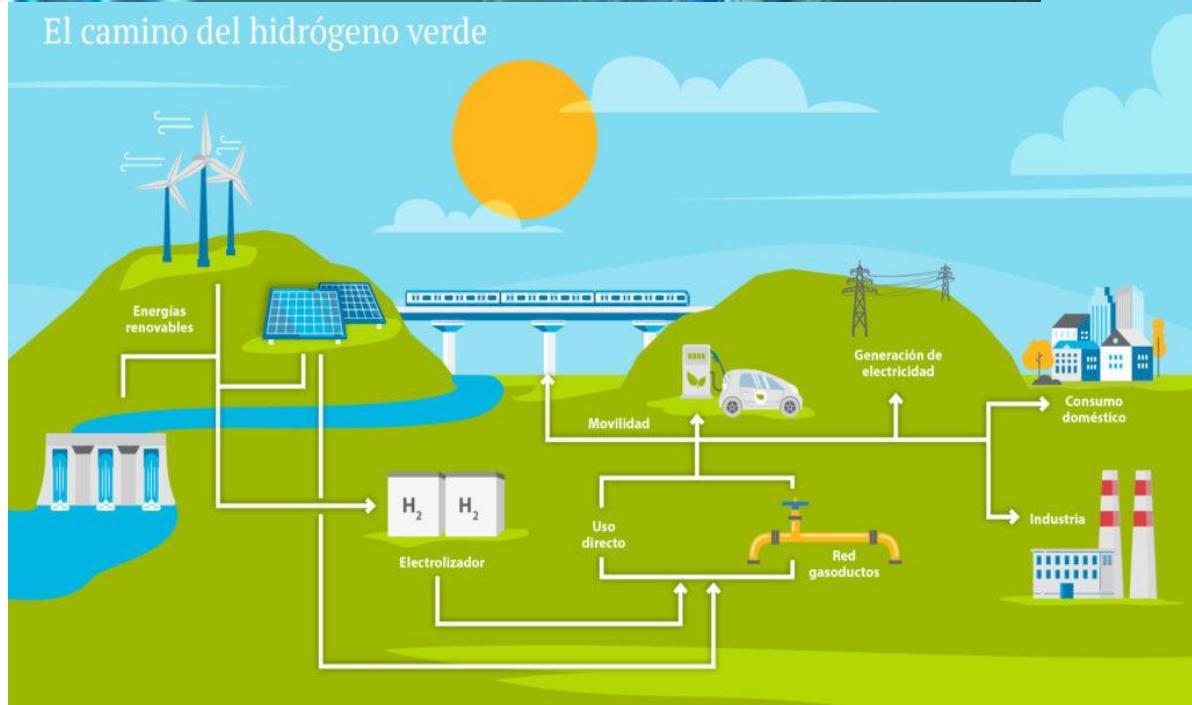


# EL HIDRÓGENO



El camino del hidrógeno verde



1. ¿Qué es el hidrógeno?
2. H<sub>2</sub> como fuente de energía renovable.
  - Producción de energía a partir de hidrógeno.
3. Tipos de Hidrógeno:
  - Hidrógeno negro o marrón.
  - Hidrógeno gris.
  - Hidrógeno azul.
  - Hidrógeno verde.
4. Hidrógeno verde: el hidrógeno renovable.
5. Recursos de H<sub>2</sub> en el planeta.
6. Almacenamiento.
  - Gas a presión.
  - Forma líquida (Ciclos criogénicos, Ciclo de Linde).
7. Principales usos.
  - Industria pesada.
  - Almacenamiento de energía.
  - Uso doméstico.
  - Pilas de combustible renovable: coches de hidrógeno.
8. Ventajas e inconvenientes.
  - Impacto del H<sub>2</sub> verde.

## 1. ¿QUÉ ES EL HIDRÓGENO?

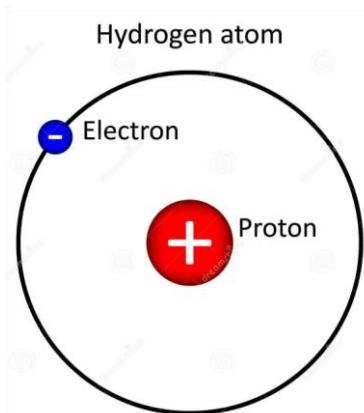
El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica.

Es el elemento químico más ligero que existe, su átomo está formado por un protón y un electrón y es estable en forma de molécula diatómica ( $H_2$ ).

