



PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HIDRÓGENO

Infografías de difusión

**Aplicaciones del hidrógeno y
necesidad de I+D+i**

Diciembre 2025

Objetivo del documento

El objetivo de estas infografías es **mostrar el estado actual de las tecnologías del hidrógeno y sus diversas aplicaciones**, poniendo especial énfasis en **comunicar el valor de la I+D+i** como elemento clave para mejorar estas tecnologías y superar los retos y barreras existentes.

Las infografías buscan **facilitar la transmisión conceptos técnicos complejos en mensajes claros y directos**, facilitando la comprensión del estado de la tecnología, las líneas de investigación en curso y el papel que desempeña la I+D+i en su desarrollo y despliegue.

Asimismo, pretenden despertar el interés del sector industrial y de la sociedad en general por los avances tecnológicos asociados al hidrógeno y su contribución a la transición energética.

Cada infografía se estructura en dos caras complementarias:

- **Cara A**, dedicada a explicar la tecnología, sus aplicaciones y usos principales.
- **Cara B**, centrada en los retos existentes y en cómo la I+D+i está actuando para abordarlos.

Estas infografías son el resultado del trabajo coordinado en el marco de la **Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno (PTeH₂)**, a través de sus cinco Grupos de Trabajo, integrados por entidades del ámbito industrial, tecnológico y científico.

A partir de las **aportaciones de sus miembros**, que desarrollan actividad de I+D+i en estas áreas, se han consolidado mensajes y contenidos orientados a facilitar la comprensión de las tecnologías del hidrógeno, sus aplicaciones y las principales áreas donde la I+D+i está actuando.

Índice

[PRO 01: Consumo de agua del H₂ renovable](#)

[PRO 02: H₂ de bajas emisiones, ¿Cuánto es “bajo”?](#)

[ATD 01: ¿Sabías que el H₂ puede mover la energía en el espacio y en el tiempo?](#)

[MOV 01: El papel del H₂ en la movilidad del futuro](#)

[IND 01: Mismo producto, distinta huella: el calor industrial sostenible](#)

[IND 02: H₂ como molécula clave: mismos productos, menor huella](#)

[RE 01: Tecnología y Usos del Hidrógeno en Contextos Críticos](#)

Entidades participantes:



Nota sobre el contenido y el alcance

Los contenidos de estas infografías tienen un **carácter divulgativo** y han sido diseñados para facilitar la comprensión de conceptos técnicos complejos por parte de un público amplio.

Las cifras, ejemplos y rangos mostrados son orientativos y **pueden variar en función del contexto tecnológico, geográfico o regulatorio** considerado.

Estas infografías **no pretenden realizar comparaciones exhaustivas ni sustituir estudios técnicos detallados**, sino apoyar la difusión y el entendimiento del papel del hidrógeno y de la I+D+i asociada, así como poner en valor las líneas de investigación que están permitiendo avanzar hacia su despliegue a escala.



Infografía PRO 01: **¿Cuánta agua necesita el H₂ renovable?**

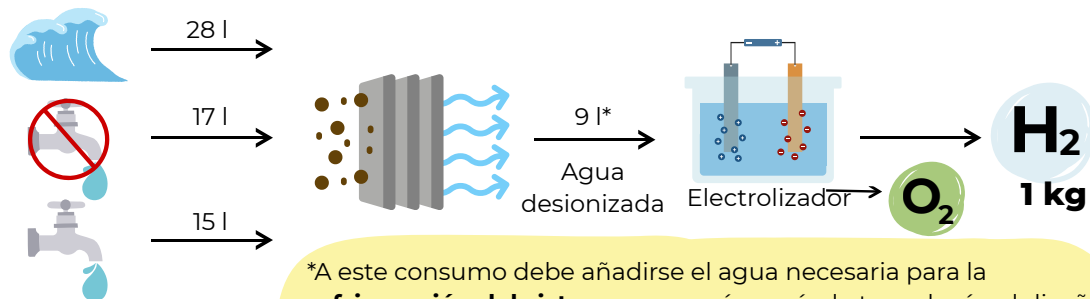
Grupo de Trabajo de Producción de Hidrógeno

CARA A: ¿Cuánta agua necesita el H₂ renovable?

Según el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima**, España prevé alcanzar **12 GW de capacidad instalada** de electrólisis en **2030**. Este objetivo representa un paso clave hacia la descarbonización del sistema energético, al transformar electricidad renovable en hidrógeno limpio, que puede utilizarse en distintos procesos donde hoy se depende de combustibles fósiles.

Sin embargo, este avance puede generar, de forma errónea, cierta preocupación social por el consumo de agua asociado a la electrólisis, haciendo que una **buena noticia** para el clima se perciba como una **amenaza ambiental**.

¿Cuánta agua se necesita para producir 1 kg de hidrógeno?



*A este consumo debe añadirse el agua necesaria para la **refrigeración del sistema**, que varía según la tecnología, el diseño del circuito y las condiciones de operación, y está directamente relacionada con la eficiencia global del electrolizador.

Este hidrógeno contiene una energía de unos **33,3 kWh**, lo suficiente para:

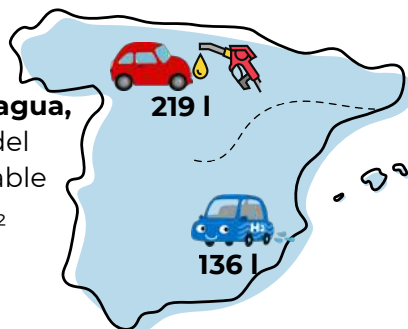
- Alimentar una pila de combustible para cubrir el consumo eléctrico medio de un **hogar español** durante **un día completo**.
- Encender una **bombilla LED** de 10 W durante casi **140 días** seguidos
- Cargar un **móvil** unas **3.000 veces**

Entonces... ¿es mucha agua? No, y te explicamos por qué

¿Y si lo comparamos con otras alternativas?

Aunque el consumo hídrico del hidrógeno pueda parecer elevado, cuando se compara con el de los combustibles fósiles, resulta ser menor.

Para recorrer en coche (Barcelona-Madrid):
Un **coche de gasolina** requiere unos **219 l de agua**, considerando toda la cadena de producción del combustible. Un **coche de hidrógeno** renovable necesita **136 l de agua**, correspondientes al H₂ que se consumiría en el trayecto.



