



HOJA DE RUTA DEL HIDRÓGENO: UNA APUESTA POR EL HIDRÓGENO RENOVABLE



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

MARCO ESTRATÉGICO DE ENERGÍA Y CLIMA

▶ RESUMEN EJECUTIVO	03
▶ I. INTRODUCCIÓN	06
1.1 EL CONTEXTO DE LA UNIÓN EUROPEA	07
1.2 EL CONTEXTO NACIONAL	08
▶ 2. CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO	10
2.1 PRODUCCIÓN	12
2.2 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	15
2.3 USOS FINALES	19
▶ 3. OPORTUNIDADES PARA ESPAÑA	23
▶ 4. LÍNEAS DE ACCIÓN	25
4.1 INSTRUMENTOS REGULATORIOS	26
4.2 INSTRUMENTOS SECTORIALES	27
4.3 INSTRUMENTOS TRANSVERSALES	34
4.4 IMPULSO A LA I+D+i	38
▶ 5. VISIÓN 2030 Y 2050	41
5.1 VISIÓN 2030	42
5.2 VISIÓN 2050	44
▶ ANEXO I. MECANISMOS DE FINANCIACIÓN	45
▶ ANEXO II. PROYECTOS EN MATERIA DE HIDRÓGENO RENOVABLE DESARROLLADOS EN ESPAÑA	54
▶ ANEXO III. CONTRIBUCIONES RECIBIDAS EN LA CONSULTA PÚBLICA DEL BORRADOR DE LA HOJA DE RUTA DE HIDRÓGENO.	60

RESUMEN EJECUTIVO

El hidrógeno renovable es una solución sostenible clave para la descarbonización de la economía. El hidrógeno renovable es parte de la solución para lograr la neutralidad climática en 2050 y desarrollar cadenas de valor industriales innovadoras en España y en la UE, así como una economía verde de alto valor añadido.

El hidrógeno renovable está llamado a ser un valioso vector energético para usos finales donde sea la solución más eficiente en el proceso de su descarbonización, como la industria intensiva en hidrógeno y procesos de alta temperatura, transporte pesado de larga distancia, transporte marítimo, transporte ferroviario o aviación. Además, la cualidad de vector energético le otorga un gran potencial como instrumento para el almacenamiento energético y la integración sectorial.

Se considera esencial la creación y el fomento de un entorno favorable para la oferta y demanda de hidrógeno renovable. Cualquier nuevo marco ha de priorizar, en la primera fase de despliegue, los proyectos de producción de hidrógeno renovable vinculados al uso final de la industria, así como los de movilidad sobre otras opciones. En este sentido, jugarán un papel muy importante la creación de **“valles o clústers de hidrógeno”**, donde se concentre espacialmente la producción, transformación y consumo aprovechando la aplicación de economías de escala, así como el desarrollo de proyectos piloto vinculados, entre otros, a los sistemas energéticos aislados y al sector transporte.

La industria que utiliza hidrógeno como materia prima (refino de petróleo, fertilizantes y productos químicos, entre otros) tiene un gran potencial para impulsar la producción de hidrógeno renovable a corto plazo:

- ▶ Unos objetivos ambiciosos pero comunes a nivel de la UE para los usos industriales del hidrógeno renovable pueden ser una palanca clave para garantizar la competencia industrial en igualdad de condiciones en el ámbito comunitario.
- ▶ Los proyectos dedicados para descarbonizar parte de la industria intensiva en hidrógeno pueden acelerar la madurez tecnológica y facilitar el despliegue de otros usos finales.

Deben fomentarse otros usos finales para el hidrógeno en aquellas áreas en las que la electrificación no sea la solución más eficiente o no sea técnicamente posible en el medio plazo, como el transporte público, servicios urbanos o usos diversos en nodos de transporte intermodal como puertos, aeropuertos o plataformas logísticas. El apoyo temprano de este perfil de proyectos permitirá desarrollar su competitividad, en la misma línea que están desarrollando otros países de nuestro entorno.