En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, y es insípido, incoloro e inodoro.

En la Tierra es muy abundante, constituye aproximadamente el 75 % de la materia del Universo, pero se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos.

Por tanto, no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético (como la electricidad) y por ello se tiene que “fabricar.”



## 2. H<sub>2</sub> COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE

La descarbonización del planeta es uno de los objetivos que se han marcado países de todo el mundo de cara a 2050. Nuestra forma de vida necesita cada vez más vatios para funcionar. Las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), publicadas a finales de 2019, prevén un aumento de la demanda energética global de entre un 25 y un 30 % hasta 2040, lo que en una economía dependiente del carbón y el petróleo significaría más CO<sub>2</sub> y el agravamiento del cambio climático. Sin embargo, la descarbonización del planeta nos propone un mundo distinto para 2050: más accesible, eficiente y sostenible, e impulsado por energías limpias como el **hidrógeno verde**.

Existen distintos métodos de producción de hidrógeno. Se puede producir a partir de:

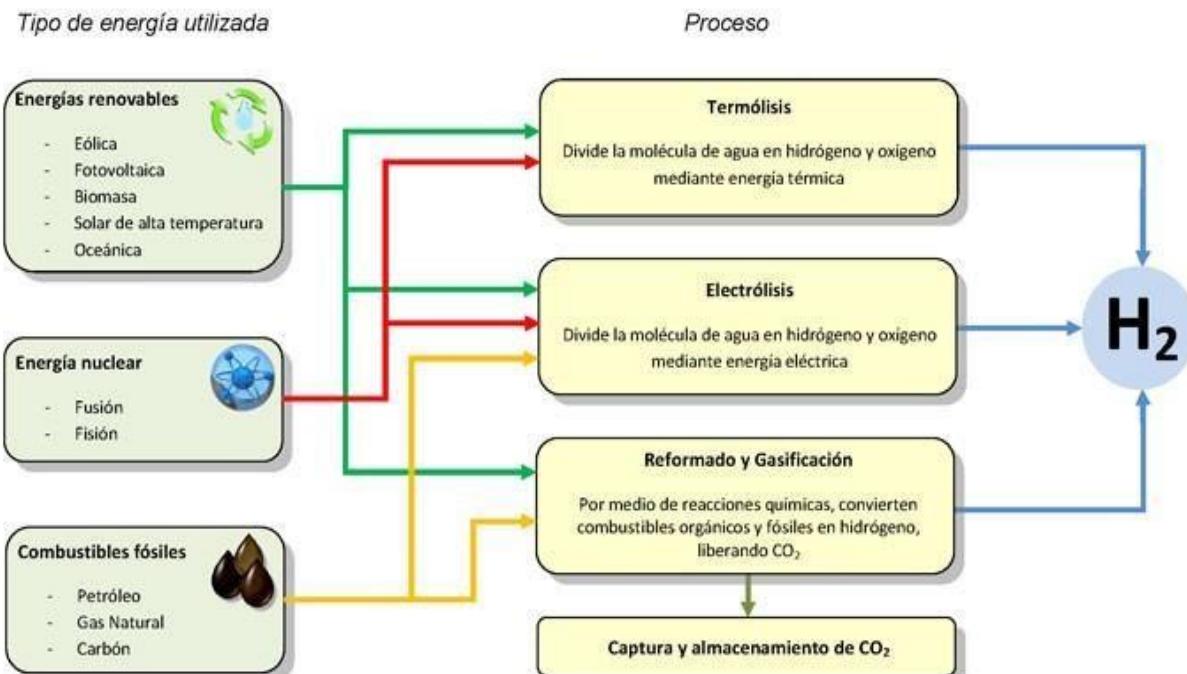
- distintas materias primas
- distintas fuentes de energía
- por distintos procedimientos.

Según sean la materia prima y la fuente energética utilizada para producirlo se podrá hablar de:

- procesos 100% renovables

- 100% fósiles
- híbridos en un determinado porcentaje.

### -Producción de energía a partir del hidrógeno



El hidrógeno puede ser producido localmente, en grandes instalaciones centrales o en pequeñas unidades distribuidas ubicadas en la zona o cerca del punto de uso. Esto significa que todas las zonas, incluso áreas remotas, pueden convertirse en productores de energía.