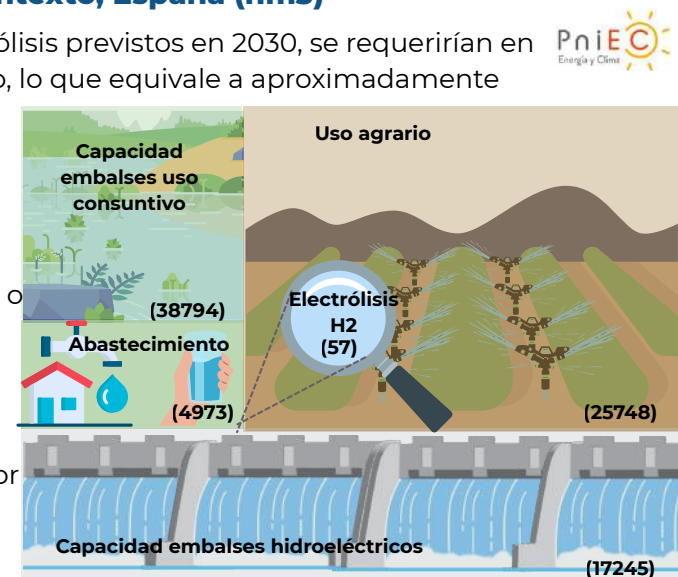
**Asumiendo una demanda de 6,5 kg de H₂, y un factor hídrico de 22 L de agua cruda por kg de H₂ para electrólisis PEM (IRENA, 2023), incluyendo las necesidades asociadas al proceso y a la refrigeración del sistema.

Cantidad de agua en contexto, España (hm³)

Para alcanzar los 12 GW de electrólisis previstos en 2030, se requerirían en torno a 50-70 hm³ de agua al año, lo que equivale a aproximadamente el 0,1 % del agua disponible en España (más de 38 000 hm³).

En conjunto, este consumo es gestionable, especialmente si se emplea agua desalada, reciclada o de procesos industriales.

Aun así, el impacto local puede variar según la disponibilidad y calidad del agua en cada zona, por lo que resulta clave planificar las plantas en lugares con fuentes seguras y sostenibles.



Cara B- I+D+i para reducir el consumo de agua

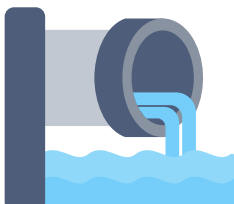
Aunque se ha demostrado que el hidrógeno renovable no supone un consumo de agua superior al de los combustibles fósiles, es **fundamental seguir trabajando para reducir su impacto al mínimo posible**.

En un contexto de creciente estrés hídrico, resulta esencial optimizar cada etapa del proceso y garantizar que la producción de hidrógeno sea sostenible en cualquier territorio.

La **I+D+i se orienta** precisamente **a este objetivo**, impulsando soluciones que permiten **disminuir el uso neto de agua** mediante la recirculación del agua empleada en la refrigeración y la utilización de fuentes no potables, como aguas residuales o de mar.

Estas líneas de trabajo permiten avanzar hacia un hidrógeno compatible con la protección de los recursos hídricos y el equilibrio ambiental.

Uso de aguas residuales en la electrólisis



Integrar la electrólisis con el tratamiento de aguas permitiría reducir la dependencia de agua ultrapura y valorizar efluentes urbanos o industriales. Esto resulta especialmente relevante en contextos de estrés hídrico, siempre que se garantice la calidad del proceso y la durabilidad de los equipos.

Retos principales:

- Formación de subproductos
- Inestabilidad de los materiales frente a contaminantes

La I+D+i trabaja en:

- Desarrollar componentes capaces de operar en medios variables y con presencia de impurezas.
- Aplicar estrategias que minimicen la formación de subproductos y prolonguen la vida útil de los equipos.

Recirculación y reutilización del agua de refrigeración

El agua utilizada en la refrigeración puede representar una parte significativa del consumo total. Por ello, una gestión eficiente es fundamental para minimizar el impacto hídrico asociado a la producción de H₂.

Retos principales:

- Pérdidas por evaporación y necesidad constante de reposición.
- Incremento del consumo en climas cálidos o con sistemas de baja eficiencia.
- Costes asociados al tratamiento y la recuperación del agua.

La I+D+i trabaja en:

- Desarrollar sistemas de refrigeración cerrados y de alta eficiencia, que minimicen la evaporación y el aporte de agua nueva.
- Implementar tecnologías de recuperación y tratamiento que permitan reutilizar el agua de refrigeración sin pérdida de rendimiento.



Electrólisis con agua de mar

Aprovechar el agua de mar permitiría reducir la dependencia del agua dulce y aprovechar un recurso abundante y ampliamente disponible.

Retos principales:

- Formación de subproductos como el cloro durante la electrólisis.
- Degradación acelerada de los materiales por la salinidad y los agentes corrosivos.

La I+D+i trabaja en:

- Desarrollar materiales y recubrimientos resistentes a la corrosión y al cloro.
- Optimizar los procesos de purificación para evitar subproductos y reducir costes operativos



Infografía PRO 02: **H₂ de bajas emisiones, ¿cuánto es “bajo”?**

Grupo de Trabajo de Producción de Hidrógeno

CARA A: H₂ de bajas emisiones, ¿cuánto es “bajo”?

¿Sabías que **no todas** las tecnologías de hidrógeno son **cero emisiones...** pero sí mucho **más limpias que las fuentes convencionales?**

Existen múltiples rutas para producir H₂ con bajas emisiones, combinando procesos industriales conocidos con nuevos sistemas de captura (CCS) o valorización del carbono. Estas tecnologías representan un paso intermedio esencial hacia la descarbonización total, permitiendo reducir drásticamente las emisiones de CO₂ mientras se avanza en el desarrollo del hidrógeno renovable.

Reformado con CCS

Es el método más extendido actualmente. Consiste en calentar gas natural (metano) con vapor de agua para obtener hidrógeno, aplicando tecnologías de captura del CO₂ que evitan su emisión a la atmósfera.

Ventajas y características:

- Permite producir hidrógeno a gran escala con infraestructuras industriales ya existentes.
- El CO₂ capturado puede almacenarse o reutilizarse en procesos industriales, reduciendo significativamente las emisiones netas.
- Tecnología madura y competitiva en costes, fácilmente integrable en plantas actuales.
- Puente estratégico hacia el hidrógeno renovable, facilitando la descarbonización progresiva del sector.



Metano (CH₄)
Vapor de agua (H₂O)

Reacción química a alta temperatura



CO₂ H₂

Pirólisis

Consiste en calentar metano u otros compuestos en ausencia de oxígeno, produciendo hidrógeno y carbono sólido como subproducto.