Asimismo, dada su alta versatilidad como vector, se ha de evaluar y priorizar el potencial del hidrógeno renovable para almacenar energía y/o descarbonizar el sector del calor tanto en la industria como en los hogares en los casos en los que la electrificación no sea la solución más competitiva. En el largo plazo, el hidrógeno puede jugar un papel esencial para almacenar energía procedente de un sistema eléctrico 100% renovable, objetivo que se prevé alcanzar en 2050.

Por último, **las soluciones basadas en hidrógeno renovable para islas y sistemas energéticos aislados**, que dependen en gran medida del transporte aéreo y marítimo, han de potenciarse para que dichas regiones puedan alcanzar la neutralidad climática garantizando su sostenibilidad como destinos turísticos.

Cualquier nuevo marco regulatorio ha de reconocer el potencial del hidrógeno renovable. Establecer un mercado de hidrógeno a nivel de la UE puede ser prematuro en esta etapa y distorsionar la competencia a corto plazo, dado que el hidrógeno no renovable desplazaría al hidrógeno renovable si no se internaliza adecuadamente su impacto medioambiental.

El hidrógeno renovable debería disponer de normas comunes en la UE (objetivos, etiquetado, garantías de origen), puesto que podrían facilitar su despliegue y garantizar la igualdad de condiciones. **Por otro lado, los impuestos y el mercado de emisiones de CO₂ pueden contribuir a proporcionar las señales correctas** a las partes interesadas y a los consumidores para valorar correctamente la etiqueta renovable.

Esta Hoja de Ruta del Hidrógeno tiene como objeto identificar los **retos y oportunidades** para el pleno desarrollo del hidrógeno renovable en España, proporcionando una serie de medidas destinadas a impulsar la **acción inversora**, aprovechando el consenso europeo sobre el papel que debe desempeñar este vector energético en el contexto de la recuperación verde. Este documento se alinea, por tanto, con la **Estrategia Anual de Crecimiento Sostenible de 2021 publicada por la Comisión Europea**, que identifica el futuro Mecanismo de Recuperación y Resiliencia como una oportunidad de crear ámbitos emblemáticos de actuación a nivel europeo, haciendo dos de dichos ámbitos de actuación (*Power up y Recharge and Refuel*) mención expresa al desarrollo del hidrógeno renovable en la Unión Europea.

España tiene la oportunidad de posicionarse como **referente tecnológico** en la producción y aprovechamiento del hidrógeno renovable, liderando un proyecto país hacia una economía descarbonizada, a través del **impulso de la cadena de valor del hidrógeno** mediante la creación de clústers tecnológicos y proyectos piloto a escala regional, el fomento de la innovación industrial, el apoyo a las zonas de transición justa y la disponibilidad de energía renovable a precios competitivos.

Como resultado de este ejercicio, esta Hoja de Ruta ofrece una Visión 2030 y 2050, estableciendo unos ambiciosos objetivos país en 2030 cuya consecución asegurará el posicionamiento industrial y tecnológico de nuestra economía en el contexto comunitario, la descarbonización de un volumen relevante del hidrógeno consumido actualmente y la plena introducción del hidrógeno en la movilidad sostenible. Todo ello con el objetivo último de contribuir a la consecución de los objetivos fijados en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. En particular, la Visión 2030 prevé una capacidad instalada de electrolizadores de 4 GW y una serie de hitos en el sector industrial, la movilidad y el sector eléctrico, para los cuales será preciso movilizar inversiones estimadas en 8.900 millones de euros durante el periodo 2020-2030. No obstante, como hito intermedio hasta alcanzar el objetivo de 4GW, se estima que para el año 2024 sería posible contar con una potencia instalada de electrolizadores de entre 300 y 600 MW.

La actualización cada tres años de esta Hoja de Ruta, basada en la evaluación de los progresos hacia la consecución de los objetivos de la Visión 2030, el grado de implantación de las medidas y la cuantificación de su impacto, permitirá su adaptación permanente al desarrollo tecnológico y a la evolución del mercado.

Por último, esta Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable es fruto de la **participación de diversos agentes económicos, administraciones y ciudadanos** que han aportado sus contribuciones durante el proceso de consulta pública previa, en especial mediante la propuesta de numerosos proyectos innovadores en las distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno renovable. Se trata de la mejor garantía de que este vector energético desempeñará un papel relevante en retos transversales tales como la reactivación económica tras la crisis sanitaria del COVID-19, la transición justa, el reto demográfico y la economía circular.