Cuando el hidrógeno es producido usando fuentes de energía renovables y se aprovecha para la alimentación eléctrica de las pilas de combustible de alta eficiencia, los beneficios medioambientales del hidrógeno son aún mayores.

Además, el hidrógeno puede ser producido y almacenado utilizando los excedentes de energía producida por las energías renovables, como la solar, la eólica, la hidráulica, ....

Un kilogramo de hidrógeno puede liberar más energía que un kilogramo de cualquier otro combustible (casi el triple que la gasolina o el gas natural), y para liberar esa energía no emite nada de dióxido de carbono, tan sólo vapor de agua, por lo que el impacto ambiental es nulo.

### 3. TIPOS PRINCIPALES DE HIDRÓGENO



- **Hidrógeno negro o marrón.**

Resulta de la gasificación del carbón, utiliza combustibles no renovables y emite CO2 a la atmósfera.

- **Hidrógeno gris.**

Se obtiene mediante el reformado de combustibles fósiles, siendo el gas natural el más común. Es el más barato de producir y en el proceso emite una gran cantidad de CO2 a la atmósfera. Es el tipo de hidrógeno que más se utiliza actualmente.

- **Hidrógeno azul.**

Se obtiene de combustibles fósiles pero con técnicas capaces de capturar y almacenar las emisiones de CO2 que producen. Menos contaminante que el hidrógeno gris, pero solo es capaz de reducir las emisiones, no de eliminarlas por completo.

- **Hidrógeno verde.**

Es el hidrógeno renovable, se produce mediante la electrólisis del agua. Se alimenta en su totalidad por energía renovable, no emite emisiones contaminantes, es limpio y sostenible.

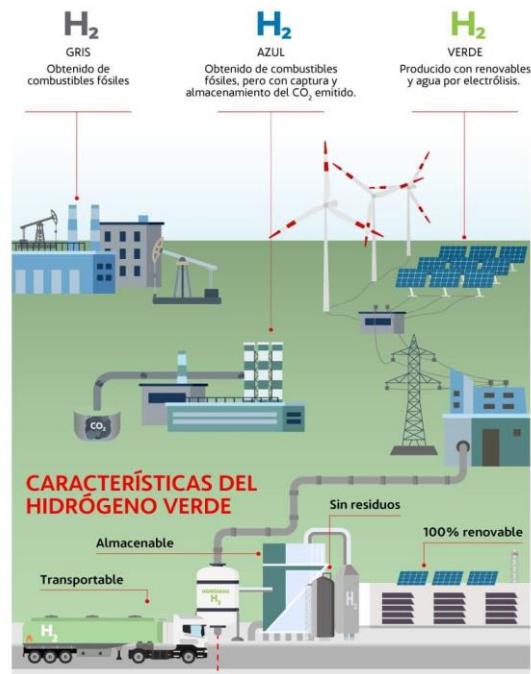
# LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA DEL HIDRÓGENO VERDE



Un combustible limpio, de origen 100 % renovable, capaz de sustituir los combustibles fósiles en aquellos sectores difíciles de descarbonizar.

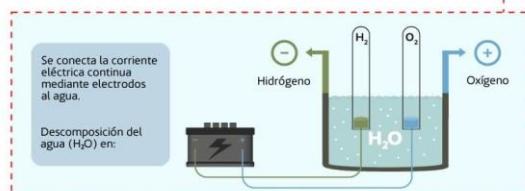
## ¿QUÉ ES EL HIDRÓGENO?

Es el elemento más abundante del planeta. Puede ser:

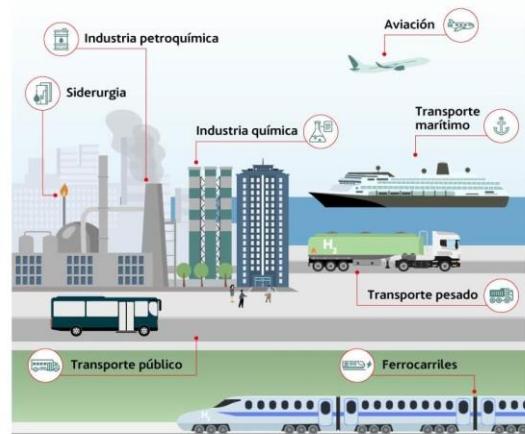


## ¿CÓMO SE PRODUCE EL HIDRÓGENO VERDE?

La forma más extendida es mediante electrólisis



## ¿EN QUÉ SECTORES SERÁ CLAVE EL HIDRÓGENO VERDE?



#### **4. HIDRÓGENO VERDE: EL HIDRÓGENO RENOVABLE**

El hidrógeno verde es el obtenido mediante el uso de energías renovables en su producción, lo que lo convierte en un combustible limpio, sostenible y con un índice de contaminación cero que puede ser clave no solo como vector energético, sino como materia prima.



