingue entre el hidrógeno producido a partir de fuentes no renovables y el producido a partir de renovables.

Los métodos de producción de hidrógeno a partir de fuentes no renovables se han utilizado desde hace más de cien años en diferentes procesos industriales, por ejemplo el hidrógeno producido mediante reformado de gas natural, para el proceso de hidrocraqueo en refinerías o el hidrógeno producido a partir de reformado de gas natural, para el proceso de síntesis de amoníaco para la industria de fertilizantes y explosivos. El hidrógeno producido de esta forma, tiene una emisión de CO₂ de aproximadamente 12 t por tonelada de hidrógeno producido.

Los métodos de producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables, como por ejemplo el reformado, la oxidación parcial y la gasificación de biomasa, se vienen utilizando desde hace décadas, pero más orientados a la producción de gas de síntesis y su posterior combustión en motores de combustión interna de bajo poder calorífico, que para ser utilizados en la producción de hidrógeno propiamente, previo paso por la etapa de purificación de la corriente del gas de síntesis.

En lo que se refiere a métodos de producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables, y ligado a la implantación masiva de plantas de generación de energía renovable, que se están implementando a nivel mundial (instalaciones solares, eólicas, hidráulicas, mareomotrices, etc.), la electrólisis del agua es el método de producción más adecuado y el que más interés está despertando por parte de las industrias y las administraciones de los diferentes países a nivel mundial. La electrólisis es un proceso electroquímico por el cual, a partir de electricidad, se obtiene hidrógeno y oxígeno a través de la descomposición de la molécula de agua. Se trata de un método que permite la producción de hidrógeno de manera limpia, siempre y cuando la energía que se utilice para el proceso provenga de fuentes renovables. Su importancia generalizada frente al resto de tecnologías de producción de hidrógeno renovable, se debe principalmente a:

- Utiliza electricidad como fuente primaria para la ruptura de la molécula de agua, disponiendo de una gran flexibilidad para ser integrada con las distintas instalaciones de producción renovable.
- La electrólisis tiene la capacidad de operar a cargas parciales y variar la carga de forma muy rápida, lo que ofrece una gran flexibilidad para acoplarse con las instalaciones de producción renovable.
- Los electrolizadores están compuestos de sistemas modulares que permiten su fácil escalado desde bajas hacia altas potencias, por lo que puede ser utilizado tanto para producción centralizada como descentralizada.

HYDROGEN: THE ENERGY VECTOR OF TODAY AND TOMORROW

HYDROGEN IS THE MOST ABUNDANT ELEMENT IN THE UNIVERSE, BUT IS NOT FREELY AVAILABLE IN THE GROUND. IT IS NOT A NATURAL RESOURCE, IN OTHER WORDS, IT HAS TO BE PRODUCED, JUST LIKE ELECTRICITY, WHICH IS WHY USE IT IS USUALLY SAID THAT HYDROGEN IS AN ENERGY VECTOR. HYDROGEN CAN BE PRODUCED FROM A WIDE RANGE OF RESOURCES (WATER, FOSSIL RESOURCES, BIOMASS, MICROBES, ETC.), FOLLOWING DIFFERENT TRANSFORMATION PROCESSES INCLUDING ELECTROLYSIS, GASIFICATION, REFORMING, PHOTOELECTROLYSIS AND PHOTOBIOLYSIS.

Due to the diversity of resources, the use of the hydrogen energy vector means a far more secure energy supply and better access to energy. Depending on the locally-available resources, every city and country can choose the most cost-effective way to produce hydrogen.

Every transformation cost represents an energy cost, whose costs are acceptable (as with electricity), however unlike electricity, hydrogen is easy to store. Within the different hydrogen production processes, we can distinguish between hydrogen produced from non-renewable sources and that produced from renewables.

The hydrogen production methods from non-renewable sources have been used for over a century in different industrial processes, for example, hydrogen produced by reforming natural gas for the hydrocracking process in refineries; or hydrogen produced from reforming natural gas for the synthesised ammonia process for the fertiliser and explosives industry. Hydrogen produced in this way emits around 12 tonnes of CO₂ per tonne of hydrogen produced.