Ventajas y características:

- El carbono sólido obtenido es un material de alto valor, que puede emplearse en baterías, electrodos, materiales compuestos o agricultura, contribuyendo a una economía más circular.
- Requiere menos energía y agua que otros procesos de producción de hidrógeno.
- Ofrece múltiples rutas tecnológicas, desde procesos térmicos hasta plasma o microondas.
- Puede alcanzar emisiones netas negativas si se emplean hidrocarburos de origen biológico.



Metano (CH₄) / Biogás / Residuos biogénicos / biomasa**

Descomposición térmica sin oxígeno



Carbono sólido
H₂



**La ruta a partir de biomasa produce un gas de síntesis rico en H₂ y otros compuestos (syngas)

Gasificación

Consiste en convertir materias con contenido de carbono (como carbón, biomasa o residuos) en una mezcla gaseosa rica en hidrógeno (syngas) mediante una reacción con oxígeno y vapor de agua.

Ventajas y características:

- Permite aprovechar recursos residuales o biogénicos, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.
- El CO₂ generado puede capturarse y almacenarse, disminuyendo las emisiones asociadas al proceso.
- Proceso versátil, adaptable a distintas materias primas y escalas industriales.
- Oportunidad de valorización de subproductos como gases, escorias o compuestos de carbono reutilizables.



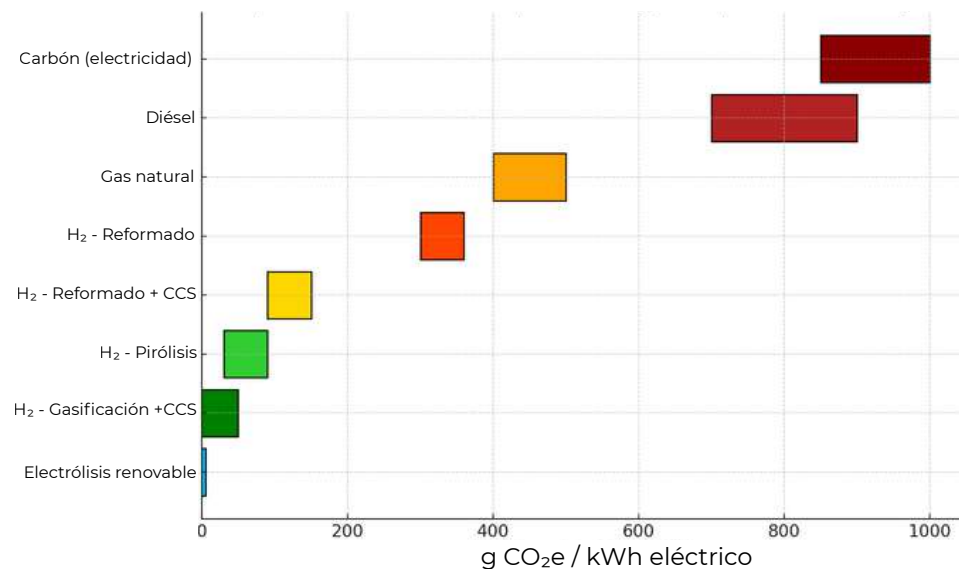
Biomasa / Residuos / Carbón

Calor con poco O₂



CO₂ CO H₂

¿Y cómo se comparan con otras tecnologías?



CARA B: Con residuos como recurso: así trabaja la I+D+i

Más allá de las rutas de producción convencionales vistas en la Cara A, existen tecnologías que permiten generar hidrógeno a partir de residuos. Esta aproximación transforma la gestión de residuos en una oportunidad energética, reduciendo emisiones y cerrando ciclos de materia.

La I+D+i es clave para convertir estos procesos en soluciones técnicamente viables, limpias y estratégicas para el sistema energético.

De residuo a recurso: cerrar el ciclo



El desarrollo de tecnologías de producción de hidrógeno que utilizan residuos como materia prima, ofrece una **solución doblemente estratégica**:

- Permite valorizarlos, **evitando que acaben en vertederos, ríos u océanos**.
- Previene las **emisiones de CH_4** por descomposición

Por cada kg de H_2 producido a partir de residuos con captura de CO_2 , se pueden retirar de la atmósfera hasta **~17 kg de CO_2 e**, logrando **emisiones netas negativas**.

Eficiencia de los procesos

La producción de H_2 a partir de residuos presenta bajas conversiones, formación de subproductos y desactivación de catalizadores, lo que reduce la eficiencia y eleva el consumo energético.

Retos y barreras:

- Complejidad en la conversión termoquímica y purificación del H_2 .
- Formación de subproductos y desactivación de catalizadores.
- Dificultad de escalado industrial eficiente.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

- Optimización de procesos de gasificación, reformado y pirólisis.
- Mejora de sistemas de separación y purificación del hidrógeno.
- Integración de etapas para reducir pérdidas energéticas.

Variabilidad de los residuos

La composición cambiante de los residuos dificulta estandarizar los procesos y mantener la calidad del hidrógeno.

Retos y barreras

- Impurezas que reducen la eficiencia y dañan catalizadores.
- Ajustes constantes que limitan la escalabilidad.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

- Sensores y control en tiempo real para adaptar el proceso.
- Catalizadores más tolerantes y modelado digital para mejorar la estabilidad del sistema.

Valorización de subproductos

Durante la conversión a H_2 se generan subproductos como carbono sólido, gases residuales o calor, que pueden reaprovecharse para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Retos y barreras:

- Calidad variable y baja pureza de los subproductos.
- Escasa integración entre la producción de H_2 y su aprovechamiento.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

- Valorización del carbono sólido y del CO_2 para aplicaciones energéticas o industriales.
- Reutilización del calor residual y recuperación de compuestos químicos para aumentar la circularidad del proceso.



Infografía ATD 01:
**¿Sabías que el H₂ puede mover la energía
en el espacio y en el tiempo?**

Grupo de Trabajo de Almacenamiento, Transporte y Distribución

CARA A-¿Sabías que el H₂ puede mover la energía en el espacio y en el tiempo?

El hidrógeno es una solución tecnológica clave para transportar energía en el tiempo y en el espacio. Su capacidad de almacenamiento y transporte permite llevar la energía allí donde se necesita y utilizarla cuando resulta necesaria..



EN EL TIEMPO → Almacenamiento

Guardar energía transformándola en H₂ utilizando energía renovable (sol, viento, ...), para usarla más adelante cuando no sea posible producirla (de noche, en invierno o cuando hay más demanda).

Se transforma ⚡ en H₂ → se almacena → se usa después



EN EL ESPACIO → Transporte y Distribución

Llevar la energía (en forma de H₂) desde el punto de producción al punto de consumo

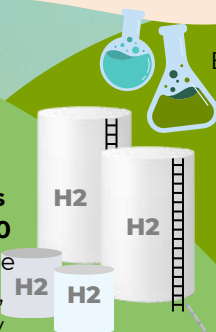
¿Cómo se hace?

