



**HIDRÓGENO, CLAVE PARA UN  
MODELO ENERGÉTICO SOSTENIBLE**

# ÍNDICE

Presentación / 03

Prólogo del presidente  
de la **Fundación  
Redexis** / 04

Recorrido  
**histórico** / 06

Situación actual del  
hidrógeno  
**Producción,  
almacenamiento y  
transporte** / 08

El hidrógeno en el mundo  
El hidrógeno en Europa  
El hidrógeno en España

El papel del hidrógeno renovable:  
**clave en la transición energética** / 30

La integración de hidrógeno renovable  
**en las infraestructuras actuales** / 35

Usos del  
**hidrógeno**  
Oportunidades en movilidad  
Oportunidades para la industria  
Oportunidades para el sector residencial / 38

Redexis:  
**impulsor del hidrógeno  
verde** / 41

**Bibliografía** / 43



# PRESENTACIÓN

La Fundación Redexis nace con la motivación de ser un agente activo fundamental en la transición energética y, fruto de ese empeño, ha elaborado su primera publicación, centrada en el hidrógeno.

La Fundación Redexis ha elaborado esta publicación con el objetivo de dar a conocer la situación actual del hidrógeno, los proyectos relacionados que se están llevando a cabo y los que se desarrollarán en un futuro, la regulación existente en España y la postura que están tomando los diferentes países del mundo.

A través del fomento de la innovación tecnológica, la acción social y asistencial, pasando por los ámbitos educativos y culturales, la Fundación Redexis desarrolla su compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, y es en ese marco de responsabilidad económica, social y medioambiental en el que se presenta esta publicación.

El hidrógeno está llamado a ser el vector energético que jugará un rol relevante, al ser limpio, seguro y asequible para el futuro. Han sido varias las veces que el hidrógeno se ha presentado en los últimos 40 años como una fuente de energía potencial, pero es ahora cuando la potencialidad ha pasado a ser una realidad.

Mediante el uso del hidrógeno como vector energético se pueden llegar a hacer factibles los objetivos de la Comisión Europea de reducción de emisiones y conseguir que Europa sea el primer continente climáticamente neutro para 2050.



## Prólogo del presidente de la **FUNDACIÓN REDEXIS**

### Energía sostenible para impulsar la reactivación económica

Las infraestructuras gasistas están preparadas para trasladar los beneficios de los gases renovables, entre ellos el hidrógeno, al conjunto de la sociedad, desarrollando modelos energéticos limpios que generen oportunidades profesionales.

La situación que hemos vivido en los últimos meses carece de precedentes cercanos. La crisis sanitaria generada por la pandemia de COVID-19, cuyo alcance económico todavía está por definir, ha golpeado al conjunto de la sociedad y ha marcado un antes y un después en nuestro modo de entender numerosos hábitos y rutinas. Continuar con nuestra labor haciendo frente a todas las dificultades añadidas que suponían el confinamiento, el distanciamiento social y la paralización de la economía fue un reto que, como sociedad, tuvimos que afrontar desde el estallido de la crisis sanitaria. En

el caso de Redexis, cuya actividad fue considerada esencial desde que el

Gobierno decretó el estado de alarma, el compromiso de seguir plenamente operativos durante este periodo ha sido ineludible, garantizando en todo momento un suministro de gas natural sin incidencias a todos y cada uno de nuestros

clientes, entre los que se encuentran numerosos hospitales y centros sociosanitarios.

Sin embargo, y a medida que vamos recuperando la normalidad en todos aquellos ámbitos de nuestro día a día que se habían visto alterados, recuperamos también la necesidad de retomar todo el trabajo que ya habíamos invertido en el desarrollo del gas natural y los gases renovables como medios para el desarrollo de una economía social y medioambientalmente sostenible, reto al que ahora se suma la recuperación económica.

“ El hidrógeno renovable es un vector energético con una gran proyección de futuro. Su uso en España es todavía incipiente, pero su potencial es muy relevante ”

El reto de la economía sostenible, cuyo desarrollo conlleva la reducción de emisiones del sector energético, es un compromiso que Redexis impulsa por medio del gas natural; la fuente de energía tradicional más limpia, eficiente y de menor impacto ambiental. Esta energía baja en emisiones, cuyas aplicaciones industriales y vehiculares permiten reducir la emisión de partículas y otros gases contaminantes, apoya la penetración de energías renovables en el sector eléctrico, favorece la competitividad industrial y garantiza la seguridad del suministro, siendo una energía fiable y económica que resulta esencial para desplazar un volumen cada vez mayor de productos derivados del petróleo.

Redexis cuenta con redes de transporte y distribución de gas modernas, eficientes y a la vanguardia tecnológica



del sector, siendo pioneros en el uso de inteligencia artificial en redes y primando criterios como la digitalización, la innovación y la automatización en toda nuestra cadena de suministro. Por todo ello, nuestras redes se encuentran preparadas también para explotar el potencial de los gases renovables, principalmente el hidrógeno y el biometano, que la Compañía impulsa como soluciones energéticas de futuro.

El hidrógeno renovable es un vector energético con una gran proyección de futuro. Su uso en España es todavía incipiente, pero su potencial es muy relevante: puede ser generada a partir de fuentes de generación de energía eléctrica renovables e implica cero emisiones contaminantes en cualquiera de sus usos, siendo además inyectable en las actuales redes de transporte y distribución de gas natural, constituye una oportunidad clara e innovadora para desarrollar una fuente de energía estable y con un impacto ambiental prácticamente nulo.

En el último año, Redexis ha realizado una firme y decidida apuesta para impulsar el desarrollo del hidrógeno en España mediante el compromiso de invertir más de 60 millones de euros en proyectos relacionados con los gases renovables para el horizonte 2025, contando ya con ejemplos como nuestra participación en el proyecto 'Power to Green Hydrogen Mallorca' del Gobierno Balear, que permitirá disponer en 2021 de una planta de producción de hidrógeno verde. Asimismo, Redexis tiene actualmente en marcha un proyecto de integración de una pila de combustible de hidrógeno para la generación de electricidad y calor en una Estación de Regulación y Medida (ERM); un proyecto pionero en España en cuanto a la implantación de una tecnología que puede resultar clave para el desarrollo de consumos energéticos libres de emisiones de carbono. Redexis participa igualmente en el proyecto HIGGS, liderado por la Fundación del Hidrógeno de Aragón. Este proyecto tiene como objetivo medir el impacto en la infraestructura del gas, sus componentes y su gestión, de diferentes porcentajes de hidrógeno.

El biometano, por su parte, es un exponente perfecto del desarrollo de una economía circular en el ámbito de la energía. Generado a partir de la reutilización de residuos procedentes de la ganadería, la industria agroalimentaria y la actividad humana, se genera un biogás que es refinado mediante un proceso de upgrading por el que obtenemos el biometano, un combustible que es similar al gas natural en todas sus propiedades y ventajas. Redexis se encuentra en una constante búsqueda de nuevas oportunidades para explotar la capacidad de reutilización de residuos para la generación de energía, en línea con la reciente aprobación de la Estrategia Española de Economía Circular (EEEC), a la que podemos contribuir en buena medida desde el sector gasista por medio de los gases renovables.

“ Redexis ha realizado una firme apuesta para impulsar el desarrollo del hidrógeno en España mediante el compromiso de cuantiosas inversiones ”

Nuestras infraestructuras gasistas, a las que hay que añadir todos los esfuerzos que estamos invirtiendo en la construcción de nuevas estaciones de repostaje de Gas Natural Vehicular (GNV) como alternativa de movilidad sostenible y baja en emisiones a lo largo de estos años, están preparadas para trasladar los beneficios de los gases renovables al conjunto de la sociedad, desarrollando nuevos modelos energéticos sostenibles que generen también nuevas oportunidades profesionales y redunden en una mejora de la calidad de vida para todos.

**Fernando Bergasa**

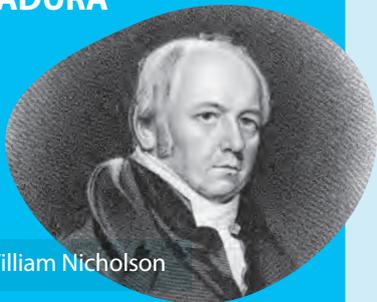
PRESIDENTE FUNDACIÓN REDEXIS



## Recorrido HISTÓRICO

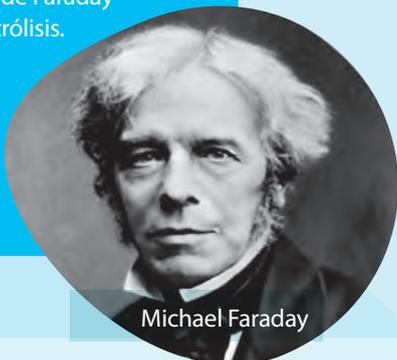
“ La producción del hidrógeno mediante reacciones químicas sencillas y conocidas se realiza desde hace 200 años ”

### TECNOLOGÍA MADURA



William Nicholson

- La electrólisis es un proceso conocido desde hace más de 200 años.
- En 1800, el químico William Nicholson llevó a cabo la electrólisis de agua logrando la separación del hidrógeno y oxígeno por aplicación de una corriente eléctrica.
- En 1834, Michael Faraday publicó sus resultados sobre las investigaciones de la electrólisis, resultando en la primera y segunda Ley de Faraday sobre la electrólisis.



Michael Faraday

## 1787

• El nombre de “hidrógeno” fue formulado en **1787** por el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier, que ya entonces relacionó este elemento con el agua al utilizar la palabra griega hydor (agua). Anteriormente había sido llamado “aire inflamable” por el químico inglés Henry Cavendish y, actualmente, su nombre en alemán Wasserstoff (sustancia de agua) deja entrever sus propiedades.

• El hidrógeno y la energía tienen una larga historia conjunta. Las primeras demostraciones de electrólisis y pilas de combustible comenzaron a ocupar el imaginario de los ingenieros en el siglo **XIX**.

### 60's

• El hidrógeno se utilizaba para llenar globos y aeronaves y, en los **60**, comenzaron a realizarse demostraciones para utilizarlo como combustible de cohetes espaciales, llevando al hombre a la luna en **1969**. En estos años, se realizó el primer vehículo de pasajeros con una pila de combustible.

### 70's

• Durante los años **70**, debido al gran coste de las pilas de combustible, comenzó a desarrollarse el concepto de una economía del hidrógeno ligada a la energía solar. Posteriormente, en la década de los **90**, las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible fueron evolucionando, realizándose grandes progresos técnicos en este sentido, sobre todo destinados al sector de la movilidad.

### 90's

“ Reemplazar la energía que se utiliza en las industrias por hidrógeno de origen renovable es a día de hoy uno de los principales retos a nivel global ”

## S.XXI

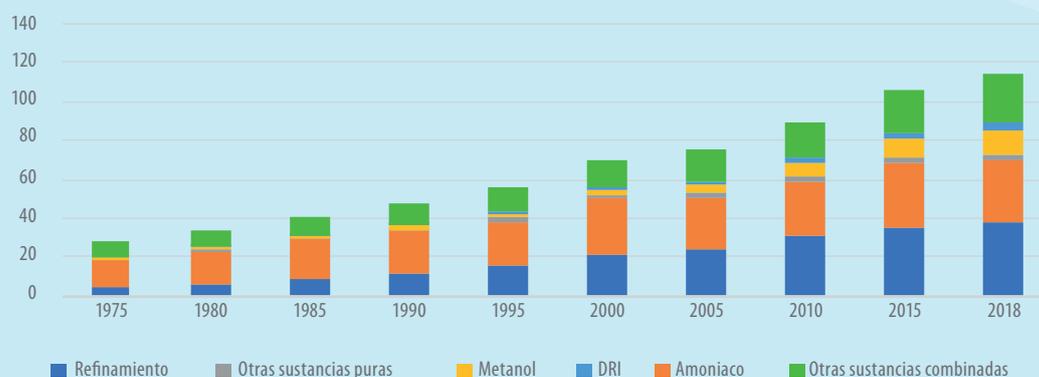
- Con la llegada del siglo **XXI**, cuestiones como la sostenibilidad y la creciente importancia y desarrollo de energías renovables hicieron que la idea de una economía basada en el hidrógeno se tuviese en cuenta de nuevo.