Hydrogen production methods from renewable sources, such as for example, reforming, partial oxidation and biomass gasification, have been used for decades, however are more geared towards the production of syngas and its subsequent combustion in internal combustion engines with a low calorific value, rather than being used in the production of hydrogen per se, after passing through the syngas purification stage.

As regards methods of producing hydrogen from renewable sources, and linked to the mass introduction of renewable energy power plants that are being deployed at global level (solar, wind power, hydro, tidal, etc.), water electrolysis is the most appropriate production method and the one which is awakening the most interest for industries and administrations in different countries worldwide. Electrolysis is an electrochemical process through which, hydrogen and oxygen are obtained from electricity by breaking down the water molecule. It involves a method that allows hydrogen to be cleanly produced, provided the energy used for the process is renewably-sourced. Its widespread importance compared to the rest of the renewable hydrogen production technologies is mainly due to:

- Using electricity as a primary source for breaking down the water molecule provides a high degree of flexibility so that it can be integrated into the different renewable production facilities.
- Electrolysis is able to operate at partial loads and vary the load very fast, thereby providing the high level of flexibility for connection to the renewable production facilities.
- The electrolyzers are made up of modular systems that are easily scalable from low to high outputs, meaning they can be used for both centralised and decentralised production.



Figura 1. Conversión de excedentes de energía renovable en hidrógeno. Fuente: Enertrag
 Figure 1. Converting surplus renewable energy into hydrogen. Source: Enertrag

- El hidrógeno producido es de alta pureza y apto para el uso en todas las aplicaciones, incluidas las de pilas de combustible.
- Se trata de una tecnología disponible en el mercado con costes aceptables y eficiencias mayores que el resto de las tecnologías en desarrollo.

El hidrogeno como vector energético, tiene diferentes aplicaciones en las que resulta realmente interesante, entre las que se pueden destacar:

Transformación del exceso de energía renovable en hidrógeno, almacenamiento y transformación nuevamente en hidrógeno mediante pila de combustible, motor de combustión interna o microturbina. Esta opción permite hacer que las instalaciones renovables no gestionables, puedan serlo, aumentando la competitividad de las mismas. La eficiencia del ciclo completo es de entre el 40 y el 50%, pero se ha de tener en cuenta que se trata de energía que de otra forma se perdería. (Ver Figura 1).

Transformación del exceso de energía renovable en hidrógeno, almacenamiento y posterior distribución desde el punto de producción hasta las hidrogeneras o punto de repostaje de hidrógeno, donde será consumido como combustible en vehículos eléctricos de pilas de combustible o en vehículos de combustión interna modificados para funcionar con hidrógeno como combustible. En este caso, el exceso de energía renovable se transforma en combustible, reduciendo las importaciones de combustible y las emisiones de GEIs, al ser vapor de agua la única emisión producida por la combustión electroquímica del hidrógeno. (Ver Figura 2).

Transformación del exceso de energía renovable en hidrógeno e inyección en la red de gas natural. De esta forma, se interconectan las dos redes principales que cualquier país desarrollado posee, la red eléctrica y la de gas natural. Esta opción permite inyectar el exceso de energía renovable en la red de gas natural, permitiendo su almacenamiento, debido a la gran capacidad existente en las redes de gas natural. Desde el punto de vista técnico, sería posible inyectar hasta el 20% de hidrógeno en la actual red de gas natural sin problemas, pero en la actualidad el máximo porcentaje que se permite inyectar es del 12%, en Holanda. La mezcla gas natural-hidrógeno puede utilizarse para generar energía térmica o eléctrica o como combustible en vehículos de gas natural. (Ver Figura 3 en la página siguiente).

Transformación del exceso de energía renovable en hidrógeno y mezcla con CO₂ residual de cualquier proceso, para la generación de metano sintético, siendo dicho metano el componente principal del gas natural, generando por tanto gas natural sintético autóctono, sin la necesidad de ser importado del exterior. De la misma forma, es posible mezclar el hidrógeno proveniente del exceso de energía renovable con biogás proveniente de plantas

- The hydrogen produced is extremely pure and suitable for use in all areas of application, including fuel cells.
- This technology is available in the market with acceptable costs and greater efficiencies than other technologies under development.