A través de tuberías, camiones cisterna, barcos...

Se adapta o crea infraestructura para llevar H₂ a hogares, oficinas, industrias o cualquier usuario que precise energía.

Almacenamiento a pequeña y mediana escala

Se utiliza en instalaciones locales o industriales que no requieren grandes volúmenes de H₂. Permite guardar el **gas comprimido** previamente a unos **350-700 bar (y hasta 1.000 bar)** para un uso flexible (estaciones de repostaje, usos especiales, p.e) garantizando un suministro seguro y continuo en aplicaciones descentralizadas.

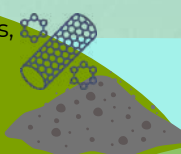


Almacenamiento en líquidos

El H₂ puede licuarse o transformarse en líquidos portadores, como amoníaco o compuestos orgánicos, facilitando su transporte y almacenamiento frente al H₂ gaseoso.

Almacenamiento en materiales sólidos

El H₂ puede almacenarse en materiales sólidos, como metales o estructuras porosas, mediante **absorción o adsorción**, ofreciendo una opción compacta y segura para pequeñas y medianas cantidades.



Transporte marítimo

El H₂ puede transportarse por barco en forma líquida o como amoníaco, LOHCs o metanol, permitiendo mover grandes volúmenes desde regiones con recursos renovables a **mercados consumidores**.



Transporte por carretera

El hidrógeno puede transportarse en camiones cisterna, ya sea en forma gaseosa (a alta presión) o líquida (a muy baja temperatura). Esta opción, ideal para **distancias medias y cortas**, permite llevar el hidrógeno allí donde se necesita, independientemente de su lugar o momento de producción..

Compresión de H₂

El H₂ debe ser comprimido a altas presiones para poder ser almacenado, transportado en tube trailers y dispensado en hidrogeneras

Almacenamiento Estratégico /Subterráneo

El almacenamiento en formaciones subterráneas, como cavernas salinas o yacimientos agotados, permite guardar hidrógeno a gran escala de forma segura y estable, garantizando su **disponibilidad estacional** para los periodos sin producción o con mayor demanda.

En España, ya existen proyectos en marcha orientados al almacenamiento subterráneo de hidrógeno renovable.



Transporte y distribución por ductos

El hidrógeno puede transportarse por **ductos enterrados** de forma segura y económica, operando a alta presión para **mover grandes volúmenes** y reduciéndola cerca de los puntos de consumo.

En España, parte de la red de gasoductos podrá adaptarse al H₂ y se prevé una nueva **red troncal** de hidrógeno de más de **2.600 km**, conectada con Europa

CARA B- ¿Sabías que el H₂ puede mover la energía en el espacio y en el tiempo?

Todavía existen retos técnicos que necesitamos resolver para hacer más seguro y competitivo el almacenamiento y transporte. Es una molécula muy pequeña, ligera y reactiva, lo que genera problemas únicos de almacenamiento, manipulación y transporte. La **I+D+i es clave** para mejorar materiales, reducir costes, aumentar la eficiencia y garantizar la seguridad.



Estas soluciones permiten dotar al sistema energético de mayor flexibilidad, facilitando la **conexión** entre zonas **productoras** y **consumidoras** y reforzando la seguridad del suministro a escala nacional e internacional.

Almacenamiento a pequeña y mediana escala

Los recipientes de alta presión necesarios para almacenar hidrógeno son costosos y pesados, y pueden sufrir fragilización por el gas con el tiempo.

La I+D+i trabaja en nuevos materiales y diseños más **ligeros, seguros y económicos**, que permitan reducir costes y mejorar la durabilidad de los sistemas de almacenamiento.



Almacenamiento en líquidos

En los portadores químicos, la liberación del H₂ requiere energía. La I+D+i investiga **catalizadores y procesos a menor temperatura** para reducir el consumo energético y mejorar su eficiencia.

Almacenamiento en materiales sólidos

Aunque estos materiales permiten un almacenamiento seguro y compacto de H₂, su capacidad y velocidad de carga son limitadas. La I+D+i desarrolla nuevos compuestos para mejorar la adsorción y la reversibilidad.



Transporte por carretera

El transporte de H₂ en camiones cisterna requiere operar a altas presiones o muy bajas temperaturas, lo que aumenta costes y **exige materiales resistentes y ligeros**.

La I+D+i trabaja en nuevos diseños de remolques y tanques **criogénicos**, así como en materiales compuestos de **alta resistencia**, para reducir el peso y el consumo energético durante el transporte, manteniendo la **seguridad** en el mismo.



Transporte marítimo

Plantea retos técnicos por las condiciones extremas de temperatura y presión, así como por la seguridad en el manejo de portadores. La I+D+i desarrolla materiales, contención y logística más seguras y eficientes.



Transporte y distribución por ductos

El hidrógeno puede fragilizar los materiales metálicos si no son adecuados y difundirse en tuberías de materiales plásticos, lo que plantea retos en la **integridad y durabilidad** de los ductos.

La I+D+i trabaja en nuevos materiales, recubrimientos y matrices poliméricas reforzadas que mejoran la resistencia y estanqueidad, así como en el desarrollo de **componentes adaptados** como compresores y válvulas para desplegar redes a gran escala de forma eficiente.

Almacenamiento Estratégico /Subterráneo

La caracterización de estructuras geológicas aptas para almacenar hidrógeno es un **proceso complejo**. Además, la presencia de **microorganismos** en el subsuelo puede afectar al H₂ inyectado, por lo que la I+D+i trabaja en mejorar el **conocimiento geológico y biológico** necesario para aplicar esta tecnología de forma segura y eficiente.





Infografía MOV 01: El papel del H₂ en la movilidad del futuro

Grupo de Trabajo de Usos del Hidrógeno en Movilidad

CARA A-El papel del H₂ en la movilidad del futuro

El sector del transporte representa alrededor del 24 % de las emisiones globales de CO₂, por lo que reducir su impacto es esencial. En este contexto, el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables se consolida como una alternativa clave, especialmente en aquellos modos de transporte que requieren altas prestaciones en términos de potencia, autonomía o rapidez en el repostaje.