## Actualidad

- Hoy en día, el concepto de hidrógeno va ligado al de transición energética tanto a nivel nacional como global, pues está llamado a liderar esta transición y a convertirse en uno de los vectores energéticos del futuro. Considerado la forma más limpia de almacenar energía y debido a la facilidad de su transporte, el hidrógeno obtenido por medio de la electrólisis va a tener un papel principal en el futuro.

- La demanda de hidrógeno se ha multiplicado por tres desde **1975** y sigue aumentando, siendo de alrededor de **70 millones de toneladas al año**. Actualmente, el interés creciente de la producción de hidrógeno a partir de energías renovables se sustenta en:
  - El uso del hidrógeno no produce emisiones contaminantes ni gases de efecto invernadero.
  - Se puede producir a partir de fuentes de energía renovables.
  - Se puede almacenar electricidad en forma de hidrógeno.

**Demanda** global anual de hidrógeno desde 1975:



1 Cantidades en millones de toneladas de hidrógeno

2 DRI: Hierro de reducción directa

3 Refinería, amoníaco y "otras sustancias puras" representan la demanda para casos específicos en los que se necesita hidrógeno combinado con pequeñas cantidades de otras sustancias. Metanol, DRI y "otras sustancias combinadas" representan la demanda para las soluciones que mezclan el hidrógeno con otros gases, como para combustibles.

4 Fuente: Agencia Internacional de la Energía "The future of Hydrogen"

# Situación actual del hidrógeno

## PRODUCCIÓN, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Más de 100 elementos son conocidos en química y, de ellos, más de 90 se producen de manera natural. El hidrógeno es el más pequeño y el más ligero de todos los elementos químicos. Es el primero de la tabla periódica y también el más simple. Está formado por una carga positiva (protón) y por un electrón negativo. Es el elemento con menor peso atómico (1.008 g/mol): 12 veces más ligero que el carbón, 14 veces más ligero que el nitrógeno y 16 veces más ligero que el oxígeno.

Dos átomos de hidrógeno se unen para formar una molécula de hidrógeno ( $H_2$ ), que es estable y químicamente inerte a temperatura ambiente. Se necesitarían temperaturas superiores a 6.000°C para

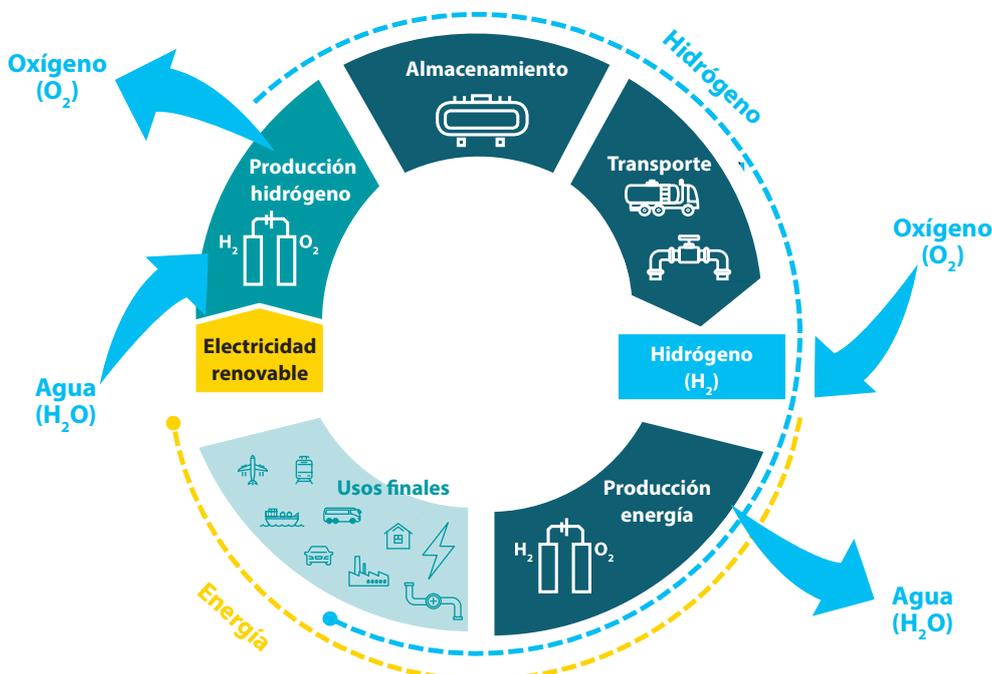
que la molécula de hidrógeno se separe en átomos de hidrógeno.

El hidrógeno es uno de los elementos más abundantes en la Tierra y es posible generar una gran capacidad de energía a partir de su combustión. A pesar de ello, es difícil encontrarlo en su forma pura y suele aparecer combinado con otros elementos como el oxígeno en forma de agua ( $H_2O$ ), por lo que es necesario extraerlo. Además de esto, es posible encontrarlo también junto con fuentes de energía fósil como el gas natural.

El hidrógeno tiene un alto poder calorífico (39,41 kWh/kg) y una de sus principales ventajas para su aplicación en usos energéticos es su alta densidad energética por

unidad de masa, representada por un PCS (Poder Calorífico Superior) de 39,41 kWh por kilogramo de hidrógeno. Pese a este alto contenido energético, el hidrógeno en fase gaseosa presenta el inconveniente de su baja densidad, que hace que se requieran 11,12 metros cúbicos de espacio para almacenar en fase gaseosa un kilogramo de hidrógeno en condiciones de 1 bar de presión y 15°C de temperatura. De esta manera la energía contenida en 1 kg de hidrógeno permite desplazar una cantidad de energía equivalente de entre 2,54 y 3,14 kilogramos de gas natural (dependiendo de la composición del gas natural), si bien a una presión de 1 bar y 15°C de temperatura el volumen ocupado por 1 kg de hidrógeno es 8,2 superior al de 1 kg de gas natural.

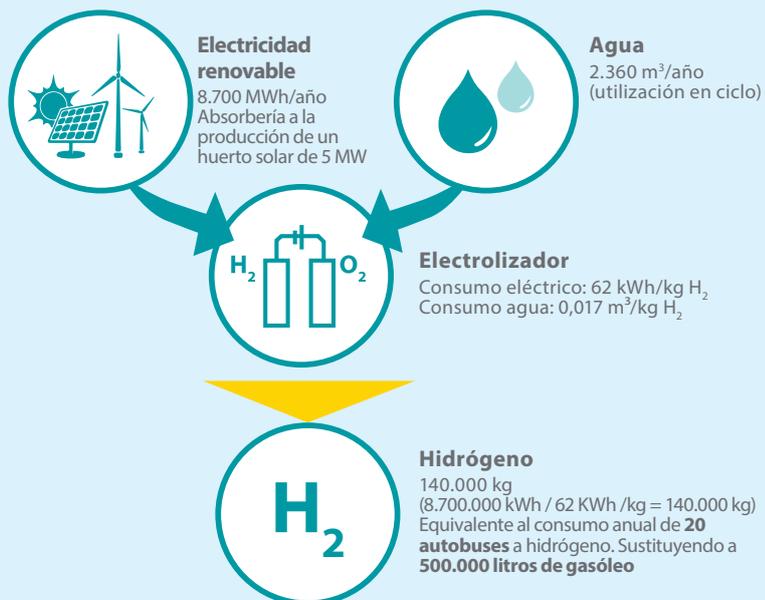
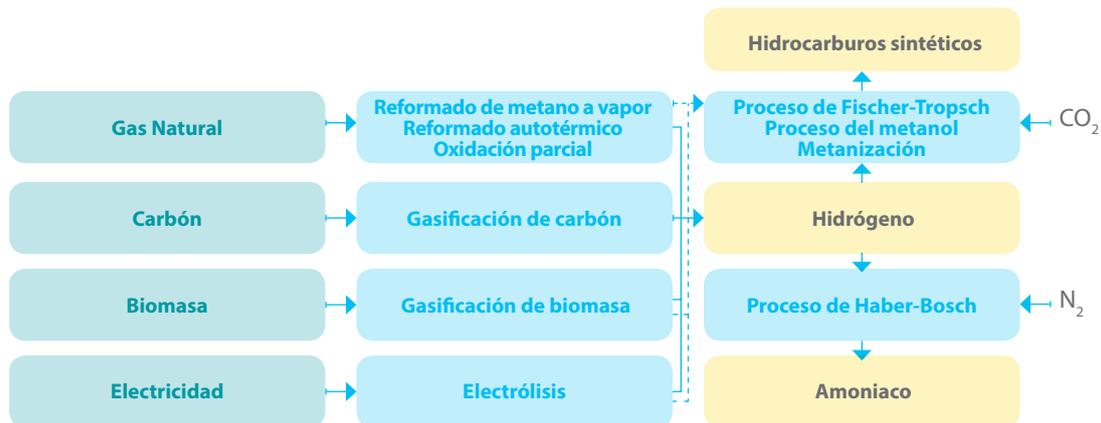
Hidrógeno renovable como **como vector energético descarbonizado**



## PRODUCCIÓN

El hidrógeno se puede extraer de combustibles fósiles y biomasa, o del agua, o de una mezcla de ambos.

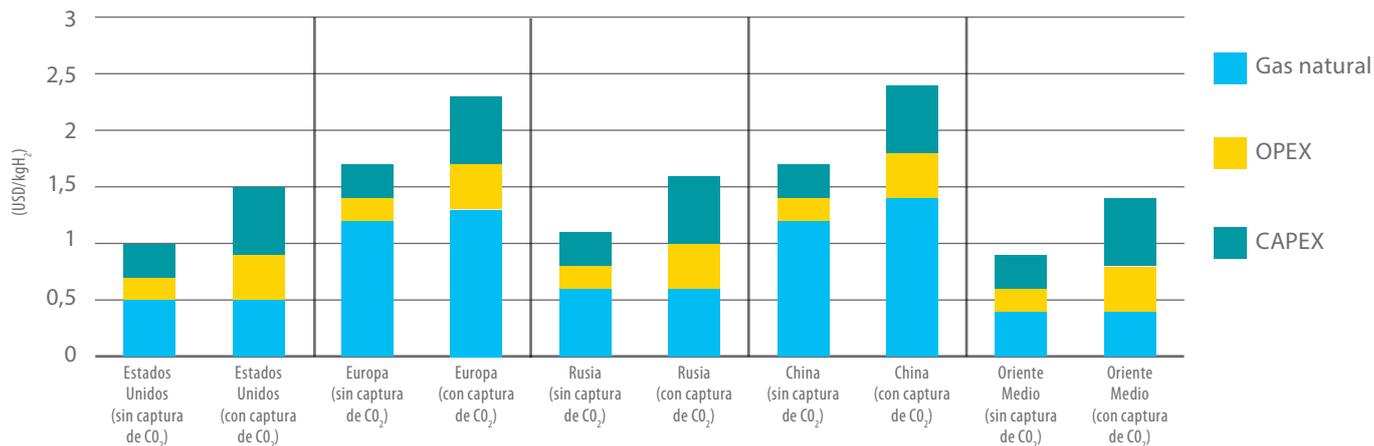
Vías potenciales de **producción de hidrógeno y de productos basados en hidrógeno:**



La producción de hidrógeno a partir de electrólisis del agua ha sido históricamente muy escasa, fundamentalmente por el elevado coste de capital de los electrolizadores y el coste asociado del suministro eléctrico. Sin embargo, el descenso del coste de generación de la electricidad y el aumento de excedente de generación renovable derivados del aumento de la capacidad de producción solar y eólica, plantean un nuevo escenario, en el que la producción de hidrógeno verde en plantas de mayor tamaño facilita una reducción significativa del coste del hidrógeno.

## Costes de la producción de hidrógeno

utilizando gas natural en diferentes regiones (2018)



### Notas

kgH<sub>2</sub> = kilogramos de hidrógeno

OPEX: gastos operativos

CAPEX en 2018: SMR sin captura de CO<sub>2</sub>=500-900\$/kWh<sub>2</sub>, SMR con captura de CO<sub>2</sub>=900-1600 \$/kWh<sub>2</sub>, con variaciones en función de cada región. Precio del Gas=3-11\$/MBtu, variando en función de la región.