I.I. INTRODUCCIÓN

El **hidrógeno renovable** se posiciona como uno de los principales vectores energéticos en el largo plazo debido a que su producción y consumo es **neutral climáticamente y no genera emisiones contaminantes**. A diferencia de otros vectores energéticos renovables, el hidrógeno tiene la capacidad de ser almacenado, como gas a presión o en estado líquido, lo que permite un mayor grado de gestionabilidad.

Esta Hoja de Ruta tiene por objeto ser el eje tractor que guíe y fomente el despliegue y desarrollo del hidrógeno renovable en España, debido al significativo papel que está llamado a desempeñar el hidrógeno renovable en la transición energética hacia la descarbonización de la economía en 2050, dado que, como vector energético y flexible, permite integrar la electricidad renovable excedentaria, por tanto, una mayor penetración de renovables en el sistema eléctrico. Además, permite desplazar el uso de materias primas industriales o fuentes de energía de origen fósil por materia prima renovable, abriendo una nueva ruta tecnológica para la electrificación del transporte y la movilidad sostenible.

I.I. EL CONTEXTO DE LA UNIÓN EUROPEA

Las políticas y objetivos están alineados con las acciones previstas en el contexto europeo. De entre estas acciones, destaca la inclusión del hidrógeno renovable en la Directiva 2018/2001, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, y la *Iniciativa del Hidrógeno*, lanzada en Linz en 2018, consistente en una declaración en la que los Estados miembros de la Unión Europea, la Comisión Europea, y otros países y organizaciones, destacan el poder de las tecnologías de hidrógeno sostenible para la descarbonización de múltiples sectores de la economía, la seguridad de suministro en el largo plazo y la competitividad económica europea.

Asimismo, el **Pacto Verde Europeo** (*European Green Deal*) incluye en su previsión de desarrollo la aprobación de varias estrategias y mecanismos de financiación para la promoción y el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno renovable.

Dentro de las políticas a desarrollar en el marco del Pacto Verde Europeo, la **Estrategia Europea del Hidrógeno** (*EU Hydrogen Strategy*), tiene por objeto establecer las pautas necesarias para desarrollar el papel del hidrógeno limpio en la reducción de emisiones de la economía de la UE de una manera eficiente. Para ello, la estrategia aborda los principales campos de actuación a considerar, en concreto inversiones, marco regulatorio, nuevo liderazgo de mercados, I+D en tecnologías y mercados, red de infraestructuras y la cooperación con terceros países.

La Estrategia Europea del Hidrógeno erige el hidrógeno como elemento esencial para respaldar el compromiso de la UE de alcanzar la neutralidad de carbono en 2050 y para respaldar el esfuerzo global para implementar el Acuerdo de París.

Asimismo, indica que el ecosistema del hidrógeno en Europa es probable que se desarrolle a través de una trayectoria gradual, a diferentes velocidades en los diferentes sectores y posiblemente en las distintas regiones, requiriendo, por tanto, múltiples soluciones políticas.

Para garantizar el avance de las tecnologías del hidrógeno renovable, la Estrategia establece tres horizontes temporales (2024, 2030 y 2050) para los que determina una sucesión de hitos a alcanzar:

- ▶ **Primera fase 2020-2024: Instalación de al menos 6 GW de electrolizadores en la UE y la producción de hasta 1 millón de toneladas de hidrógeno renovable**, para descarbonizar la producción de hidrógeno existente, por ejemplo, en el sector químico. Se facilitará el consumo del hidrógeno renovable en nuevas aplicaciones de uso final, como por ejemplo en procesos industriales y en el transporte pesado.

Los electrolizadores principalmente se instalarán junto a los centros de demanda existentes en refinerías, plantas de acero y complejos químicos. Lo ideal sería que se alimentaran directamente de fuentes locales de electricidad

renovable. Adicionalmente, se necesitarán hidrogeneras para el repostaje de los autobuses eléctricos de pilas de combustible alimentadas con hidrógeno y en una etapa posterior de camiones eléctricos de pila de combustible. Por lo tanto, también se necesitarán electrolizadores para suministrar localmente un número creciente de estaciones de repostaje de hidrógeno.