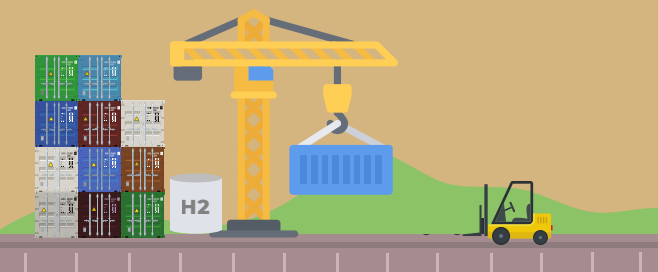
Transporte aéreo

Ya sea como **combustible directo** o como base para producir **SAF** a partir de CO₂, el H₂ ofrece una alternativa para descarbonizar un modo de transporte donde la electrificación es compleja por las limitaciones de peso y autonomía.



Aplicaciones en operaciones portuarias y aeroportuarias

El uso de H₂ en maquinaria y vehículos de servicio de **alta demanda** energética, como grúas, tractores o equipos de carga que operan de forma intensiva, ofrece mayor **autonomía**, rápida recarga y cero emisiones locales, sustituyendo motores diésel por pilas de combustible y mejorando la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones.

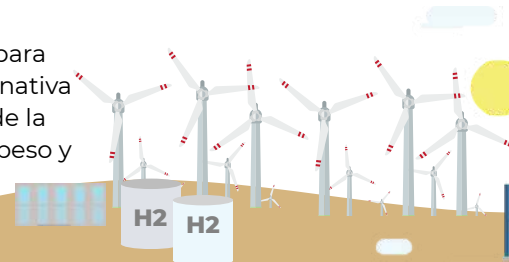


Transporte marítimo

En el transporte marítimo de larga distancia, el H₂ se consolida como una de las pocas **alternativas viables** para descarbonizar el sector, ya sea mediante su **uso directo** en pilas de combustible o motores adaptados, o como base para producir **combustibles sintéticos** como el metanol o el amoníaco verde, capaces de alimentar grandes buques sin comprometer su autonomía ni capacidad operativa.



El hidrógeno se produce con energía renovable y se emplea en las distintas soluciones de movilidad



Hidrogeneras y sistemas de suministro

Permiten repostar H₂ en minutos, con una experiencia similar al combustible convencional. Un **suministro rápido** y estandarizado (350/700 bar) reduce tiempos de inactividad y facilita operaciones continuas en flotas y rutas largas, beneficiando tanto a turismos como a vehículos de mayor tamaño o uso intensivo.

Transporte urbano

Especialmente en autobuses y flotas públicas, el uso de H₂ permite reducir emisiones y mejorar la **calidad del aire** urbano. Su amplia autonomía y rápido repostaje lo hacen ideal para operaciones continuas sin alterar los horarios de servicio. En ciudades como Madrid y Barcelona ya circulan autobuses con **autonomías de hasta 450 km**, demostrando su viabilidad en entornos reales.



Transporte ferroviario

En el transporte ferroviario, el H₂ ofrece una solución sostenible para las **líneas no electrificadas**, donde sustituye al diésel sin necesidad de costosas infraestructuras eléctricas. Su uso en trenes de pila de combustible permite reducir emisiones y mantener la autonomía y potencia necesarias para trayectos de media y larga distancia.



En España ya se han realizado pruebas en condiciones reales, como en recorridos entre ciudades de Galicia, que han demostrado autonomías cercanas a los **800 km**, confirmando la viabilidad de esta tecnología.

CARA B-¿Por qué es necesaria la I+D+i para llegar a este escenario?

Aunque ya existen proyectos reales que demuestran la viabilidad del hidrógeno en distintos modos de transporte, su despliegue a gran escala aún enfrenta importantes retos tecnológicos, económicos y de integración. Para que el hidrógeno renovable pueda convertirse en una solución accesible, eficiente y competitiva, es imprescindible seguir impulsando la I+D+i.

Transporte aéreo

Retos:

- Mantener el peso reducido sin comprometer la autonomía
- Asegurar una gestión térmica eficiente
- Desarrollar componentes adecuados para condiciones de vuelo extremas.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de arquitecturas de propulsión basadas así como en componentes avanzados y gestión térmica



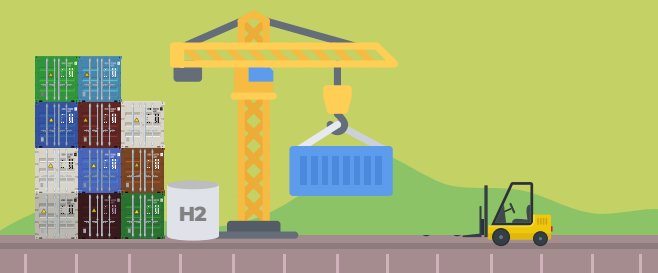
Aplicaciones en operaciones portuarias y aeroportuarias

Retos:

- Desplegar una infraestructura completa para operaciones con H₂.
- Adaptar la tecnología a la diversidad de equipos y aplicaciones presentes-

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de sistemas específicos para cada aplicación, optimizando pilas, almacenamiento y repostaje para entornos con alta demanda operativa.



Transporte marítimo

Retos:

- La salinidad y el ambiente corrosivo reducen la durabilidad y eficiencia de los equipos.
- Las vibraciones y el espacio limitado dificultan la integración de pilas y tanques de H₂ a bordo.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de materiales anticorrosión, diseños compactos y resistentes a vibraciones, y sistemas marinos específicos de almacenamiento y consumo de H₂.



Hidrogenas y sistemas de suministro

Retos:

- Mejorar la eficiencia y fiabilidad de las etapas de compresión, enfriamiento y dispensado.
- Evitar pérdidas energéticas y fallos por congelación o fragilización del H₂.
- Asegurar la interoperabilidad y seguridad en las operaciones a alta presión.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de compresores y boquillas más eficientes, y sistemas digitales de monitorización que optimizan el mantenimiento y la seguridad de las estaciones.



Transporte urbano

Retos:

- Altos costes de materiales y pérdida de durabilidad por uso intensivo
- Limitada capacidad de almacenamiento seguro y compacto de H₂.
- Escasa integración de hubs urbanos que conecten distintos modos de transporte.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de pilas más resistentes y económicas, almacenamiento avanzado e infraestructuras seguras e interconectadas para la movilidad urbana con H₂.



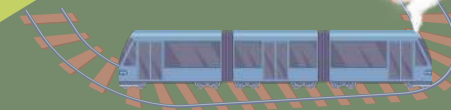
Transporte ferroviario

Retos:

- Alcanzar autonomías competitivas sin aumentar el peso del tren.
- Limitar el espacio ocupado por los sistemas de almacenamiento y propulsión.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de trenes híbridos y modulares, tanques ligeros de alta presión y sistemas avanzados de gestión energética





Infografía IND 01:
Mismo producto, distinta huella:
el calor industrial también puede ser sostenible

Grupo de Trabajo de Usos del Hidrógeno en Industria

CARA A: Mismo producto, distinta huella: el calor industrial también puede ser sostenible



¿Qué diferencia hay entre estas dos bicis?