Más información en [www.iea.org/hydrogen2019](http://www.iea.org/hydrogen2019)

Fuente: IEA 2019

Según su método de producción se distinguen **tres tipos de hidrógeno:**

### HIDRÓGENO MARRÓN:

a partir del reformado de vapor de gas natural sin captura de CO<sub>2</sub>.

### HIDRÓGENO AZUL:

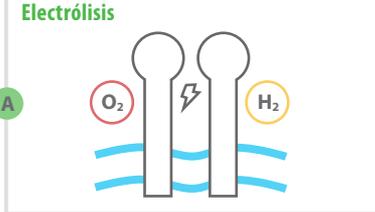
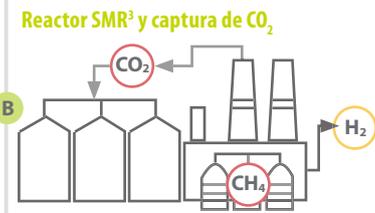
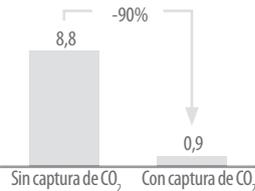
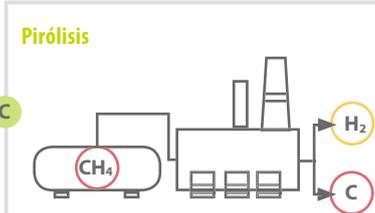
a partir del reformado de vapor de gas natural capturando el CO<sub>2</sub>.

### HIDRÓGENO VERDE:

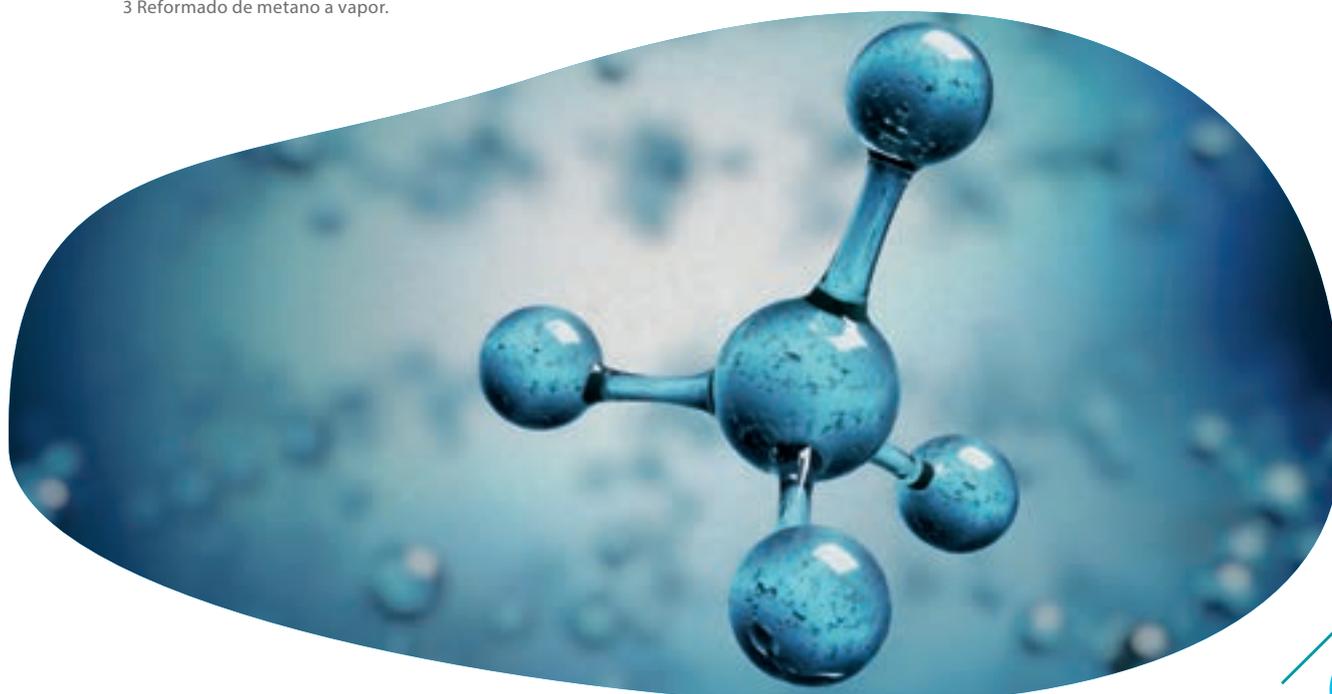
por electrólisis del agua a partir de electricidad procedente de fuentes renovables.

“ Extrayendo el hidrógeno del agua por medio del proceso de electrólisis a través de fuentes renovables se obtendría un hidrógeno verde 100% renovable, con cero emisiones ”

**Tecnologías** y procesos de producción de hidrógeno:

	Técnica	Proceso	Emisiones (kgCO <sub>2</sub> /kgH <sub>2</sub> )
<b>Energías renovables</b> (sin emisiones) 	<b>A</b> <b>Electrólisis</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Separación</b> del agua en hidrógeno y oxígeno a través de circulación de electricidad.</li> <li>• Hay diferentes técnicas: <b>alcalina, PEM<sup>1</sup>, SOEC<sup>2</sup></b>.</li> </ul>	 <p>Cero CO<sub>2</sub></p>
	<b>B</b> <b>Reactor SMR<sup>3</sup> y captura de CO<sub>2</sub></b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Separación</b> del gas natural en hidrógeno y dióxido de carbono (capturando y almacenando el CO<sub>2</sub>).</li> <li>• Este proceso sin capturar el CO<sub>2</sub> es el más utilizado.</li> </ul>	 <p>8,8 -90% 0,9</p> <p>Sin captura de CO<sub>2</sub> Con captura de CO<sub>2</sub></p>
	<b>C</b> <b>Pirólisis</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Separación</b> a altas temperaturas del gas natural en hidrógeno y carbono sólido.</li> <li>• Esta técnica aún está en desarrollo para alcanzar una gran economía del hidrógeno.</li> </ul>	 <p>Cero CO<sub>2</sub></p>

1 Membrana de intercambio de protones.  
 2 Electrolizador de óxido en estado sólido.  
 3 Reformado de metano a vapor.



## ALMACENAMIENTO

Una de las mayores ventajas del hidrógeno es que, a diferencia de la electricidad, puede ser almacenado por largos periodos de tiempo, una de las razones por las que está llamado a representar un rol principal en la transición energética.

Los métodos de almacenaje más comunes, que han sido probados por largos periodos de tiempo, son en forma física basados en la compresión y el enfriamiento.

“ El hidrógeno puede ser almacenado por largos periodos de tiempo ”

### Métodos físicos de almacenamiento:

- Estos son los más habitualmente utilizados y con una tecnología más desarrollada.

Hidrógeno comprimido en estado gaseoso (350, 700 bar)

Hidrógeno en estado líquido  $LH_2$

Cilindros presurizados

Hidrógeno licuado

Almacenamiento geológico

### Métodos materiales de almacenamiento:

- Estos métodos de almacenamiento, que pueden darse en estado sólido o líquido, continúan todavía en desarrollo, debido a los costes y tiempos invertidos durante los diferentes procesos.

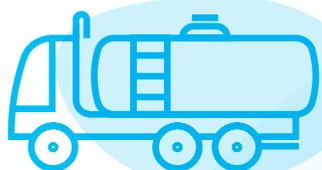
Hidruros

Materiales absorbentes



## TRANSPORTE

Hoy en día, el hidrógeno se transporta en forma gaseosa a través de redes de transporte o en forma tanto líquida como gaseosa por medio de camiones.



- Las **redes** a través de las cuales se puede transportar el hidrógeno son la mejor opción para largas distancias y a gran escala. En este caso, existe la posibilidad de construir hidroductos, con la consecuente alta inversión inicial. En el mundo existen ya más de 4.500 kilómetros de hidroductos, siendo Estados Unidos el país que encabeza la lista, seguido de Bélgica y Alemania. La segunda opción son los gasoductos, transportando el hidrógeno mezclado con gas natural, algo que ya se está haciendo. La gran ventaja de este proceso es que la mayor parte de la infraestructura ya está disponible y solo serían necesarias pequeñas inversiones para transportar hidrógeno por las redes.

- **Camiones:** el hidrógeno puede transportarse en contenedores de gas comprimido por medio de vehículos pesados como camiones. El volumen de los contenedores disponibles es pequeño y cada camión puede transportar una cantidad aproximada de 500 kilogramos de hidrógeno, por lo que este sistema es más apropiado para mover pequeñas cantidades de hidrógeno. También es posible transportarlo en forma líquida consiguiendo mayores volúmenes de hidrógeno, siendo esta opción más efectiva para grandes volúmenes y distancias.

### Elementos de transporte, distribución y almacenamiento de cadenas de valor del hidrógeno:



- Hidrógeno en forma de gas
- Hidrógeno en estado líquido
- Amoniaco
- LOHC (liquid organic hydrogen carriers o portadores de hidrógeno orgánico líquido)

Fuente: IEA 2019

# El hidrógeno en el mundo

En el **Acuerdo de París** de **2015**, **195** países **acordaron** aumentar sus esfuerzos para **reducir sus emisiones** a **cero** en todos los sectores en el transcurso de este siglo.

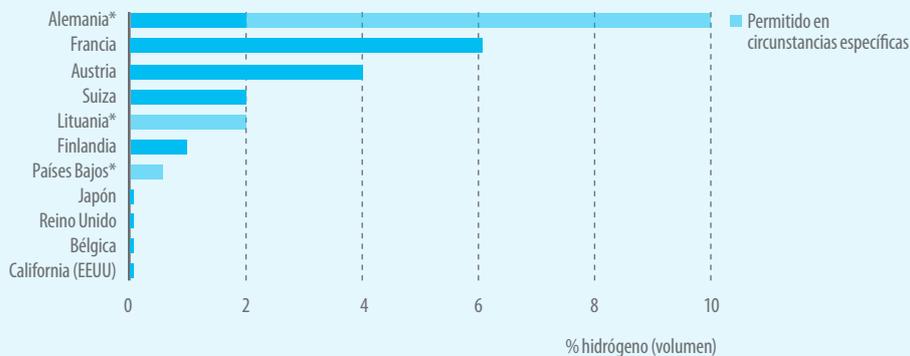
A mediados de **2019**, el total de mandatarios políticos que **incentivaban** este vector era de alrededor de **50**.

En **2018**, en el **Intergovernmental Panel on Climate Change**, se acordó que las emisiones tenían que llegar a **cero** para **2050**.

Dentro del **G20** y de la **Unión Europea**, **11** países contaban con **políticas a favor** del hidrógeno y **9** tenían **mapas viales** para su transporte.