Hydrogen as an energy vector is extremely interesting for different applications, in particular the following:

Transforming surplus renewable energy into hydrogen, storing and transforming it again into hydrogen through fuel cells, internal combustion engines or microturbines. This option can turn non-dispatchable renewables installations into dispatchable facilities thereby increasing their competitiveness. The efficiency of the full cycle is between 40 and 50%, but it must be remembered that this involves energy that would otherwise be wasted. (See Figure 1).

Transforming surplus renewable energy into hydrogen, storing it and subsequently distributing it from the point of production to the hydrogen stations or hydrogen refuelling point, where it will be consumed as a fuel in electric vehicle fuel cells or in internal combustion engine vehicles modified to operate with hydrogen as a fuel. In this case, the surplus renewable energy is transformed into fuel, reducing fuel imports and GHG emissions, as water vapour is the only emission produced by the electrochemical combustion of the hydrogen. (See Figure 2).

Transforming surplus renewable energy into hydrogen and injecting it into the natural gas grid. As a result, the two main grids - electricity and natural gas - that any developed country already has are interconnected. This option makes it possible to inject the surplus renewable energy into the natural gas grid, allowing it to be stored thanks to the grid's existing large capacity. From the technical point of view, it would be possible to inject up to 20% of hydrogen into the current natural gas grid without any problem, but currently the maximum permitted percentage injected is 12%, in the Netherlands. The natural gas-hydrogen mixture can be used to generate thermal energy or electricity or be used as a fuel in natural gas vehicles. (See Figure 3 in the next page).

Transforming surplus renewable energy into hydrogen and mixing it with the residual CO₂ from any process, to generate synthetic methane, where this methane is the primary component of natural gas, thereby generating locally-produced synthetic natural gas, with no need to import it from outside. Similarly, it is possible to mix the hydrogen originating from the surplus renewable energy with biogas originating from biodigestion plants, landfill, waste water treatment plants, etc., transforming a current that initially has a low methane content, into a current with a methane content of over 98%.

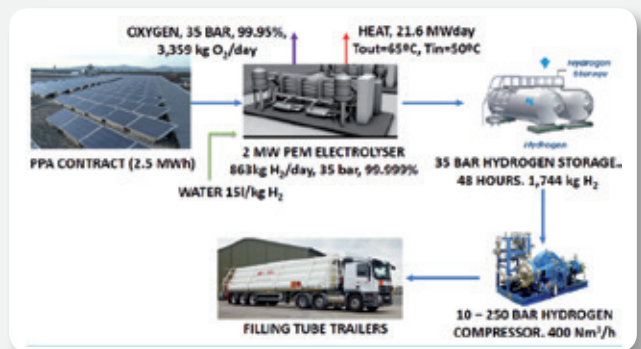


Figura 2. Generación de hidrógeno mediante energías renovables y uso en el sector movilidad. Fuente: CNH2. | Figure 2. Hydrogen generation from renewables and use in the mobility sector. Source: CNH2



Figura 3. Conversión de excesos de energía renovable en hidrógeno e inyección directa en la red de gas natural. Fuente: E-On. | Figure 3. Converting surplus renewable energy into hydrogen and direct injection into the natural gas grid. Source: E-On.

de biodigestión, vertederos, plantas de tratamiento de agua, etc., transformando una corriente que inicialmente tiene un contenido pobre en metano, en una corriente con un contenido en metano por encima del 98%.

Esta opción elimina la limitación del 10% en volumen existente cuando se inyecta hidrógeno directamente y permite por lo tanto interconectar totalmente la red eléctrica y la red de gas natural. Esto es realmente interesante, ya que es más eficiencia transportar gas que transportar electricidad. El gas natural sintético generado, se puede utilizar para generar energía térmica, eléctrica o como combustible para vehículos alimentados por gas natural. (Ver Figura 4).

Transformación del exceso de energía renovable en hidrógeno y mezcla con N₂ para generar amoníaco renovable. Este amoníaco renovable podrá ser utilizado para la industria de fertilizantes, explosivos, industria química, etc., o bien podrá utilizarse como un *energy carrier*, al ser posible almacenar 120 kg de hidrógeno por metro cúbico de amoníaco. En este último caso, a 10 bar de presión, será un líquido estable y podrá utilizarse como almacén de energía e incluso para exportar energía fuera de España hasta países con bajo potencial de energías renovables. En el caso de utilizarse como *energy carrier*, el hidrógeno antes de su uso, ha de ser separado del amoníaco, mediante procesos catalíticos o electroquímicos.