Su gran valor en la jucha contra el cambio climático radica en su capacidad de sustituir a los combustibles fósiles en aquellos sectores y usos que hasta ahora eran más difíciles de descarbonizar, además de su potencial como sistema de almacenamiento de energía.

El hidrógeno verde se consigue mediante un proceso de electrólisis impulsado con energías renovables como la eólica o la solar. La electrólisis consiste en utilizar una corriente eléctrica para descomponer mediante electrodos la molécula del agua en oxígeno e hidrógeno.



Cuando necesitamos convertirlo en energía, el hidrógeno almacenado en tanques específicos es canalizado hacia una pila de combustible. Allí se une de nuevo con oxígeno procedente del aire y se obtiene la energía eléctrica. De este modo, el único residuo que deja el proceso es

agua, un sistema limpio, sostenible y en el que para producir energía no se emite ni un ápice de CO<sub>2</sub>.

## 5. RECURSOS DE H<sub>2</sub> EN EL PLANETA

Este elemento, el más abundante en la naturaleza, es también el más limpio en cuanto a emisiones de los que se barajan como sustitutos de los combustibles fósiles.

Ahora bien, al no existir apenas de forma libre en la naturaleza, para obtenerlo en grandes cantidades requiere un proceso industrial al que la compañía Total dedica un reciente informe divulgativo.

En la Tierra, el hidrógeno suele estar ligado a otros elementos. La asociación más abundante es con el carbono, con el que forma gas metano, y con el oxígeno para formar el líquido más abundante en nuestro planeta, el agua. La forma más limpia para obtener metano sin contaminar durante el proceso industrial es utilizar energías renovables como la eólica o la solar para producir una electrólisis que libere las moléculas de hidrógeno.



Hoy en día, la obtención del hidrógeno proviene en su 95 por ciento de fuentes de energía fósiles: el gas natural y el petróleo.

Existen tres métodos industriales para obtener hidrógeno: **la transformación molecular, la gasificación del carbón y la electrólisis del agua:**



La primera técnica consiste en la utilización de reacciones químicas para obtener hidrógeno a partir del **gas natural de los yacimientos petrolíferos**. Se recurre a vapor de agua a muy altas temperaturas para disociar el carbono del hidrógeno que

componen el gas natural. En dos reacciones sucesivas, éste da lugar a dihidrógeno por un lado y dióxido de carbono por otro.

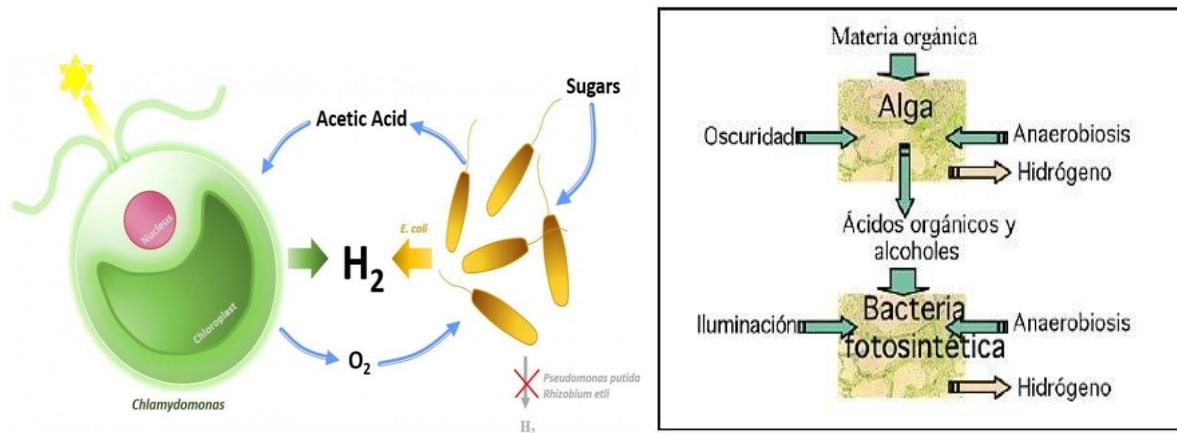


En el caso de la **gasificación del carbón**, se utiliza un reactor para quemar el carbón a muy elevadas temperaturas. En la combustión se liberan gases que dan lugar por un lado a hidrógeno y por otro a monóxido de carbono.