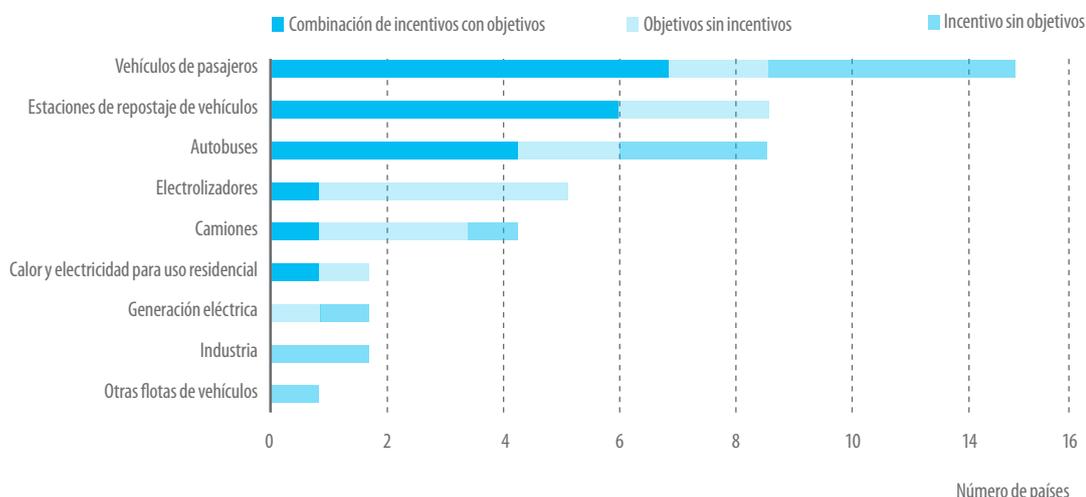
## Límites actuales de hidrógeno inyectado en las redes de gas natural



\* En Alemania se permiten mayores límites si no existen estaciones de repostaje de GNC cerca, en Países Bajos se permiten mayores niveles en función de altos niveles caloríficos de gas, en Lituania se permiten mayores niveles cuando la presión de la red es mayor a 16 bares.  
Fuente: Dolci et al (2019)

“ El número de países con políticas que apoyan directamente las inversiones en hidrógeno está aumentando ”

**Políticas** que apoyan directamente el despliegue de hidrógeno en función de su aplicación final:



**Notas:**

Basado en datos disponibles en mayo del 2019

Fuente: Análisis de IEA y encuestas de los gobiernos colaboradores con IEA Hydrogen Technology

Collaboration Programme, IPHE (2019)

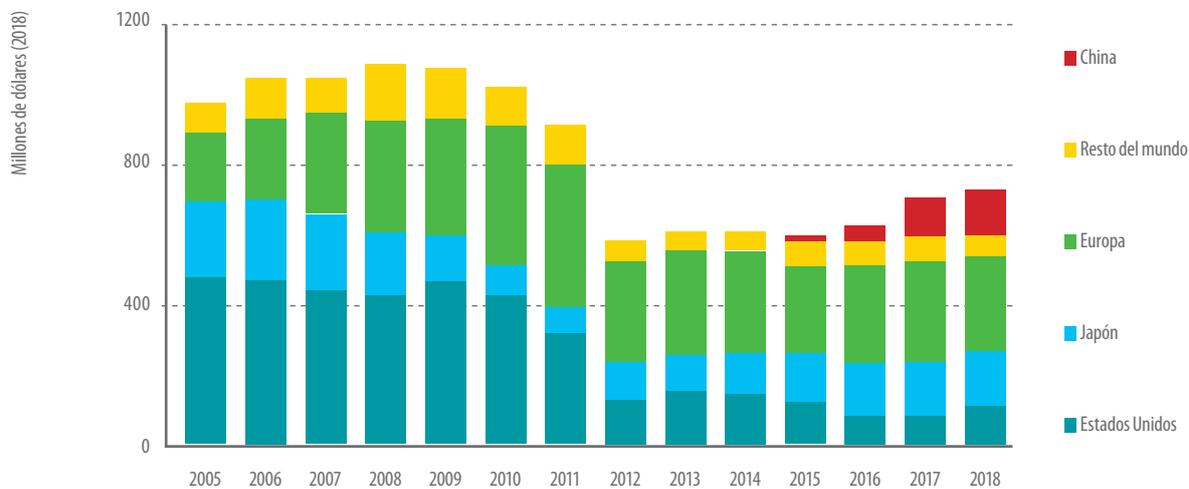
“ La cooperación internacional es vital para acelerar el crecimiento de un hidrógeno versátil y limpio en todo el mundo ”

El número de países que están fijando metas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero está aumentando y, con él, el número de sectores que empiezan a considerar el uso del hidrógeno verde. En 2017 se formó el Hydrogen Council para aunar a los principales actores del sector privado.

**'Hydrogen Council'** es una iniciativa global formada por **81 empresas energéticas, de transporte e industria** para desarrollar una economía del hidrógeno a largo plazo.

El objetivo es que para el año **2050**, el **18%** de la demanda mundial de energía sea abastecida por **hidrógeno**.

**Presupuesto** de los gobiernos en i+D destinado a hidrógeno y pilas de combustible:



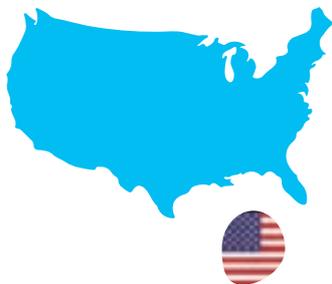
**Notas:**

El gasto de los gobiernos incluye los fondos de la Comisión Europea, pero no incluye los fondos subnacionales, que pueden ser significativos en ciertos países

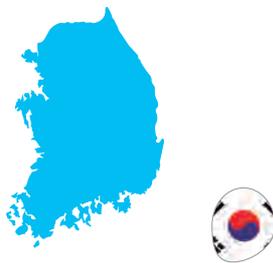
Fuente: IEA (2018)



El **líder mundial** en **producción** de hidrógeno es **Japón**, que está impulsando este vector energético y lo ve como protagonista en un futuro. Para el año **2030**, tiene como objetivo contar con **5,3 millones** de instalaciones con pilas de combustible y una producción de **300.000 Tm.**



En **California, Estados Unidos**, se asumió el compromiso de invertir **20 millones** de dólares al año entre **2014** y los siguientes siete años para la creación de estaciones de repostaje para vehículos de hidrógeno. El objetivo es contar con **94** para **2023**, **200** para **2025** y **1.000** para **2030**. Recientemente, se ha construido en California **la mayor planta de producción de hidrógeno verde del mundo**, que gasificará residuos de papel reciclado para producir hidrógeno verde de forma económica.



**Corea del Sur** está impulsando las energías renovables y planea contar para el año **2022** con **310 estaciones** de carga para vehículos de hidrógeno, cifra que aumentará hasta **1.200** para **2040**. Para ese año, su objetivo es disponer de más de **6 millones** de **vehículos ligeros** impulsados por hidrógeno, **60.000 autobuses** y **1.200 vehículos pesados**.



A su vez, **China** está realizando grandes esfuerzos en la **investigación** de pilas de combustible y tecnologías del hidrógeno, con el objetivo de contar en **2030** con **1 millón** de vehículos eléctricos de pila de combustible (que utilizan hidrógeno) y con **1.000** estaciones de repostaje.

# El hidrógeno en Europa

La Comisión Europea, siguiendo la línea de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 50% para 2030 y con el objetivo de ser el primer continente climáticamente neutro para 2050, considera esencial el desarrollo del hidrógeno dentro de la transición energética. Con este Pacto Verde o 'Green Deal', se pretende transformar la economía de la Unión Europea en un modelo sostenible y llevando a cabo una transición justa hacia una economía circular, con un uso eficiente de los recursos, reduciendo las emisiones y protegiendo la biodiversidad.

El 'Hydrogen Europe', que aún a un total de 160 empresas, 78 or-

ganizaciones de investigación y 21 asociaciones de diferentes países, se ha unido a 'Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking' (FCH JU), una iniciativa público-privada para apoyar la investigación, desarrollo y proyectos de pilas de combustible y tecnologías ligadas al uso del hidrógeno en Europa, demostrando su potencial y su capacidad para conseguir un sistema energético limpio.

Asimismo, 'Hydrogen Europe' ha impulsado la iniciativa '2x40 GW Green Hydrogen', con el objetivo de aumentar la producción de electrolizadores dentro de la Unión Europea para apoyar la producción de hidrógeno. Se

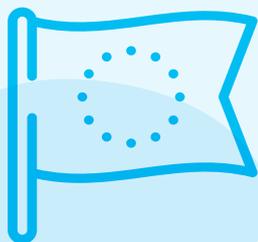
destinarán 20 billones de euros en los próximos 5-10 años y se asignarán la mitad de los materiales y plantas a los países de la Unión Europea, y la otra mitad a Ucrania y el Norte de África, ambas localizaciones muy adecuadas para la obtención de energías renovables. La energía producida se importaría después a Europa.

“Con el 'Green Deal' se pretende transformar el modelo económico de la Unión Europea”



# Hydrogen Strategy

#EUGreenDeal



## Nueva **hoja de ruta de la Unión Europea**

“La Comisión Europea ha elaborado, en el marco del Pacto Verde Europeo, una Comunicación con su Estrategia sobre el hidrógeno para una Europa climáticamente neutra en 2050. La estrategia de la UE

sobre el hidrógeno aborda cómo hacer realidad el potencial de descarbonización del hidrógeno a través de las inversiones, la reglamentación, la creación de mercados y la investigación y la innovación.



Así, la Comisión traslada en su estrategia los siguientes **mensajes**:

- El hidrógeno está despertando una gran atención al **poder ser usado como materia prima, almacenamiento y como vector energético**, y todo ello sin emitir CO<sub>2</sub> ni afectar a la calidad del aire.
- La rápida reducción de costes de la energía renovable, los desarrollos tecnológicos y la urgencia de reducir drásticamente los gases de efecto invernadero están abriendo nuevas posibilidades en el desarrollo del **hidrógeno verde**.
- El hidrógeno puede apoyar la descarbonización de la industria, el transporte, la generación de electricidad y los edificios en Europa.
- El hidrógeno **puede proporcionar almacenamiento** para equilibrar las variaciones de los flujos de las energías renovables.
- La prioridad consiste en **desarrollar el hidrógeno renovable**, producido utilizando principalmente energía eólica y solar. Sin embargo, a corto y medio plazo se necesitan otras formas de hidrógeno bajo en carbono para reducir rápidamente las emisiones y apoyar el desarrollo de un mercado viable.
- Una incorporación progresiva de soluciones de hidrógeno puede conducir a la **reutilización de las infraestructuras gasistas** existentes.
- Resulta clave que se produzca un despliegue rápido y a gran escala del hidrógeno verde para que la Unión consiga sus objetivos, ya que puede reducir los gases de efecto invernadero entre un 50% y un 55% siendo económicamente sostenible.
- Una **cadena de valor del hidrógeno** puede dar trabajo hasta a **un millón de personas en empleo directo e indirecto**.
- Los analistas estiman que el **hidrógeno verde puede cubrir el 24% de la demanda de energía mundial** para el año 2050.



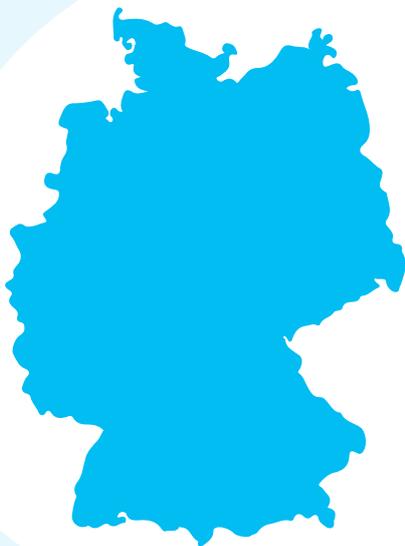
Todo este proceso tendrá que llevarse a cabo mediante una transición gradual enfocada por **fases**:

- **De 2020 a 2024**, la Unión apoyará la instalación de al menos seis gigavatios de electrolizadores de hidrógeno renovable en la Unión Europea y la producción de hasta un millón de toneladas de hidrógeno renovable.
- **De 2025 a 2030**, es preciso que el hidrógeno se convierta en una parte intrínseca del sistema energético integrado de la Unión, con al menos cuarenta gigavatios de electrolizadores de hidrógeno renovable y la producción de hasta diez millones de toneladas de hidrógeno renovable en la Unión.
- **De 2030 a 2050**, se espera que las tecnologías del hidrógeno renovable alcancen la madurez y se desplieguen a gran escala en todos los sectores de difícil descarbonización.