Transformación del exceso de energía renovable en hidrógeno y mezcla con CO₂ para generar etanol y/o metanol renovable. Este etanol y/o metanol renovable podrán ser utilizados para la industria química e industrias auxiliares, o bien podrá utilizarse como un *energy carrier*, al ser posible almacenar 100 kg de hidrógeno por metro cúbico de etanol y/o metanol. En este último caso, en condiciones atmosféricas de presión y temperatura, será un líquido, que será estable y podrá utilizarse como almacén de energía e incluso para importar energía fuera de la comunidad de Castilla la Mancha o incluso fuera de España y Europa. En el caso de utilizarse como *energy carrier*, el hidrógeno antes de su uso, ha de ser separado del etanol y del metanol, mediante procesos catalíticos o electroquímicos.

This option eliminates the 10% limitation on existing volume when hydrogen is directly injected and therefore enable a full interconnection between the electrical grid and the natural gas grid. This is really interesting as it is more efficient to transport gas than to transport electricity. The synthetic natural gas generated can be used to generate thermal energy, electricity or used as a fuel for vehicles powered by natural gas. (See Figure 4).

Transforming the surplus renewable energy into hydrogen and mixing it with N₂ to generate renewable ammonia. This renewable ammonia could be used for different industries such as fertilisers, explosives and chemicals. Alternatively, it could be used as an energy carrier as it is possible to store 120 kg of hydrogen per cubic metre of ammonia. In the latter case, at 10 bars of pressure, it is a stable liquid and can be used for energy storage or even to export energy from Spain to countries with low renewable energy potential. In the event it is used as an energy carrier, the hydrogen must first be separated from the ammonia using catalytic or electrochemical processes.

Transforming the surplus renewable energy into hydrogen and mixing it with CO₂ to generate renewable ethanol and/or methanol. This renewable ethanol and/or methanol can be used for the chemical and auxiliary industries, or as an energy carrier, as it is possible to store 100 kg of hydrogen per cubic metre of ethanol and/or methanol. In the latter case, in atmospheric pressure and temperature conditions, it is a stable liquid and could be used for energy storage and even to import energy from outside the Autonomous Community of Castilla La Mancha or even from outside Spain and Europe. If it is used as an energy carrier, the hydrogen must first be separated from the ethanol and methanol using catalytic or electrochemical processes.

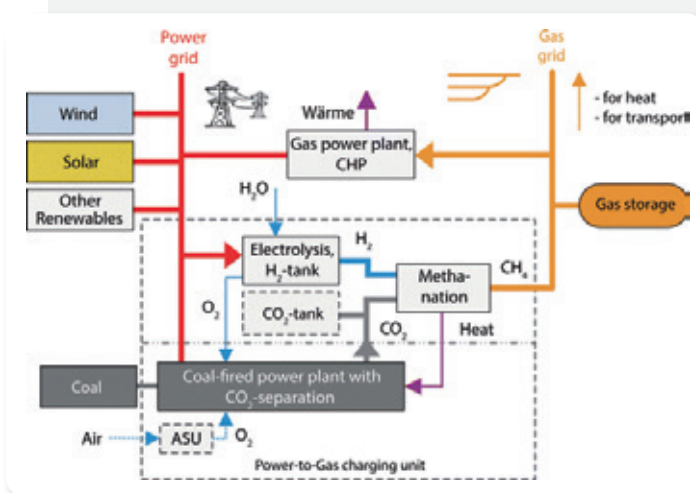


Figura 4. Conversión de excesos de energía renovable en hidrógeno y conversión en metano sintético. Fuente: Solarfuel. | Figure 4. Converting surplus renewable energy into hydrogen and conversion into synthetic methane Source: Solarfuel.



Carlos Fúnez Guerra

Responsable de la Unidad de Innovación Abierta del Centro Nacional del Hidrógeno.
Head of the Open Innovation Unit at the Spanish National Hydrogen Centre.