Por último, la **electrólisis del agua** es el método más limpio medioambientalmente de los tres, siempre y cuando se utilice en su proceso una energía no contaminante, solar o eólica, como ya hemos apuntado. Para este método de obtención del hidrógeno se necesita una gran cantidad de energía eléctrica, no siempre disponible. Esta circunstancia hace que por ahora la electrólisis no resulte en general rentable en la consecución de hidrógeno directamente a partir del agua. El aprovechamiento de los excedentes de energía eléctrica cuando decae el ciclo de consumo sería una buena forma de generar hidrógeno a costes reducidos.



Las perspectivas del hidrógeno como fuente inagotable de energía almacenable para sustituir a los combustibles fósiles ha propiciado nuevas vías de investigación. Todavía en periodo experimental se encuentran las **técnicas fotosintéticas** que obtienen hidrógeno a partir de **microorganismos**, las aplicaciones de **fotoelectrolisis** sumergiendo paneles foto electro químicos que descomponen el agua mediante la **energía solar** y la descomposición directa del agua mediante **energía nuclear** con la dependencia del **uranio** que ello implica.



## 6. ALMACENAMIENTO

El **almacenamiento y la distribución de hidrógeno**, producido a partir de distintas fuentes y utilizado de diversas maneras, constituyen elementos clave de la economía del hidrógeno: el exceso de producción para un posterior uso, transportar el hidrógeno almacenado desde el punto de producción hasta el de consumo, y poder cargar y descargar convenientemente el hidrógeno desde y hasta el depósito de almacenamiento de acuerdo con las necesidades existentes.

Dependiendo del uso final del hidrógeno, los sistemas de almacenamiento y las condiciones de los mismos deben variar.

Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno tienen **limitaciones** en cuanto a **superficie ocupada, peso y volumen, necesidad de sistemas auxiliares**, etc.

Las características del hidrógeno (gas combustible, altamente inflamable, no tóxico, incoloro, inodoro e insípido) hacen de la **seguridad** un condicionante principal a la hora de seleccionar un sistema de almacenamiento de hidrógeno.

Existen **diferentes formas de almacenamiento de hidrógeno** que cumplen los requisitos para poder trabajar en diferentes situaciones. Estos sistemas de almacenamiento pueden ser:

- En gas a presión.
- En forma líquida (almacenamiento criogénico).
- En hidruros metálicos.

- En carbón: activado, grafito, lechos de carbón molecular, nanofibras, fulerenos, etc.
- En forma de compuestos químicos ( $\text{NH}_3$ , tolueno, etc.)
- En microesferas de vidrio.
- En zeolitas.

De todas estas opciones, actualmente **solo las tres primeras presentan la suficiente fiabilidad** como para estar presentes en el mercado y poder ser **empleadas con suficientes garantías**. El resto de posibilidades se encuentra aún en fases tempranas de investigación.

### **ALMACENAMIENTO DE GAS A PRESIÓN.**

Es la forma de almacenamiento más difundida y que cuenta con mayor experiencia. El hidrógeno puede ser almacenado en forma gaseosa en diferentes tipos de depósitos:

- depósitos de superficie móviles
- depósitos de superficie estacionarios
- cavernas subterráneas.

En los centros de producción de  $\text{H}_2$ , el gas se comprime a **200 atmósferas** y se envasa en botellas o plataformas.

Estas botellas o plataformas se trasladan posteriormente a los centros de consumo.



## ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO LÍQUIDO.

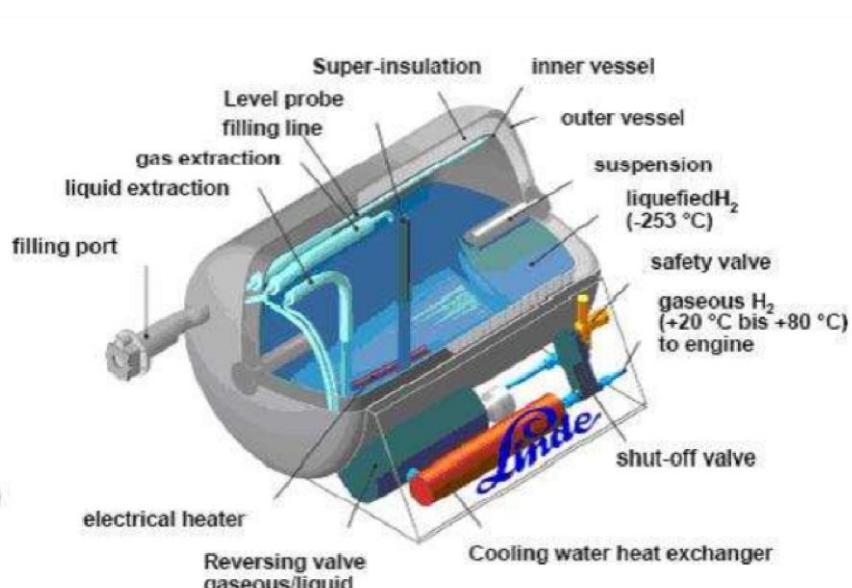
Las aplicaciones espaciales y de transporte suponen uno de los principales campos de uso del H<sub>2</sub>.

Para poder almacenar hidrógeno líquido a presión atmosférica hemos de mantener estas **bajas temperaturas**. Aquí radica el principal inconveniente de almacenar y manipular el gas licuado en estas condiciones.

El hidrógeno pasa al estado líquido a una temperatura inferior a **-235 °C**. Se utilizan tanques especiales («criogénicos»), que es necesario enfriar para mantener las bajas temperaturas interiores que se requieren. Este sistema sólo es utilizado cuando se necesita maximizar la capacidad de almacenamiento en un espacio reducido (por ejemplo, en algunas aplicaciones de transporte).

El **hidrógeno criogénico** se obtiene a partir de la licuación del mismo. La licuación es el proceso de pasar un gas a líquido por medio de modificar sus condiciones de presión y temperatura.

El proceso de licuación utiliza una combinación de compresores, intercambiadores de calor y válvulas de expansión para lograr el enfriamiento necesario.



Fuente: Linde

Figura 58 – Esquema de un contenedor de hidrógeno líquido.

El proceso de licuación más simple es el ciclo de Linde. En este proceso, el gas primero sufre una compresión isotérmica a temperatura ambiente, después un enfriamiento a presión constante en un intercambiador de calor y finalmente una expansión isoentálpica. En este último proceso parte del gas se licua y el resto es recirculado por el intercambiador de calor, de vuelta al compresor para cerrar el ciclo.

### **HIDRUROS METÁLICOS.**

Diversos metales forman compuestos con el hidrógeno, conocidos como hidruros. La formación de estos compuestos es reversible, de forma que es posible volver fácilmente a tener el hidrógeno y el metal inicial.

Este sistema ofrece una alta capacidad de almacenamiento y presenta diversas ventajas de seguridad y manipulación (almacenamiento sólido a presión y temperatura ambiente) frente a otros sistemas.

Sus principales desventajas son el elevado peso de los equipos y su alto precio.

### **7. PRINCIPALES USOS**

- **Almacenamiento de energía.**

El hidrógeno verde puede servir como sistema de almacenamiento de energía gracias a su gran volumen y a su larga duración de una manera similar a como usamos ahora las reservas estratégicas de gas natural o petróleo. De este modo, podríamos aprovisionar reservas de hidrógeno renovable para dar soporte a la red eléctrica.



- **Industria pesada.**

El hidrógeno se utiliza como materia prima en la industria química para fabricar amoníaco y fertilizantes, en la industria petroquímica para el refinado del petróleo y en la metalurgia para obtener acero.



El uso de hidrógeno en estas tres industrias produce una gran cantidad de emisiones de dióxido de carbono. Por ejemplo, la fabricación de acero constituye entre el 6 y el 7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> globales, entre 2 y 3 veces las emisiones de toda la aviación mundial.

Podríamos emplear el hidrógeno verde como materia prima y producir acero sin emisiones, lo que sería un paso muy importante para la urgente descarbonización de estas industrias.

- **Uso doméstico.**

El hidrógeno verde es capaz de alcanzar temperaturas difíciles de conseguir con otros procesos limpios. Por eso su uso en electricidad y calefacción para los hogares es una de las aplicaciones más esperanzadoras del hidrógeno verde.



- **Combustible limpio y renovable.**

El uso del hidrógeno verde como combustible será una de las claves para ayudar a la **descarbonización del transporte**, sobre todo el de larga distancia y el aéreo.