- **Segunda fase 2025-2030:** El hidrógeno debe convertirse en una parte intrínseca de un sistema energético integrado con el objetivo estratégico de instalar al menos **40 GW de electrolizadores para 2030 y la producción de hasta 10 millones de toneladas de hidrógeno renovable en la UE.**

Se espera que el hidrógeno renovable sea gradualmente competitivo en precio con otras formas de producción de hidrógeno, pero se necesitarán políticas específicas de la demanda para que la demanda industrial incluya gradualmente nuevas aplicaciones, incluidas la fabricación de acero, camiones, ferrocarriles y algunas aplicaciones de transporte marítimo, y otros modos de transporte. El hidrógeno renovable comenzará a desempeñar un papel en el equilibrio y en la flexibilización de un sistema eléctrico basado en energías renovables al transformar la electricidad en hidrógeno cuando la electricidad renovable es abundante y barata. El hidrógeno también se utilizará para el almacenamiento diario o estacional, como respaldo y "buffer", mejorando la seguridad del suministro a medio plazo.

- **Tercera fase 2030-2050:** Las tecnologías de hidrógeno renovable deberían alcanzar la madurez y desplegarse a gran escala para llegar a todos los sectores difíciles de descarbonizar donde otras alternativas podrían no ser factibles o tener mayores costes.

En esta fase, la producción de electricidad renovable necesita aumentar masivamente, ya que alrededor de una cuarta parte de la electricidad renovable podría usarse para la producción de hidrógeno renovable en 2050.

Adicionalmente, el hidrógeno y los combustibles sintéticos derivados del hidrógeno renovable podrían penetrar en gran medida en una gama más amplia de sectores de la economía, desde la aviación y el transporte marítimo hasta el sector industrial y de la edificación difíciles de descarbonizar. El biogás sostenible también puede desempeñar un papel en la sustitución del gas natural en las instalaciones de producción de hidrógeno con captura y almacenamiento de carbono para crear emisiones negativas, con la condición de que se evite la fuga de metano y solo de acuerdo con los objetivos y principios de biodiversidad establecidos en la Estrategia de Biodiversidad de la UE 2030.

I.2. EL CONTEXTO NACIONAL

En el ámbito nacional, el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)** destina su medida 1.8 al fomento de los gases renovables. En ella se hace referencia a la existencia de diferentes tipos de gases renovables como, principalmente pero no exclusivamente, el biogás, el biometano y el hidrógeno de origen renovable (tanto por el recurso utilizado como por la energía empleada en el proceso de obtención). La medida establece que se fomentará, mediante la aprobación de planes específicos, la penetración del gas renovable, incluyendo el biogás, el biometano, el hidrógeno renovable y otros. Adicionalmente, se menciona el papel del hidrógeno en la gestión de los vertidos renovables del sistema eléctrico, medida 1.2 Gestión de demanda, almacenamiento y flexibilidad. Asimismo, la medida 2.4 de impulso al vehículo eléctrico, incluye en esta categoría el fomento al vehículo de pila de combustible.

Asimismo, el **proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética**, remitido por el Consejo de Ministros a las Cortes el 19 de mayo de 2020, dispone que el Gobierno fomentará, mediante la aprobación de planes específicos, la penetración de los gases renovables, incluyendo el biogás, el biometano y el hidrógeno renovable entre otros.

Mientras que el PNIEC establece objetivos para el periodo 2021-2030, la **Estrategia a Largo Plazo para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra en 2050**, traza el camino para alcanzar el objetivo de neutralidad climática en el año 2050, mediante el incremento de las absorciones por sumideros que permitirán reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, al menos, un 90% en 2050 respecto al año de referencia 1990. Para ello, serán necesarias transformaciones profundas de la estructura del sistema energético, entre las cuales destacan el almacenamiento de energía eléctrica y la integración sectorial inteligente.