Para todo ello la Comisión propone, entre otras, las siguientes **medidas**:

- Es necesaria una **acción coordinada entre los sectores público y privado de la UE**, y por ello la Comisión ha puesto en marcha una Alianza europea por un hidrógeno limpio con líderes de la industria, la sociedad civil, ministros nacionales y regionales y el Banco Europeo de Inversiones. La Alianza creará una cartera de proyectos de inversión para expandir la producción y apoyará la demanda de hidrógeno limpio en la UE.
- Se propondrán **medidas para impulsar el uso del hidrógeno en el transporte** en la futura Estrategia de Movilidad Sostenible.
- Se explorarán **nuevas medidas de apoyo adicionales**, incluidas políticas orientadas a la demanda y a los sectores de uso final al amparo de la Directiva de Energías Renovables.
- **Se promoverán instalaciones de producción de hidrógeno que tengan en cuenta su rendimiento total de ciclo de vida** en términos de reducción de emisiones de GEI.
- Se desarrollarán **proyectos pilotos para promover Contratos de Carbono por Diferencia (CCfD)** (por sus siglas en inglés) que incentivarán la producción de hidrógeno verde frente a la producción ordinaria cubriendo la diferencia de coste.
- Comenzar una **planificación de infraestructuras de hidrógeno**, incluidas redes Trans-Europeas, y teniendo en cuenta también la necesidad de desarrollar una red de estaciones de repostaje de hidrógeno.
- **Eliminar las barreras que puedan obstaculizar el desarrollo de una infraestructura del hidrógeno**, incluyendo el aprovechamiento de la red de gas existente.
- Asegurar el **acceso a un mercado líquido de hidrógeno** por parte de productores y clientes.
- **Promover nuevos desarrollos tecnológicos en I+D**, incluyendo un Marco Colaborativo del Hidrógeno Limpio centrado en que las mejores y más modernas tecnologías puedan estar preparadas para su uso, tanto en lo que se refiere a la producción de hidrógeno renovable, transporte y distribución, como en los componentes clave para usos finales.
- Todo ello habrá de soportarse también en las correspondientes colaboraciones internacionales que amplíen el horizonte de desarrollo.



## ALEMANIA



Alemania, líder europeo en producción y uso del hidrógeno, apuesta de manera decidida por este vector para transformar su matriz energética y contribuir a los objetivos de descarbonización del territorio, contando con una estrategia nacional que aboga por convertirse en el principal país del mundo en usos y tecnologías del hidrógeno y que prevé una inversión de 300 millones de euros hasta 2023 para apoyar la investigación y el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde.

Para el año 2025 planea contar con más de 400 estaciones de repostaje para vehículos de hidrógeno a lo largo del país y con más de 500.000 vehículos que utilicen esta forma de carburante. Además, pretende disponer para ese año de más de 500.000 instalaciones de cogeneración de pilas de combustible que produzcan, como mínimo, 1.000 MW.

Los objetivos de producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables en el país germano para 2025 son de 1.500 MW.

## BÉLGICA



Bélgica le da una gran importancia a la generación de energía renovable, sobre todo a través de aerogeneradores, pero la cantidad de energía generada muchas veces se pierde al no existir demanda suficiente. Para hacer frente a esto, quiere desarrollar

una economía del hidrógeno en el país que permita almacenar los excedentes y para reducir las emisiones.

Para 2025, contará en el área portuaria de Ostende con una planta de producción de hidrógeno verde.



## FRANCIA



Francia, a su vez, apuesta por el hidrógeno y confía en este vector como solución de almacenamiento para su producción renovable.

Planea contar para 2028 con 400 estaciones de repostaje y con 200.000 vehículos movidos con hidrógeno, además de una cogeneración con pilas de combustible de entre 800 y 1.000 MW.

Además, un consorcio europeo con financiación de la Comisión Europea está llevando a cabo un proyecto por el que se construirá una instalación de hidrógeno en Francia. Con este proyecto, se conseguirá obtener hidrógeno por medio de electrólisis y almacenarlo para utilizarlo después junto con el gas natural. Con esto, se conseguirían reducir 65.000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el proyecto Hylaw para el desarrollo de tecnologías del hidrógeno se analizaron las distintas barreras legales y su rigidez en los 23 países que forman parte del mismo. El mapa muestra las barreras concretas en el marco de asignación de costes, pagos e incentivos que cubre las instalaciones de inyección y distribución de hidrógeno



**Nota:** 'Proyecto HyLaw': promovido por la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón, destinado a impulsar la absorción del mercado de las tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible, proporcionando una visión clara de las regulaciones y normativas aplicables, a la vez que pretende promover la eliminación de las barreras legales existentes.

Actualmente, se está desarrollando una estrategia europea del hidrógeno, con el objetivo de convertir este vector en una fuente de energía indispensable para ciertos sectores como la movilidad. La Comisión Europea considera que el hidrógeno renovable jugará un papel protagonista en el futuro energético de Europa y, a través de su uso, se conseguirán reducir las emisiones de los combustibles fósiles, posicionándose como una alternativa segura y limpia. A través de esta estrategia, no solo se desarrollarán nuevas tecnologías del hidrógeno, sino que se pretende que se formulen políticas de comercio y competitividad comunes a todo el continente.

# El hidrógeno en España



**E**spaña presenta alguna barrera regulatoria adicional a las de otros países europeos para el desarrollo del hidrógeno, por ejemplo, no está desarrollada aún la regulación que posibilite inyectar hidrógeno en la red de gas natural. Sin embargo, en línea con los objetivos de descarbonización de la Unión Europea para 2050 y de la importancia que está adquiriendo el hidrógeno como vector energético limpio, se está elaborando una hoja de ruta para el hidrógeno verde.

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021–2030, en el seno del Marco Estratégico de Energía y Clima, señala los gases renovables como esenciales a la hora de generar electricidad y de cubrir la demanda energética de ciertas

industrias. En este sentido, se considera indispensable el desarrollo de una hoja de ruta para el hidrógeno verde, donde se compararía y se mejoraría la competitividad española respecto de la europea y mundial, con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática.

Nuestro país se fija un objetivo para el año 2030, fecha en la cual pretende contar con 400 estaciones de servicio y repostaje de hidrógeno y con un mínimo de 200.000 vehículos que precisen de este vector energético.

Además, la cogeneración con pilas de combustible será de 1.000 MW y la producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables de 300.000 Tm y de más de 1.500 MW.

“ Es necesario dar un impulso regulatorio al tratamiento del hidrógeno en España, para extraer su potencial en la transición energética ”



## PRINCIPALES BARRERAS ACTUALES PARA EL DESPLIEGUE DEL HIDRÓGENO RENOVABLE EN ESPAÑA



### De carácter regulatorio

- Al no existir unos objetivos vinculantes de contenido de hidrógeno en la comercialización de gas natural ni unos incentivos regulados asociados a estos objetivos, el hidrógeno verde no recibe un valor económico y el hidrógeno producido e inyectado a la red en los proyectos piloto actuales pierde su valor, quedando en una mera experiencia tecnológica sin una viabilidad económica implícita en el propio proyecto.

Adicionalmente, no existe un sistema que certifique el origen renovable del hidrógeno verde y que permita su compraventa nacional e internacional contribuyendo a la viabilidad de los proyectos piloto.

- Al no existir suficiente liquidez en la compraventa, no han surgido iniciativas liberalizadas e individuales que permitan hacer despegar el sector del hidrógeno a nivel nacional. Tampoco es un mercado suficientemente maduro como para establecer un régimen de acceso de terceros a la red específico para el transporte, distribución y comercialización de hidrógeno.

- El sector del gas natural no contempla en su marco regulatorio y económico el transporte, distribución y comercialización de hidrógeno puro a pesar de que el hidrógeno es la evolución lógica del gas natural, al igual que en su día el gas natural fue la evolución de los gases manufacturados.

“No existe un sistema que certifique el origen renovable del hidrógeno verde”



### De carácter económico

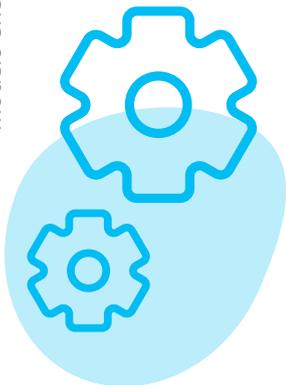
- La actividad de producción de hidrógeno a partir de fuentes de energía eléctrica mayoritariamente renovable no dispone de una regulación específica que le atribuya un marco económico para viabilizar sus inversiones.

La actividad de producción es, dentro de las que componen

el ciclo de vida del hidrógeno, la que menos competitiva resulta a precios de mercado dado que, además de tener que soportar el precio de la electricidad, es la única que requiere inversiones de escala desde cero para desarrollar los proyectos asociados de generación de hidrógeno renovable.

- El mercado voluntario de emisiones de CO<sub>2</sub> para los sectores difusos no presenta suficiente liquidez.

“La actividad de producción es la que menos competitiva resulta a precios de mercado”



### De carácter técnico

- No existe una estandarización en los equipos de consumo final de gas natural que establezca la obligatoriedad de admisión de determinadas proporciones de hidrógeno, o incluso que obligue a que los equipos estén preparados para una futura adaptación interna que les permita pasar de consumir gas natural a consumir hidrógeno puro. Por ejemplo, actualmente,

cuando se transforma un equipo de consumo de GLP para pasar a consumir gas natural, el equipo sigue siendo válido y sólo es necesaria una pequeña adaptación del equipo.

En sentido similar, no existe una documentación estandarizada, concreta y soportada por la Administración (lo cual es necesario para que las conclusiones de las mismas tengan efectos suficientes) acerca de

las modificaciones necesarias a realizar en la adaptación de las infraestructuras gasistas (gasoductos, plantas de regasificación, almacenamientos, gasoductos, estaciones de regulación y medida, estaciones de compresión, etc.) para vehicular proporciones crecientes de hidrógeno o, incluso, hidrógeno puro. Esto es extensible también a las instalaciones receptoras de los usuarios.

“No existe documentación estandarizada acerca de las modificaciones necesarias a realizar en la adaptación de infraestructuras gasistas”





Entre las **PROPUESTAS** presentadas por el sector ante el Ministerio se encuentran:

#### **Promoción del blending de hidrógeno en redes de gas natural**

Es el paso previo necesario para crear experiencia técnica en la distribución y el transporte de hidrógeno así como en los usos finales, contribuyendo a desarrollar también la actividad de producción. Para ello se propone:

- 1. Establecer cuotas u objetivos** obligatorios de composición de hidrógeno en el gas natural que los comercializadores venden a los clientes finales.
- 2. Definición de estándares técnicos** para el diseño y construcción de equipos y redes que permitan incorporar proporciones crecientes de hidrógeno.
- 3. Crear un sistema de garantías de origen** que, dando trazabilidad al hidrógeno producido y consumido, permita darle un valor.
- 4. Convocar subastas de proyectos de producción de hidrógeno verde** que den una rentabilidad adecuada y visibilidad a largo plazo a los inversores.
- 5. Mejorar la competitividad** del precio de la electricidad para la producción de hidrógeno verde mediante incentivos fiscales y regulatorios.

#### **Desarrollo de núcleos de producción de hidrógeno verde próximos a consumidores finales**

Promoviendo este tipo de núcleos en los que se desarrollen infraestructuras de transporte y distribución de hidrógeno puro se contribuirá a la difusión social de este vector energético y sus usos finales.

Estos núcleos quedarían integrados en el marco regulatorio del gas natural como subsistemas que, si bien no se encuentran interconectados inicialmente con la red de transporte y distribución de gas natural, sí podrán pasar a estarlo a futuro a medida que evolucione su integración.

#### **Desarrollo de estaciones de servicio para suministro de hidrógeno verde**

El uso del hidrógeno como combustible en vehículos es una aplicación de presente, y el desarrollo de estaciones de servicio para suministro de hidrógeno verde, producido a partir de energías renovables, es el escaparate idóneo para la difusión de las bondades de este tipo de movilidad de cero emisiones reales, al no generarse emisiones ni en su producción ni en su uso.

#### **Puesta en valor del servicio de almacenamiento de excedente de energía renovable en forma de hidrógeno**

En tanto que una de las líneas principales de desarrollo del hidrógeno es su aprovechamiento como vector energético almacenado para un uso diferido al de su producción, es necesario que este servicio de almacenamiento adopte un valor económico que incentive su desarrollo con carácter general, lo cual contribuirá también a avanzar en las vías propuestas al respecto del almacenamiento de hidrógeno en las infraestructuras de gas natural.





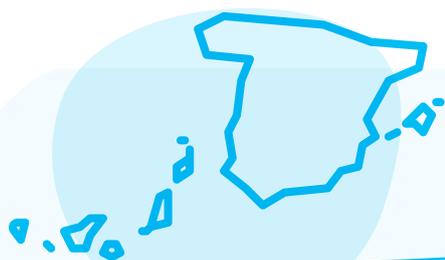
## **EL PAPEL DE ESPAÑA COMO LÍDER TECNOLÓGICO EN EL DESARROLLO GLOBAL Y EUROPEO DEL POTENCIAL DEL HIDRÓGENO RENOVABLE**

Al tratarse de un vector transversal a las principales fuentes de energía del mix actual, y dado que España dispone de un recurso solar y eólico abundante, podría convertirse en un productor de hidrógeno renovable de relevancia.