En el **transporte marítimo** normalmente se emplean combustibles muy baratos pero muy contaminantes, por lo que el hidrógeno verde se presenta como una alternativa decisiva para barcos de gran calado que recorren

largas distancias. En la **aviación**, por su parte, el hidrógeno verde puede ser la base de combustibles sintéticos que reduzcan de manera radical las emisiones de este sector. También será esencial para otros medios como el **tren** o el **transporte de mercancías pesadas por carretera**.

➤ El futuro: **COCHES DE HIDRÓGENO.**

Como con los coches eléctricos no basta, los vehículos de hidrógeno resultan fundamentales para “el cumplimiento de los objetivos de neutralidad climática”. Su principal **ventaja** es que no contaminan, al igual que los modelos a pilas, pero ¿los coches de hidrógeno son una alternativa real?

El coche de pila de combustible es en esencia un vehículo eléctrico, pero con la diferencia de que produce su propia electricidad. Para lograrlo, transporta hidrógeno en su depósito y lo hace reaccionar, en unas celdas especiales, con el oxígeno atmosférico. Mediante este proceso se genera la electricidad, que queda almacenada en una batería y se utiliza para hacer funcionar los motores eléctricos del vehículo. Al mismo tiempo, como resultado de esta reacción, se libera agua al exterior en forma de vapor.

A bajas velocidades, a un coche de hidrógeno le basta con la energía de la batería. Cuando la exigencia es mayor, la pila de combustible aporta más potencia y al mismo tiempo va recargando la batería, que a su vez recupera energía en las frenadas.



## **8. VENTAJAS E INCONVENIENTES**

Esta fuente de energía tiene puntos a favor y en contra que debemos conocer. Repasemos algunos de sus **aspectos positivos** más relevantes:

- 100 % sostenible: el hidrógeno verde **no emite gases contaminantes** ni durante la combustión ni durante el proceso de producción.
- Almacenable: el hidrógeno es fácil de almacenar, lo que permite su **utilización posterior** en otros usos y en momentos distintos al de su producción.
- Versátil: el hidrógeno puede **transformarse en electricidad o combustibles sintéticos** y utilizarse con fines domésticos, comerciales, industriales o de movilidad.
- Transportable: esta energía puede mezclarse con el gas natural hasta en un 20 % y viajar por los **mismos canales e infraestructuras del gas** —el incremento de este porcentaje requeriría cambiar distintos elementos de las redes existentes de gas para hacerlas compatibles—.

Pese a todo, el hidrógeno verde también tiene **aspectos negativos (inconvenientes)** que conviene recordar:

- Mayor coste: la energía **procedente de fuentes renovables**, claves para generar hidrógeno verde a través de la electrólisis, es más cara de generar, lo que a su vez encarece la obtención del hidrógeno.
- Mayor gasto energético: la producción del hidrógeno en general y del verde en particular **requiere más energía** que otros combustibles.
- Atención a la seguridad: el hidrógeno es un **elemento muy volátil e inflamable**, por lo que requiere unos requisitos de seguridad elevados para evitar fugas y explosiones.

## **> IMPACTO DEL H<sub>2</sub> VERDE**

El hidrógeno como combustible es una realidad en países como Estados Unidos, Rusia, China, Francia o Alemania. Otros, como Japón, incluso van más allá y aspiran a convertirse en una economía de hidrógeno. A continuación se explica cuál será su impacto a futuro:

### **Generador de electricidad y agua potable**

La obtención de estos dos elementos se consigue haciendo reaccionar hidrógeno y oxígeno en una pila de combustible. Este proceso ha resultado muy útil en misiones espaciales, por ejemplo, al suministrar a las tripulaciones agua y electricidad de forma sostenible.

### **Almacenamiento de energía**

Los tanques de hidrógeno comprimido son capaces de almacenar energía durante largos períodos de tiempo y, además, resultan más sencillos de manejar que las baterías de iones de litio porque son más ligeros.

### **Transporte y movilidad**

La gran versatilidad del hidrógeno permite su uso en aquellos nichos de consumo que son muy difíciles de descarbonizar, como el transporte pesado, la aviación o el transporte marítimo. Hay ya distintos proyectos en este sentido, como Hycarus y Cryoplane —promovidos por la Unión Europea (UE)—, que planean introducirlo en aviones de pasajeros.