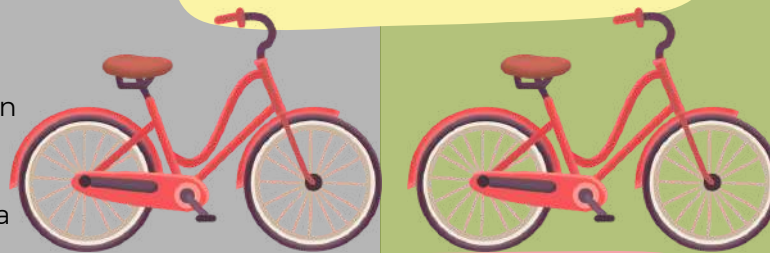
A simple vista, ninguna.

Pero su huella de carbono es muy distinta.



El producto final es el mismo.

La diferencia está en el acero



Texto 01 Esta bici se ha fabricado con métodos convencionales.

Para producir los 12 kg de acero que contiene, se han quemado combustibles fósiles como el carbón o el gas natural.

Eso implica alcanzar altas temperaturas mediante la combustión de hasta 500 kg de coque, generando aproximadamente 1.835 kg de CO₂.

Texto 02 Esta bici se ha fabricado con acero verde.

En lugar de usar combustibles fósiles, se ha empleado H₂ renovable para generar el calor necesario.

Esto permite reducir entre el 95% y 98% de las emisiones frente a la vía convencional.

El **H₂ limpio** hace posible lo que antes parecía imposible: **descarbonizar los procesos industriales más intensivos en energía**, como la cerámica, vidrio o el cemento, sin comprometer la calidad ni la competitividad.

En la producción de **acero verde**, el hidrógeno también **sustituye al carbono como reactivo químico**, eliminando una de las principales fuentes de emisiones industriales.

H₂ para generar calor limpio

La fabricación de materiales industriales como acero, vidrio o cerámica requiere aportes de calor muy elevados y, en algunos casos, condiciones de proceso específicas, como llamas directas o atmósferas controladas.

La combustión de hidrógeno renovable permite suministrar ese calor de forma directa y flexible, adaptándose a distintos procesos industriales.

Aunque cada sector presenta necesidades térmicas propias, el principio común es EL MISMO: sustituir los combustibles fósiles por hidrógeno renovable para generar calor sin emisiones de CO₂

Proceso	Temperatura típica (°C)	Fuente de calor actual	Sustitución potencial por H ₂
Cerámica 	1.200	Gas natural	H ₂ en hornos de cocción
Vidrio y fritas 	1.500 – 1.600	Gas natural / fuel	H ₂ en hornos de fusión
Cemento 	1.400 – 1.500	Coque de petróleo	H ₂ en hornos rotatorios
Acero 	> 1.500	Coque / gas	Reducción directa con H ₂ y hornos eléctricos

¿Cómo se adapta la industria al H2?

En España, existen proyectos piloto que demuestran la **viabilidad técnica** del uso de hidrógeno renovable en procesos industriales de alta temperatura, como la fabricación de fritas cerámicas.

Estas experiencias evidencian el potencial del hidrógeno para sustituir combustibles fósiles en procesos reales, si bien su despliegue a mayor escala está condicionado por factores como la competitividad económica, la disponibilidad de infraestructuras y un marco regulatorio adecuado.

El **producto final puede parecer el mismo.**

Pero si se ha fabricado con hidrógeno renovable, **su huella es radicalmente distinta** sin perder competitividad.

CARA B - La innovación, clave para un calor industrial sin emisiones

Aunque, como se ha visto en la cara A, ya existen experiencias reales con instalaciones operativas que avalan el uso del H₂ en la industria, su despliegue requiere adaptarse a la diversidad de procesos y condiciones de cada sector. Factores como los requisitos específicos de temperatura, atmósfera y control hacen necesario seguir ajustando las soluciones mediante I+D+i.

¿Qué barreras trata de superar la I+D+i?

Reutilización de quemadores existentes

Adaptar quemadores ya instalados para funcionar con H₂ puede ser una opción más económica y viable a corto plazo que sustituir todo el sistema.

Retos:

- Fragilización de componentes por exposición al H₂.
- Control de una combustión estable y eficiente con mezclas variables de gas natural e hidrógeno.
- Prevención de emisiones secundarias como los NO_x.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En nuevos materiales y sistemas de control que mejoran la seguridad y eficiencia de los quemadores.



Compatibilidad con los materiales procesados

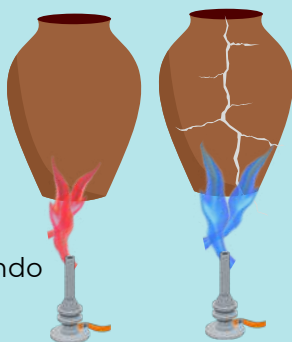
La combustión con hidrógeno puede modificar las propiedades del producto final.

Retos:

- Evitar cambios en la microestructura y en la calidad del material tratado.
- Mantener la uniformidad del calor y controlar la atmósfera del horno.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

Se están ajustando los perfiles térmicos y modificando las atmósferas reactivas para reducir el impacto del hidrógeno sobre los materiales y garantizar que mantengan la misma calidad, resistencia y apariencia que los métodos tradicionales.



Desarrollo de quemadores adaptativos

La adopción del H₂ en procesos térmicos industriales no admite una solución única.

Cada sector tiene requisitos específicos de temperatura, atmósfera y control del calor, lo que exige nuevos diseños de quemadores y sistemas asociados.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de quemadores duales y modulares, capaces de funcionar con mezclas variables de gas natural e hidrógeno, ajustándose a las condiciones de cada proceso.

Estas tecnologías flexibles facilitan la transición hacia el uso exclusivo de H₂, reduciendo riesgos y costes mientras se valida su comportamiento y seguridad en entornos reales.



Seguridad industrial

El uso de hidrógeno implica riesgos específicos por su amplio rango de inflamabilidad, sus llamas casi invisibles y las altas presiones que requiere para su almacenamiento y uso.

Retos:

- Detectar fugas o incendios invisibles.
- Garantizar la integridad de materiales y equipos a alta presión.
- Asegurar una ventilación y control adecuados en las instalaciones.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En el desarrollo de sensores, sistemas de control y normas específicas, así como en nuevas metodologías de evaluación del riesgo y modelización de accidentes, integrando la seguridad como parte esencial de la transición al hidrógeno.





PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HIDRÓGENO

Infografía IND 02:
Hidrógeno como molécula clave:
nuevos procesos, mismos productos, menor huella

Grupo de Trabajo de Usos del Hidrógeno en Industria

CARA A - Hidrógeno como molécula clave: nuevos procesos, mismos productos, menor huella



¿Qué diferencia hay entre estos dos billetes de avión?

A simple vista, ninguna.
Pero

Los dos te llevarán a tu destino,
La diferencia está en cómo se mueve el avión



Este billete te llevará de Madrid a Miami, como probablemente ya has viajado antes:

- ✈ En un avión propulsado por queroseno de origen fósil,
- 🌍 Con una huella de carbono estimada de aproximadamente **399 kg** de CO₂ por pasajero.

Este billete te llevará al mismo destino, del mismo modo,

pero esta vez, el combustible que propulsa el avión ha sido producido a partir de H₂ renovable y CO₂ capturado,

🌱 Generando un e-fuel sostenible con una huella de carbono entre un **85-100% menor**.

¿Y si todo siguiera igual... pero contaminando mucho menos?

Viajar, fabricar, cultivar, construir. Todo eso se puede seguir haciendo, pero con una huella mucho menor, gracias al H₂ renovable como molécula base para producir combustibles, plásticos, fertilizantes y otros materiales esenciales.

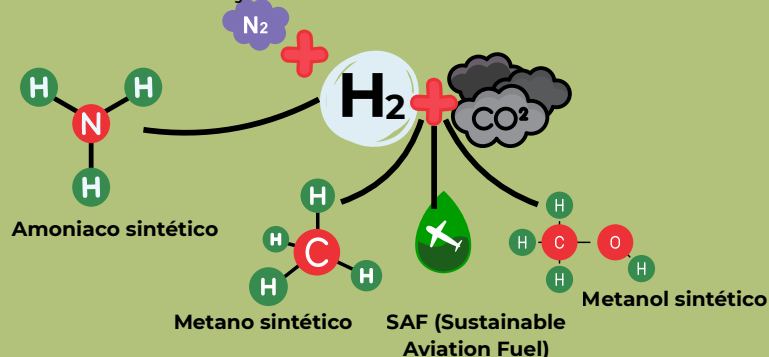
En **España** ya existen **proyectos piloto** que emplean H₂ renovable en refinerías y para la producción de amoníaco verde, **demostrando su viabilidad tecnológica** y el avance hacia una industria más sostenible

H₂ como molécula base esencial

Producción de moléculas sintéticas (e-fuels y más)

El H₂ renovable puede combinarse con CO₂ capturado o con nitrógeno para formar nuevas moléculas sintéticas.

Estas moléculas permiten sustituir productos fósiles tradicionales por alternativas con bajas o nulas emisiones.



Producción de materias primas derivadas del H₂

El H₂ es un ingrediente esencial en la fabricación de numerosos productos de uso diario (plásticos, detergentes, fertilizantes o disolventes), obtenidos a partir de reacciones químicas donde el H₂ actúa como reactivo clave.

Hasta ahora, este H₂ procede en su mayoría de fuentes fósiles, pero su sustitución por H₂ renovable permitiría reducir significativamente las emisiones asociadas a su producción industrial.



CARA A - Hidrógeno como molécula clave:

El papel de la I+D+i

La molécula de hidrógeno es simple, pero integrarla como reactivo principal en la producción de moléculas sintéticas y materiales industriales **plantea retos reales**: requiere adaptar procesos, rediseñar sistemas y mantener la eficiencia y la calidad del producto final.

Aunque muchos de estos procesos ya utilizan hidrógeno desde hace décadas, **la transición hacia H₂ renovable exige soluciones tecnológicas avanzadas**, y con ello, una **apuesta clara por la I+D+i**:

Necesitamos innovar para escalar su uso de forma segura, práctica y competitiva en toda la industria.

H₂ de origen fósil a H₂ de origen renovable

Aunque la molécula de H₂ es la misma, su **origen y método de producción** (reformado, electrólisis, etc.) determinan diferencias en pureza, y composición que pueden afectar a catalizadores, equipos o procesos industriales, reduciendo la vida útil de los sistemas.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

En la estandarización de purezas, el ajuste de catalizadores y parámetros de reacción, y el desarrollo de sistemas de monitorización que garanticen la calidad del gas y del producto químico final.

Competitividad y coste: el gran reto

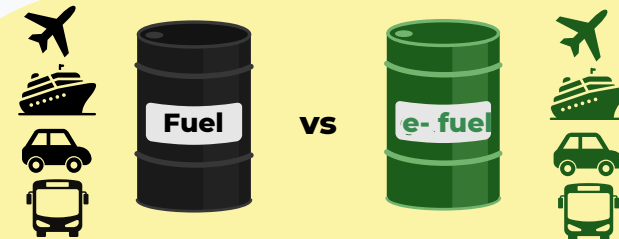
Para que el hidrógeno renovable y sus derivados se integren a escala industrial, deben ser económicamente competitivos y eficientes frente a las soluciones actuales basadas en H₂ fósil o combustibles convencionales.



¿Dónde está actuando la I+D+i?

- Electrólisis más eficiente y modular, con menor consumo energético.
- Nuevos catalizadores y rutas de síntesis más selectivas para e-fuels como metanol o SAF.
- Procesos integrados Power-to-Liquid (PtL) para reducir pérdidas energéticas.
- Digitalización y control avanzado para optimizar operación y mantenimiento, reduciendo el OPEX.

Diferencias impurezas



Producción e integración de e-fuels

Los e-fuels son una de las grandes promesas para descarbonizar sectores difíciles de electrificar, como la aviación o el transporte pesado.

Pero su despliegue a gran escala aún enfrenta retos importantes como la madurez tecnológica, la alta demanda energética y la disponibilidad limitada de CO₂ biogénico.

¿Dónde está actuando la I+D+i?

Desarrollo de catalizadores más activos y selectivos, procesos integrados que reduzcan etapas y pérdidas energéticas, y nuevas tecnologías de síntesis.

También se trabaja en el escalado industrial y el control digital avanzado para mejorar la eficiencia y reducir costes operativos.