Gracias a las infraestructuras gasistas, podría almacenar y transportar, no sólo a nivel nacional sino también hacia otros países, la producción de hidrógeno renovable, facilitando la descarbonización de sectores industriales, y erigiéndose como complemento ideal para la mayor penetración de las energías renovables eléctricas al facilitar el almacenamiento estacional, asegurando el respaldo a dichas ener-

gías en mayor medida que otros tipos de almacenamiento como pueden ser las baterías.

Replicando los aspectos positivos de la experiencia que ha acumulado España en el desarrollo de las energías renovables eléctricas, y aprovechando el tejido industrial existente, España puede desarrollar un sector de actividad económica de alto valor añadido y con orientación exportadora, vinculado al diseño y fabricación de equipos de electrólisis, y al suministro integral de plantas de producción de hidrógeno renovable bajo el esquema "EPC" (Engineering, Procurement and Construction).



**España puede alcanzar, asimismo, el liderazgo tecnológico en cada una de las ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO:**

**En la integración del recurso renovable en el proceso de electrólisis:**

La alta intermitencia de los recursos solar y eólico en España conlleva un importante reto tecnológico para su integración como fuente de electricidad en el proceso de electrólisis del agua. España puede aprovechar la experiencia adquirida en el acoplamiento de la producción renovable en su sistema eléctrico durante la última década, para aplicarla a pequeña escala en los sistemas de hidrólisis.

**En el almacenamiento del hidrógeno en infraestructuras gasistas:**

La inyección y transporte del hidrógeno en estado gaseoso aprovechando la capacidad de almacenamiento de las infraestructuras de transporte y distribución gasista es la alternativa más económica para el desarrollo de una cadena integral del hidrógeno. España puede aprovechar así su red gasista, moderna y de calidad.

**En el transporte y distribución de hidrógeno por conducción:**

En concreto, en lo que tiene que ver con asegurar que la inyección en la red existente de gasoductos de transporte y distribución se lleve a cabo en condiciones adecuadas de seguridad y calidad, en su gestión eficiente, y en la construcción de nuevas conducciones que transporten únicamente hidrógeno renovable, haciendo posible que el hidrógeno llegue a la industria y a los hogares para distintos usos.

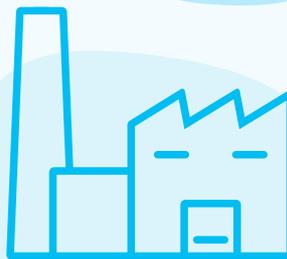
En definitiva, España puede convertirse en uno de los principales productores europeos de hidrógeno renovable a bajo coste (por la abundancia de recurso renovable), erigiéndose como un proveedor de energía que garantice al resto de países de la Unión Europea su seguridad de abastecimiento en el marco jurídico de la Unión, llevando a cabo un transporte a escala que resultará muy eficiente al aprovechar la infraestructura gasista existente.





## OPORTUNIDADES EN MATERIA DE HOMOLOGACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS O PRODUCTOS INDUSTRIALES EN ESPAÑA

- Desarrollo de normativa específica para la certificación y homologación de **electrolizadores, balances de planta y sistemas**, que faciliten la implementación y, también, permitan alcanzar nuevas mejoras y actuaciones.
- Desarrollo de normativa específica y de certificadores nacionales de **tanques de hidrógeno** y otros elementos de los sistemas de almacenamiento.
- Desarrollo de normas, especificaciones y estandarización en materia de **equipamiento, seguridad y calidad del producto**.
- Desarrollo específico de **normativa para instalación de producción de hidrógeno** a nivel nacional para su uso como "feedstock" y como almacén energético.





## OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO DEL HIDRÓGENO RENOVABLE EN ESPAÑA

Se generalizaría el acceso a una fuente de energía de origen renovable que consigue alcanzar el objetivo medioambiental de producir cero emisiones.

- **El hidrógeno transportado por conducción** permite que la generación de energía para los usos finales se lleve a cabo de forma deslocalizada, con menores pérdidas en el tránsito que su transporte a través de redes eléctricas (el consumidor doméstico final de electricidad ve incrementada su factura en aproximadamente un 15% adicional en concepto de pérdidas en el transporte) por lo que en términos de eficiencia energética supone una gran oportunidad.
  - **El hidrógeno verde vincula** la red eléctrica y gasista
- aprovechando los recursos invertidos en la red de gas natural que permite el almacenamiento a gran escala de excedentes de generación renovable además de permitir, obviamente, su consumo en aplicaciones finales.
- **Representaría una alternativa real** para la descarbonización del consumo energético de la industria y la movilidad en todos sus ámbitos y, en particular, la pesada.
  - **España ya es pionera** en los usos del hidrógeno industrial a una pequeña escala geográfica, por lo que parte con
- ventaja de cara a extender su desarrollo al hidrógeno verde y puede constituir un núcleo de I+D+i.
- **La producción de hidrógeno verde** para consumo nacional permitirá, además, reducir la dependencia energética exterior.
  - **Además, el empleo de hidrógeno verde** será una alternativa real y eficiente al uso de baterías para almacenamiento de energía que, si se posicionasen como la única alternativa en un proceso de electrificación, podría derivar en una intensa dependencia exterior.

Este desacoplamiento se produce fundamentalmente en las plantas de generación de energía solar fotovoltaica y parques eólicos, dado que en algunos periodos de tiempo la demanda eléctrica es inferior a la generación. Este fenómeno puede solucionarse

mediante el almacenamiento de la energía en forma de hidrógeno renovable y podría ayudar igualmente a optimizar las inversiones en nuevas infraestructuras eléctricas como subestaciones o líneas de transporte y distribución.

“ Los excedentes de generación de energía eléctrica se podrían utilizar tanto para generar energía eléctrica (pilas de combustible) como para usar directamente el hidrógeno en procesos industriales o en movilidad ”

# El papel del hidrógeno renovable: CLAVE EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

**E**l hidrógeno es un vector energético decisivo para lograr un sistema energético renovable y conseguir reducir las emisiones de gases y de partículas, logrando así una des-

carbonización de la economía en línea con lo establecido en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y el objetivo de la Unión Europea de cero emisiones para el año 2050.

“El hidrógeno es un vector energético decisivo para lograr un sistema energético renovable y conseguir reducir las emisiones de gases y de partículas”

## El hidrógeno como facilitador de la transición energética en Europa:

Habilitar las energías renovables

Descarbonización y usos

**Facilitar** la integración de renovables y la generación eléctrica a gran escala

**Distribuir** la energía a través de los diferentes sectores y regiones



**Actuar** como regulador para aumentar la resiliencia del sistema



**Descarbonizar** el transporte



**Ayudar a decarbonizar** el sector eléctrico y térmico a nivel residencial



**Descarbonizar** el sector térmico a nivel industrial



**Servir** para almacenar el excedente de energías renovables

Fuente: Hydrogen Roadmap Report, FCH-JU.

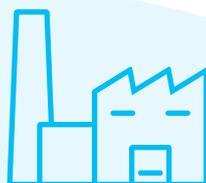
- **Disponibilidad ilimitada:** El hidrógeno es el elemento más abundante y en la Tierra se encuentra en la materia de origen orgánico y, principalmente, en el agua.
- **Almacenable:** El hidrógeno puede almacenarse y transportarse con tecnologías ya disponibles.
- **Emisiones cero:** El hidrógeno puede producir calor y electricidad sin emitir dióxido de carbono por combustión, como cualquier combustible, o por combinación electroquímica con el oxígeno.
- **El hidrógeno es versátil:** Las tecnologías actuales pueden producir hidrógeno, almacenarlo, moverlo y utilizarlo de diferentes formas. Varios tipos de energía son capaces de producir hidrógeno como las renovables, nuclear, gas natural, carbón. Se puede transportar en gasoductos o en barcos y después se puede transformar en electricidad y metano para alimentar las casas, industrias o como combustible para transporte.

“ El hidrógeno es un recurso ilimitado por obtenerse del agua y formar parte de un ciclo renovable con cero emisiones de carbono ”

La utilización del hidrógeno para usos finales permitiría la descarbonización de sectores enteros

con una reducción de CO<sub>2</sub> del 100%, dada su versatilidad para suministrar energía para los ho-

gares, para la industria, para la movilidad y para el almacenamiento de energía.

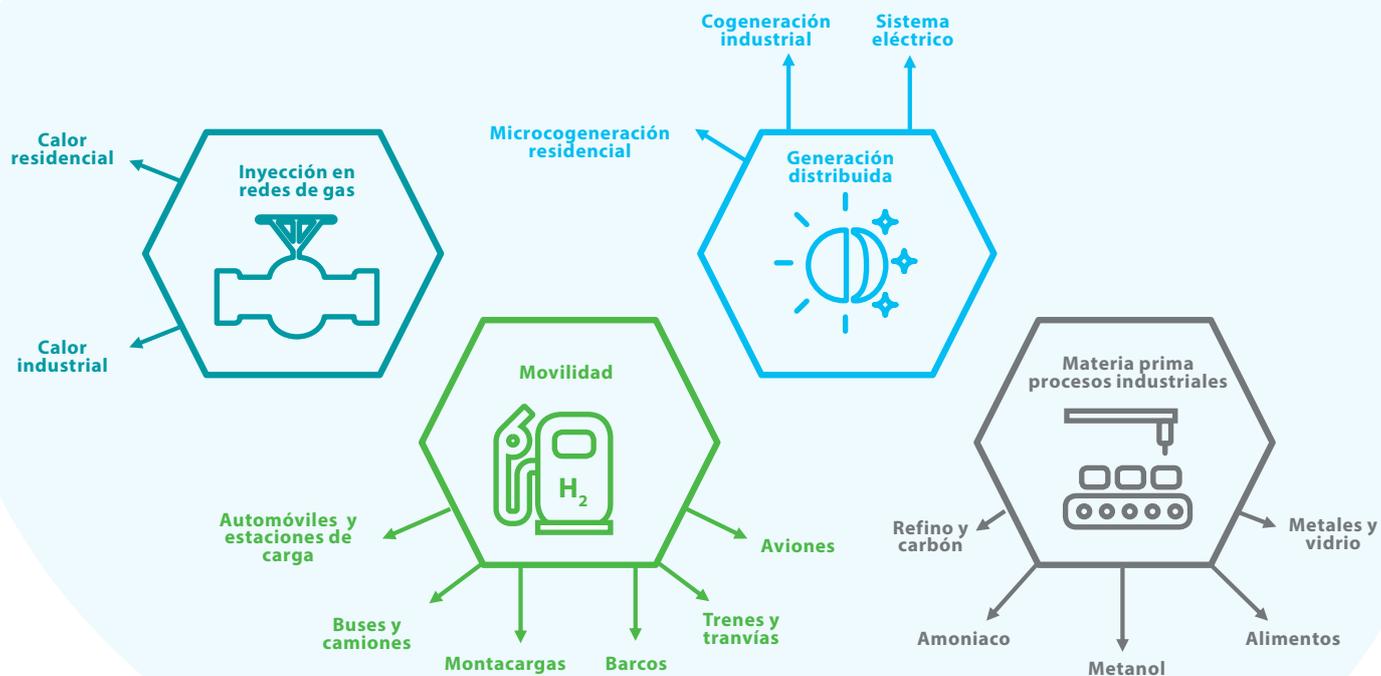




- **Transporte:** el hidrógeno es la tecnología más eficaz para eliminar las emisiones en el transporte.
- **Industria:** el hidrógeno puede reemplazar los combustibles fósiles en procesos donde se requieren altas temperaturas y la electrificación es difícil.
- **Segmento residencial y terciario:** el hidrógeno puede ser una alternativa menos costosa a la electrificación para la generación de calor.

## EL HIDRÓGENO ES LA FORMA ÓPTIMA DE ALMACENAR TODO EL POTENCIAL DE LA GENERACIÓN RENOVABLE

Vector universal que permite descarbonizar la economía en su conjunto:

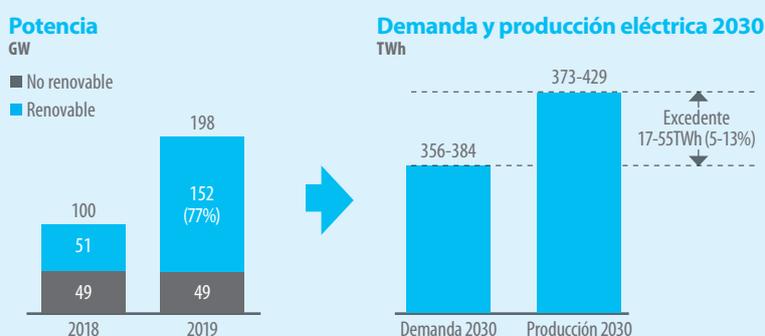


La generación de energías renovables es estacional, dependiendo de factores externos como la situación climatológica, teniendo un carácter aleatorio en función de ciclos estacionales. El volumen y el momento

de la generación no coinciden en muchas ocasiones con el volumen de la demanda, por lo que mucha de la energía producida se termina perdiendo por no existir una forma óptima de almacenamiento. El hidrógeno

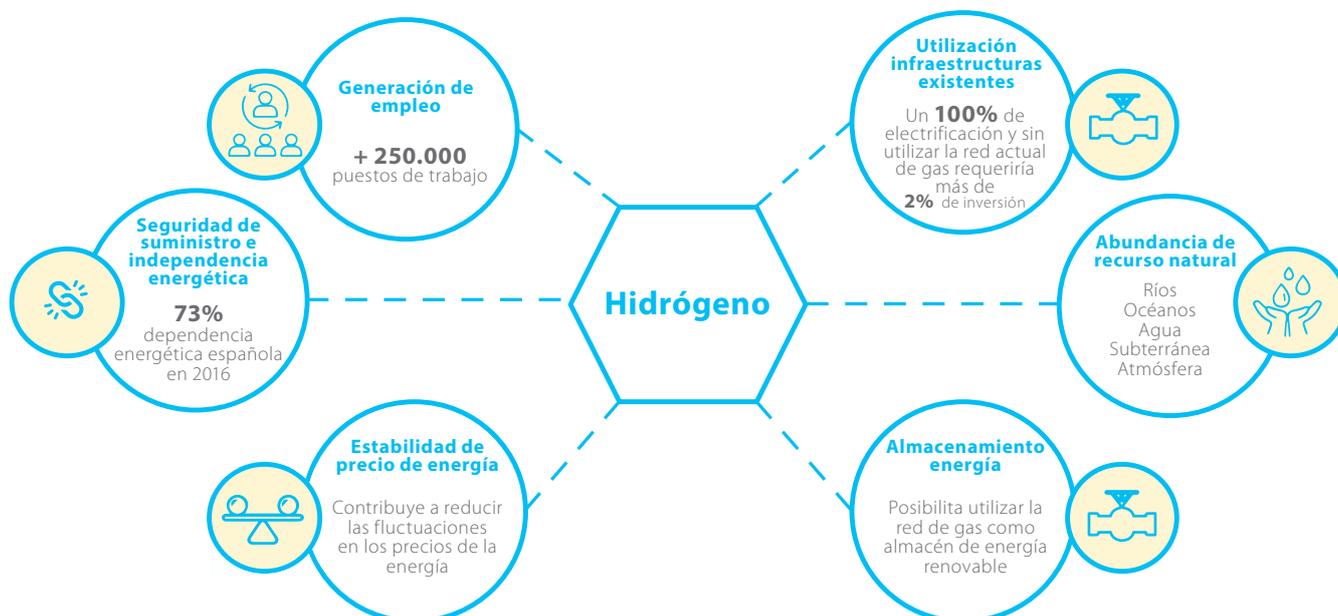
salva estas distancias y permite almacenar grandes volúmenes de electricidad, con capacidades de almacenamiento similares a las del bombeo permitiendo el almacenamiento estacional con un impacto ambiental nulo.

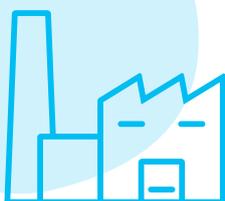
### Demanda y producción eléctrica a partir de energías renovables para 2030



“ Desplegar el hidrógeno y el gas renovable podría llegar a evitar de 6 a 12 millones de Tm de CO<sub>2</sub> ”

Adicionalmente el despliegue del hidrógeno tendría los siguientes **beneficios**:





Cada tonelada que se produce de **hidrógeno marrón** emite **10** toneladas de CO<sub>2</sub>. En cambio, un electrolizador de **1GW** es capaz de producir entre **40.000** y **100.000** toneladas de **hidrógeno verde** al año, lo que supondría evitar entre **400.000** y **1.000.000** de toneladas de CO<sub>2</sub>.

### ¿Cómo contribuye el hidrógeno renovable a la alcanzar los objetivos de la Estrategia de Transición Justa?

- **Eliminación y/o reducción** sustancial de emisiones contaminantes y emisiones de GEI.
- **Economía circular:** utilización de energías renovables eléctricas autóctonas para la producción de hidrógeno renovable para distintos usos.
- **Liderazgo tecnológico** a nivel internacional.
- **Generación de nuevas líneas de negocio** y de empleo en el campo de la producción de equipamiento a todos los niveles (fabricación de pilas de combustible, sistemas de almacenamiento y suministro a los usuarios, aparataje eléctrica asociada, fabricación de equipos de generación de hidrógeno, etc.)
- **Potenciación de nuevos núcleos energéticos** de producción de hidrógeno que, al estar deslocalizados, contribuirán a evitar la despoblación rural y a conseguir los objetivos de reto demográfico.

# La integración de hidrógeno renovable EN LAS INFRAESTRUCTURAS ACTUALES

**E**l hidrógeno renovable se obtiene del agua y, a través de él, la electricidad puede almacenarse permitiendo la utilización de toda la capacidad de generación existente y evitando la pérdida de energía. A través de su almacenamiento en la red de gas, este vector permite integrar los sistemas gasista y eléctrico.

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la generación de energías renovables en la actualidad es la imposibilidad de guardar el excedente generado, lo que conlleva una pérdida

energética importante. La inyección de hidrógeno en las redes gasistas existentes permite el aprovechamiento energético de los potenciales excedentes de generación renovable.

Los estudios técnicos apuntan la posibilidad de diluir hidrógeno en las redes de gas natural actual de entre un 5% y un 15% (en volumen) y la evolución tecnológica podría hacer que este porcentaje aumentase.

La combustión resultante de la mezcla de hidrógeno y gas natural permite reducir las emisiones

de los consumidores finales, que disfrutan de una energía con la misma capacidad que el gas natural, sin que exista diferencia en el rendimiento de los aparatos.

“ Infraestructuras energéticas: clave para una transición hacia una economía del hidrógeno ”

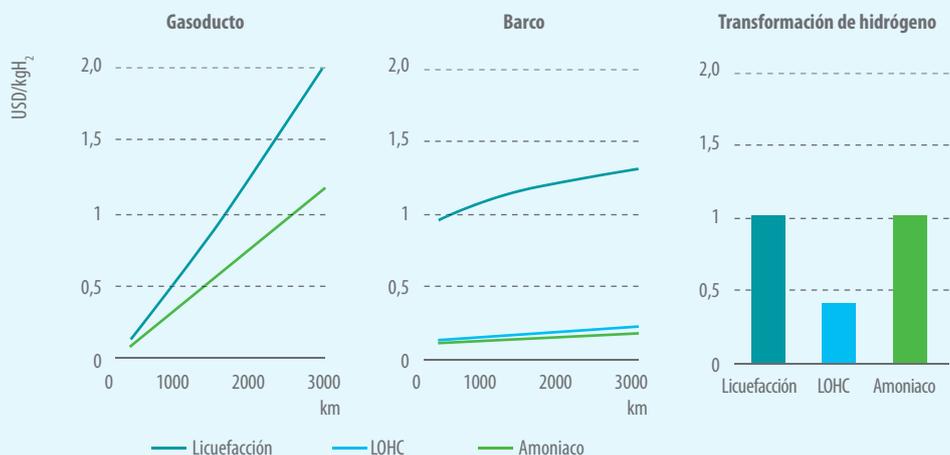
**VENTAJAS** del transporte de hidrógeno por las infraestructuras gasistas existentes:

- **La infraestructura ya está disponible** y solo serían necesarias pequeñas inversiones para su adaptación.
- **El transporte de hidrógeno por gasoducto es más competitivo** que su transporte por carretera.
- **Aumentaría la competitividad de la industria nacional**, desvinculándola de los precios internacionales de la energía.





**Coste del almacenamiento y transporte de hidrógeno por gasoducto y por barco, y coste de licuefacción y transformación del hidrógeno:**



**Notas:**

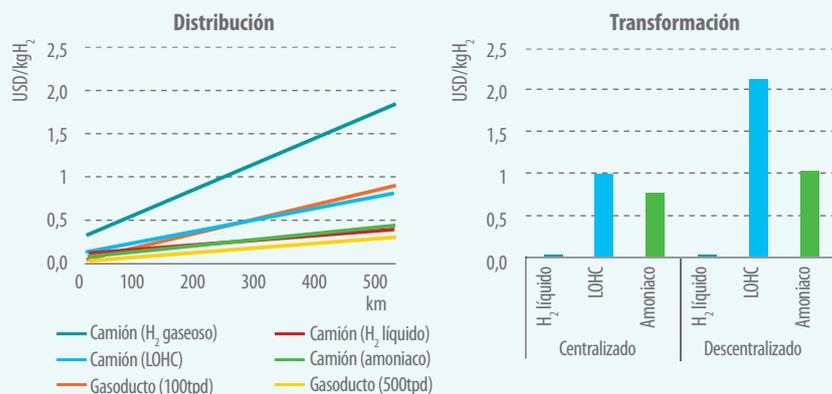
El hidrógeno transportado por gasoducto es en estado gaseoso, el hidrógeno transportado por barco es en estado líquido. Los costes incluyen los costes de transporte y de almacenamiento si se requiere, los costes de distribución y transformación no están incluidos.

Más información en [www.iea.org/hydrogen2019](http://www.iea.org/hydrogen2019)

Fuente: IEA 2019

“ La opción más barata para transportar el hidrógeno depende de la forma y de la distancia. Los costes adicionales de transformación deben sopesarse frente a los ahorros en el transporte ”

**Coste de la distribución de hidrógeno hacia una instalación central y costes de regasificación:**



**Notas:**

Más información disponible en [www.iea.org/hydrogen2019](http://www.iea.org/hydrogen2019)

Fuente: IEA 2019

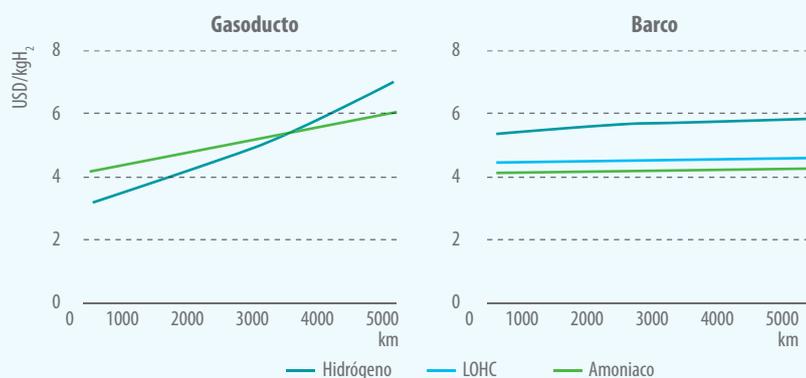
“ Los nuevos gasoductos están llamados a ser la opción más barata para distribuir grandes volúmenes de hidrógeno; extraer el hidrógeno puro del amoniaco o de LOHC es caro ”

El hidrógeno renovable puede implantarse con éxito como una alternativa energética más en todos los sectores (doméstico, terciario, industrial, y también en movilidad ligera y pesada).

En todo caso, podrá tener un mayor éxito inicial en la descarbonización del sector industrial, dado que no es posible la electrificación de este sector, y también en la movilidad pesada, al permitir el desarrollo de una movilidad eléctrica que,

por sus requerimientos de autonomía y potencia, no puede soportarse con baterías, y que supone cero emisiones reales al generarse la electricidad de forma deslocalizada y plenamente limpia.