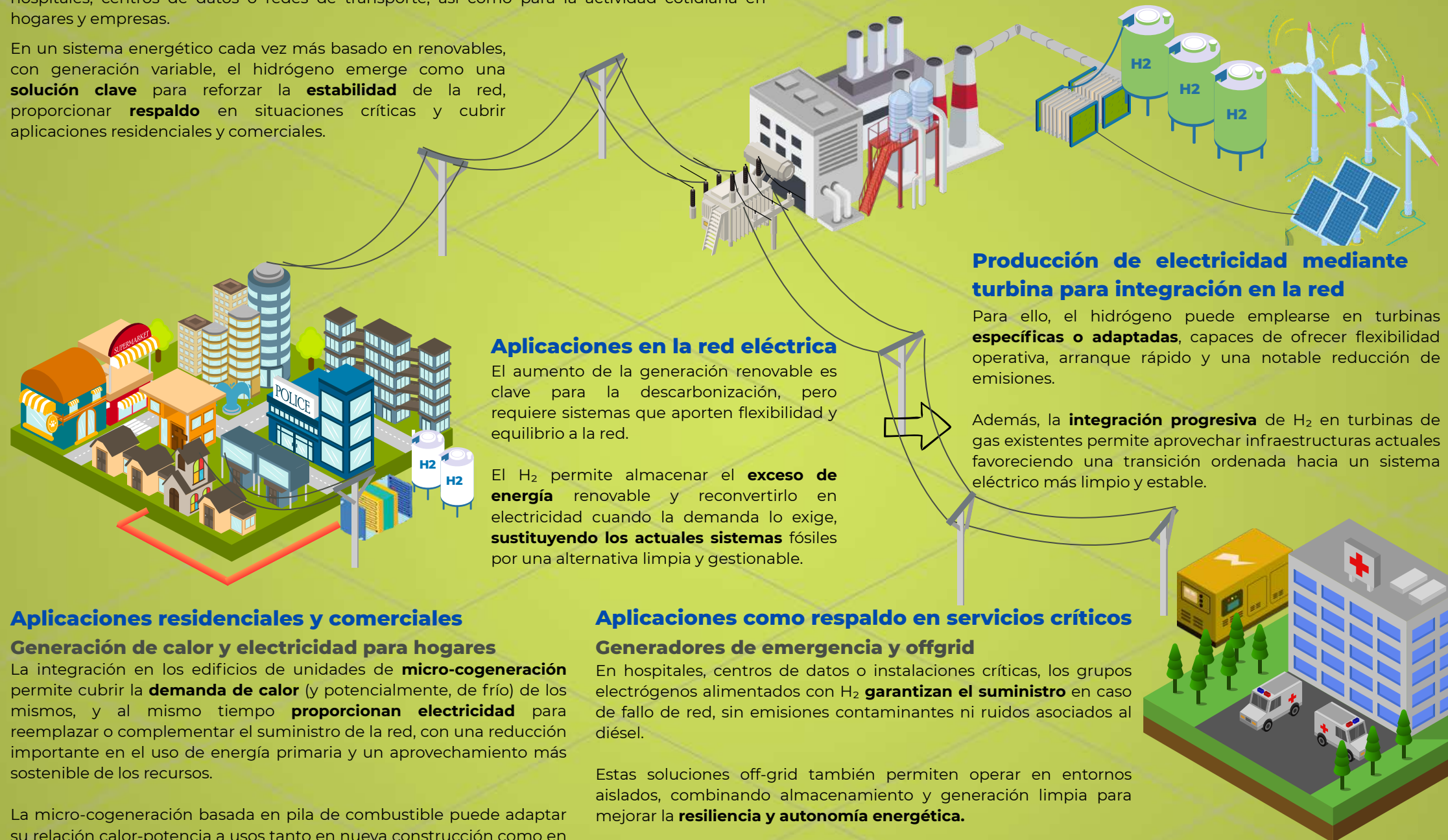
Infografía RE 01: Usos del H₂ en Contextos Críticos

Grupo de Trabajo Usos en Sistemas Eléctricos, Edificios, Sistemas Auxiliares de Respaldo y Potencia (RE2+SARP)

CARA A: Usos del H₂ en Contextos Críticos

El **suministro energético continuo** es esencial para la operativa de **infraestructuras clave** como hospitales, centros de datos o redes de transporte, así como para la actividad cotidiana en hogares y empresas.

En un sistema energético cada vez más basado en renovables, con generación variable, el hidrógeno emerge como una **solución clave** para reforzar la **estabilidad** de la red, proporcionar **respaldo** en situaciones críticas y cubrir aplicaciones residenciales y comerciales.



Producción de electricidad mediante turbina para integración en la red

Para ello, el hidrógeno puede emplearse en turbinas **específicas o adaptadas**, capaces de ofrecer flexibilidad operativa, arranque rápido y una notable reducción de emisiones.

Además, la **integración progresiva** de H₂ en turbinas de gas existentes permite aprovechar infraestructuras actuales favoreciendo una transición ordenada hacia un sistema eléctrico más limpio y estable.

Aplicaciones en la red eléctrica

El aumento de la generación renovable es clave para la descarbonización, pero requiere sistemas que aporten flexibilidad y equilibrio a la red.

El H₂ permite almacenar el **exceso de energía** renovable y reconvertirlo en electricidad cuando la demanda lo exige, **sustituyendo los actuales sistemas** fósiles por una alternativa limpia y gestionable.

Aplicaciones residenciales y comerciales

Generación de calor y electricidad para hogares

La integración en los edificios de unidades de **micro-cogeneración** permite cubrir la **demanda de calor** (y potencialmente, de frío) de los mismos, y al mismo tiempo **proporcionan electricidad** para reemplazar o complementar el suministro de la red, con una reducción importante en el uso de energía primaria y un aprovechamiento más sostenible de los recursos.

La micro-cogeneración basada en pila de combustible puede adaptar su relación calor-potencia a usos tanto en nueva construcción como en edificios existentes, manteniendo **altas eficiencias**.

Aplicaciones como respaldo en servicios críticos

Generadores de emergencia y offgrid

En hospitales, centros de datos o instalaciones críticas, los grupos electrógenos alimentados con H₂ **garantizan el suministro** en caso de fallo de red, sin emisiones contaminantes ni ruidos asociados al diésel.

Estas soluciones off-grid también permiten operar en entornos aislados, combinando almacenamiento y generación limpia para mejorar la **resiliencia y autonomía energética**.

CARA B: ¿Por qué es necesaria la I+D+i ?

El hidrógeno ya ha demostrado su potencial para reforzar redes eléctricas, suministrar energía en entornos críticos y alimentar edificios o industrias de forma limpia.

Sin embargo, su **adopción a gran escala** aún enfrenta **retos** tecnológicos, económicos y normativos que **limitan su despliegue**. Avanzar en eficiencia, reducción de costes, durabilidad y adaptación regulatoria será clave para consolidar su papel como vector esencial en la transición energética.

La **I+D+i** desempeña un **papel decisivo para superar estas barreras** y convertir las soluciones actuales en infraestructuras resilientes, escalables y plenamente integradas en un sistema energético descarbonizado.