**Costes totales** del reparto de hidrógeno para el sector industrial por gasoducto y por barco en 2030, en función de la distancia:



**Notas:**

Costes de la producción de hidrógeno: 3 \$/kgH<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que la distribución se realiza por gasoducto de 100 tpd a un destino final situado a 50 km.

Más información disponible en [www.iea.org/hydrogen2019](http://www.iea.org/hydrogen2019)

Fuente: IEA 2019



# Usos del HIDRÓGENO

## OPORTUNIDADES EN MOVILIDAD

La competitividad del uso de hidrógeno en el transporte depende de los costes de las pilas de combustible y de las estaciones de recarga. La prioridad para el sector de la movilidad es rebajar los costes de estas pilas y de los

sistemas de almacenamiento a bordo. Si esto se rebajase, este tipo de vehículos podrían ser altamente competitivos con autonomías de 400-500 km, lo que les haría potencialmente atractivos para los consumidores.

“ El uso del hidrógeno y las pilas de combustible en movilidad son clave para completar la descarbonización del transporte ”

### ACTUALIDAD

### PERSPECTIVAS DE DEMANDA

### DESPLIEGUE FUTURO

#### OPORTUNIDADES

#### RETOS

#### Coches y furgonetas (vehículos ligeros)

**11.200** vehículos circulando, su mayoría en California, Europa y Japón.

Aumento de flota de vehículos, por lo que el hidrógeno podría captar parte de esta flota.

Poco tiempo de carga, menos peso por almacenamiento de energía y cero emisiones. Las pilas de combustible podrían tener una menor huella de material que las baterías de litio.

El reducido número de estaciones de carga hace que sea caro, con menos potencia y con costes de almacenamiento. Gran consumo de electricidad y coste muy elevado de producción.

#### Camiones y autobuses (vehículos pesados)

- **25.000** máquinas elevadoras.
- **500** autobuses.
- **400** camiones.
- **100** furgonetas.

Fuerte crecimiento del sector.

El hidrógeno y el amoníaco son las opciones más viables para la descarbonización marítima y de reducción de emisiones.

El coste del almacenamiento de hidrógeno es mayor que el de otros combustibles y tiene menor densidad.

#### Marítimo

Demostraciones limitadas de proyectos para barcos pequeños y de fuentes de alimentación a bordo en barcos grandes.

Se espera que las cargas marítimas aumenten un 45% para 2030 y hay que cumplir los objetivos de polución del aire para 2050, lo que podría promover el hidrógeno.

#### Ferrocarril

Dos trenes que se mueven con hidrógeno en Alemania.

El tren es el principal transporte en muchos países.

Los trenes de hidrógeno de mercancías pueden ser más competitivos.

El ferrocarril es el transporte más electrificado.

#### Aviación

Pequeñas demostraciones limitadas de proyectos y estudios.

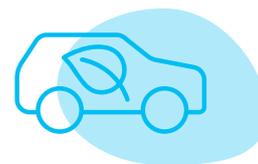
El medio de transporte más rápido. Se necesitaría rediseñar y cambiar los aviones para que utilizarasen hidrógeno puro.

Hidrógeno junto con las baterías podría reemplazar a bordo la energía de los aeropuertos durante el rodaje.

Es entre 4 y 6 veces más caro que el queroseno.

En cuanto a países, Estados Unidos cuenta con la mayor flota de este tipo de vehículos seguido por Japón, Alemania, Francia y Corea del Sur.

## INICIATIVAS PÚBLICAS Y PRIVADAS PARA VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO



Varias empresas de fabricación de vehículos tienen ambiciosos planes de futuro en este aspecto y esperan producir una gran cantidad de coches con pila de combustible que estarán disponibles entre 2020 y 2030.

En cuanto a vehículos pesados, miles de autobuses con pila de combustible están en producción y se espera que salgan al mercado en los próximos cinco años, en su mayoría en China. Los apoyos de los gobiernos para este tipo de proyectos es-

tán aumentando, siendo mayoritarios en Europa y Estados Unidos. En Corea del Sur, un patrocinador público-privado pretende desarrollar 1.000 autobuses de este tipo para 2022, en el propósito del país por contar con 40.000 para 2040.

### PROYECTOS EUROPEOS

Se están llevando a cabo varios proyectos ambiciosos y se está introduciendo un nuevo modelo de movilidad con camiones que utilizan pila de combustible. En la central hidroeléctrica de Gösgen, Suiza, se ha construido una planta de electrólisis de 2MW destinada a vehículos pesados en Europa.

Asimismo, el proyecto H2Haul tiene previsto desplegar 16 camiones con pila de combustible en cuatro localizaciones europeas: Bélgica, Alemania, Francia y Suiza. Este proyecto marcará una contribución significativa para la preparación del mercado europeo y el desarrollo de esta

tecnología, en consonancia con el objetivo de reducción de CO<sub>2</sub> para el año 2030. Con esta demostración, se pretende mostrar cómo funcionan las estaciones de repostaje para vehículos de hidrógeno y cómo estos pueden reemplazar directamente a los vehículos que se encuentran actualmente en el mercado, ofreciendo la misma capacidad de carga y la misma eficiencia a la hora de recorrer distancias, pero con cero emisiones de CO<sub>2</sub>. El proyecto arrancará en cuatro años y los 16 vehículos pe-

sados estarán desplegados durante un mínimo de dos años.

Por otro lado, el proyecto H2Bus conllevará el despliegue de mil autobuses con pila de combustible en Europa para el año 2023. Los primeros 600 autobuses contarán con financiación del CEF (Connecting Europe Facility), que reducirá el precio de venta del hidrógeno a 5-7 euros/kilo con una tarifa de mantenimiento de 30 céntimos por kilómetro y cero emisiones.

“ En Europa se incentiva el uso del hidrógeno en el transporte pesado ”



## OPORTUNIDADES PARA LA INDUSTRIA

“ El hidrógeno es la principal opción para la descarbonización de procesos industriales con altos requerimientos térmicos ”



Los altos hornos para la fabricación de hierro son un buen ejemplo: el coque utilizado en estos hornos no solo crea el calor necesario para fundir el hierro, sino que permite la reacción química entre los electrodos de carbono en el coque y el oxígeno del mineral de hierro que es necesario para fabricar el hierro. Si bien es posible aumentar el calor del alto horno con otros combusti-

bles como el hidrógeno, no es posible sustituir el alto horno por uno eléctrico.

El hidrógeno renovable es una alternativa a la captura y almacenamiento de carbono. Además las cogeneraciones de hidrógeno permiten también alcanzar mayores eficiencias energéticas con una reducida huella de carbono.

“ El hidrógeno renovable es la solución sostenible para descarbonizar los sectores con más emisiones ”

En la actualidad, un gran número de sectores industriales como las refinerías, químicas o de fertilizantes, utilizan hidrógeno en sus procesos industriales, pero

se trata de hidrógeno marrón. Sustituir este hidrógeno por hidrógeno verde permitiría reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## OPORTUNIDADES PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

El hidrógeno puede ser fácilmente transportado y distribuido por las infraestructuras existentes, siendo esta una de sus principales ventajas al no necesitar de una gran inversión para el despliegue de nuevas redes, por lo que podría destinarse al consumo doméstico y comercial. Además, el excedente de energía renovable podría almacenarse en forma de hidrógeno disponiendo de la infraestructura adecuada, lo

que conllevaría un ahorro de los costes y una importante reducción de emisiones.

Las viviendas que cuenten con generadores propios de energía renovable como placas solares, encontrarían en el hidrógeno un fuerte aliado para almacenar los excedentes producidos, lo que conllevaría un ahorro tanto energético como en los costes.



# Redexis: IMPULSOR DEL HIDRÓGENO VERDE

- **Redexis es socio de la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno de Aragón**, cuyo objetivo es desarrollar proyectos ligados a las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible.
- **Redexis es socio de la Asociación Española del Hidrógeno**, con el fin de promover el uso de este vector energético en aplicaciones industriales y comerciales, fomentando su desarrollo.
- **Redexis es coordinador del Grupo de Trabajo** de hidrógeno de Gasnam.

“ Redexis tiene previsto destinar 60 millones de euros a proyectos de hidrógeno y gases renovables en el horizonte 2025 ”

## PROYECTO POWER TO GREEN HYDROGEN MALLORCA

Este proyecto reúne todos los elementos centrales de la cadena de valor del hidrógeno, es decir, la producción, la infraestructura de distribución y el uso final de hidrógeno verde a través de la movilidad, el calor y la energía, y permitirá desplegar infraestructuras de suministro de hidrógeno renovable en la isla,

con el objetivo de proporcionar una energía 100% renovable y sostenible al transporte, industrias y hoteles. Redexis participa activamente junto con Enagás, Acciona y Cemex.

El enfoque general de Power to Green Hydrogen Mallorca se basa en la integración de seis sitios de

despliegue en la isla de Mallorca, que incluyen 7,5 MW de capacidad de electrólisis conectada a plantas fotovoltaicas locales y seis autobuses y automóviles, dos aplicaciones de cogeneración comercial en edificios, suministro de electricidad en el puerto e inyección de hidrógeno en la red de gas local.

“ El proyecto Power to Green Hydrogen Mallorca aborda el despliegue de un ecosistema de hidrógeno renovable totalmente integrado y en funcionamiento en la isla de Mallorca ”

La intención es expandir el impacto más allá de las demostraciones de tecnología entregadas por el proyecto, estableciendo las bases para el primer proyecto de hidrógeno renovable a escala en el sur de Europa. Esto proporcionará a Europa un plan para la descarbonización de las economías insulares, y un ejemplo operativo de la con-

tribución del hidrógeno a la transición energética y los objetivos de cero emisiones de 2050.

El proyecto ya ha sido declarado Proyecto Estratégico por el Gobierno regional balear y cuenta con el apoyo del Gobierno nacional a través de IDAE.



## PROYECTO HIGGS

Redexis participa en el proyecto HIGGS, una iniciativa de cooperación europea que estudiará la posibilidad de inyectar hidrógeno en las infraestructuras existentes de gas natural, como vía para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

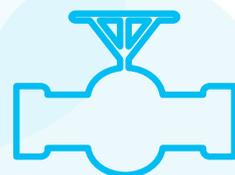
Este proyecto tiene una financiación europea de dos millones de euros de la Fuel Cells and Hydrogen 2 Undertaking, la principal agrupación público-privada que apoya en Europa con el respaldo de la Comisión Europea, y se llevará a cabo un estudio para ver cómo se comportan distintos grados de mezcla de gas natural con hidrógeno en las redes de gas, desarrollando una plataforma de testeo.



## INTEGRACIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE EN GASODUCTOS

Redexis ha integrado una pila de combustible en una estación de regulación de medida (ERM) en uno de sus gasoductos de Zaragoza para suministrar electricidad y calor, siendo esta la primera integración de este tipo que se realiza en España.

El proyecto pretende probar esta tecnología y su aplicación para usos domésticos o terciarios, generar una alta eficiencia y estudiar su viabilidad para implementarla de forma general en las redes de transporte y distribución de gas, con el fin de reducir el impacto ambiental y la huella de carbono.



## BIBLIOGRAFÍA

- Club Español de la Energía (20-05, 2020). *El papel del Gas es clave en la estrategia de descarbonización* [Comunicado de prensa].
- European Commission (2017). Energy storage – the role of electricity.
- FCH JU (2019). Hydrogen roadmap Europe. A sustainable pathway for the European energy transition.
- Hydrogen Europe (2020). Hydrogen Europe website.
- H2Haul (2020). Hydrogen Europe website.
- IEA (2019). The Future of Hydrogen.
- Launch of the H2Bus Consortium (2020). H2Bus website.
- Shell Deutschland Oil GmbH (2017). Shell Hydrogen Study.
- 2x40GW Green Hydrogen Initiative (2020). Hydrogen for Climate Action website.

## INFORMACIÓN DE CONTACTO

- Gerente: Estefanía Somoza
- Responsable: Susana Roldós
- Teléfono: 91 828 01 71 / 672 381 743
- Correo electrónico: [fundacionredexis@redexis.es](mailto:fundacionredexis@redexis.es)

012345