Como consecuencia de todo lo anterior, se presenta esta Hoja de Ruta con objeto de identificar las prioridades y recursos necesarios, así como los principales retos en el desarrollo del hidrógeno renovable y las posibles medidas para superarlos, permitiendo el despliegue de este vector energético en España y posicionar a nuestro país como un referente tecnológico a futuro, teniendo en especial consideración su potencial para desempeñar un papel relevante en el almacenamiento de energía y la descarbonización de distintos sectores de la economía, particularmente aquellos que presentan las mayores dificultades para una descarbonización plena por otras vías. Asimismo, es reseñable la contribución de la Hoja de Ruta al desarrollo de la Estrategia Nacional frente al Reto Demográfico, impulsando la aparición de nuevos núcleos de producción energética que contribuyan a evitar la despoblación rural y a conseguir los objetivos frente al reto demográfico.

El hidrógeno no es una fuente de energía primaria sino un vector energético, esto es, un producto que requiere de una aportación de energía para ser obtenido y que cuenta con la particularidad de ser capaz de almacenar energía para, posteriormente, ser liberada de forma gradual cuando sea requerida.

Atendiendo a la materia prima necesaria y a las emisiones de CO₂ generadas para su obtención, el hidrógeno es generalmente clasificado en los siguientes tipos¹:

- ▶ **Hidrógeno renovable o hidrógeno verde:** hidrógeno generado a partir de electricidad renovable, utilizando como materia prima el agua, mediante un proceso de electrólisis. Así mismo, el hidrógeno obtenido mediante el reformado del biogás o la conversión bioquímica de la biomasa, siempre que se cumplan los requisitos de sostenibilidad establecidos, tendrá carácter renovable.
- ▶ **Hidrógeno azul:** hidrógeno obtenido de forma similar al hidrógeno gris, pero al que se le aplican técnicas de captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS: *Carbon Capture, Utilization and Storage*) lo que permite reducir hasta en un 95% las emisiones de CO₂ generadas durante el proceso.
- ▶ **Hidrógeno gris:** hidrógeno producido a partir de gas natural u otros hidrocarburos ligeros como metano o gases licuados de petróleo mediante procesos de reformado. Actualmente, el 99% del hidrógeno consumido en España es de este tipo.

Además de los anteriores, existen otros tipos con un impacto medioambiental muy diverso, como el hidrógeno negro o marrón cuya materia prima es el carbón, la energía nuclear o la electricidad de la red, no estando incluidos en la clasificación anterior por ser difícil cuantificar el impacto ambiental de su producción y consumo.

La presente Hoja de Ruta se centra en el desarrollo del hidrógeno renovable, con miras a posicionar a España como referente tecnológico en producción y aprovechamiento del hidrógeno renovable, y crear cadenas de valor innovadoras, que contribuyendo además a los siguientes objetivos:

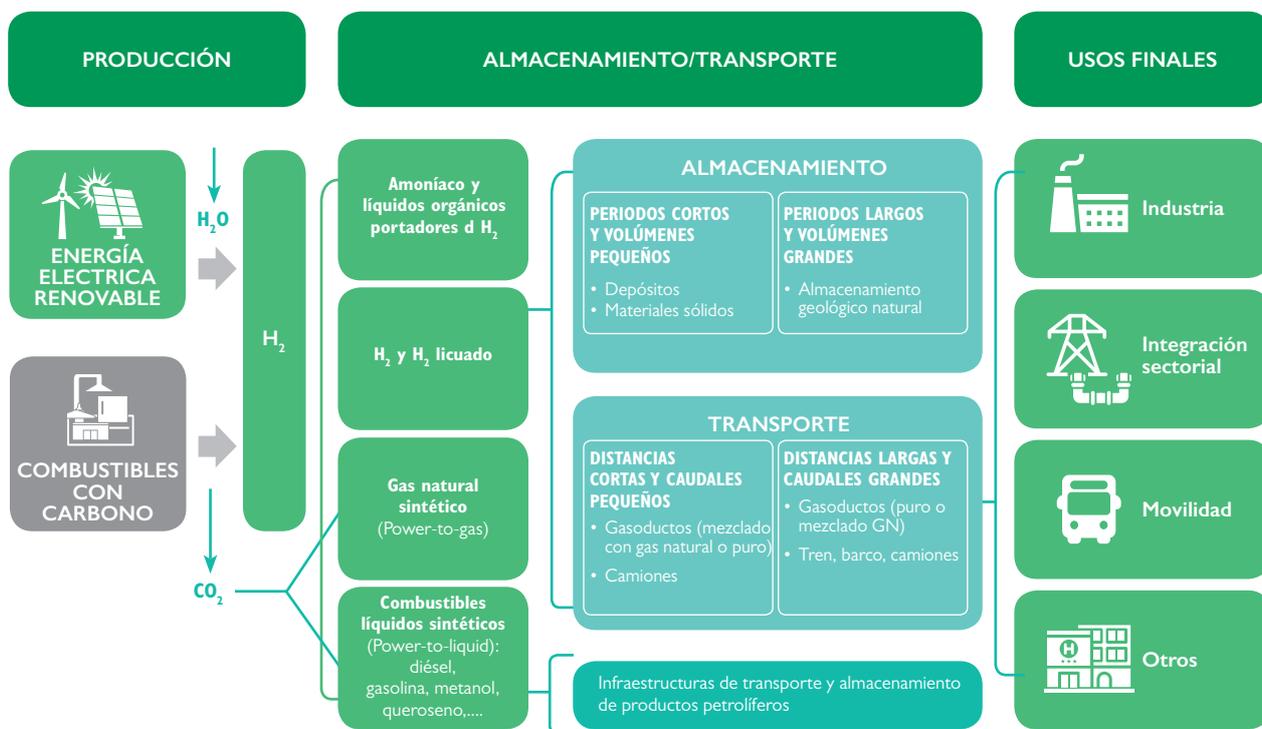
- ▶ **Reducir las emisiones contaminantes locales y los gases de efecto invernadero generados durante el ciclo de producción;**
- ▶ **Aprovechar la energía renovable excedentaria generada en las horas de menor consumo eléctrico al permitir la gestionabilidad y la continuidad en el suministro renovable mediante su capacidad para el almacenamiento de energía;**
- ▶ **Ampliar la descarbonización y la energía renovable a sectores donde la electrificación no es viable o rentable.**

Actualmente, el consumo de hidrógeno en España se sitúa en torno a las 500.000 t/año, mayoritariamente hidrógeno gris, utilizado como materia prima principalmente en refinerías (en torno al 70%) y en fabricantes de productos químicos (25%), correspondiendo el consumo residual restante a sectores como el metalúrgico. En muchos casos, la producción se realiza directamente en la propia planta de consumo a través de instalaciones de reformado con vapor de gas natural.

¹ Informe de la Agencia Internacional de la Energía. The Future of Hydrogen. Junio 2019

En cuanto a las etapas de la cadena de valor del hidrógeno, se resumen en el esquema de la Figura 1, cuyos aspectos se detallan en los apartados de la presente sección:

Figura 1. Etapas de la cadena de valor del hidrógeno.



2.1. PRODUCCIÓN

Considerando la clasificación anterior, se pueden distinguir varias tecnologías de obtención de hidrógeno en función de la materia prima utilizada:

► Hidrógeno a partir de electricidad renovable

► **Electrólisis:** La tecnología de electrólisis consiste en la disociación de la molécula de agua en oxígeno e hidrógeno en estado gaseoso por medio de una corriente eléctrica continua, suministrada por una fuente de alimentación conectada a dos electrodos, en cuya superficie se produce la ruptura de la molécula del agua. Para la aplicación de esta tecnología, existen varios tipos de electrolizadores, entre los que destacan los siguientes:

- **Electrolizadores alcalinos:** El electrolito donde se produce la conducción de los iones es una disolución alcalina, generalmente de hidróxido de potasio (KOH). Son los más comunes en la actualidad, al ser los de mayor rentabilidad económica y madurez tecnológica. Es una tecnología con una baja densidad de corriente, lo que implica menor cantidad de hidrógeno por volumen de equipo; o que la producción de hidrógeno está limitada a un rango de operación del 20-100% del funcionamiento nominal, debido a que los gases generados en ánodo y cátodo pueden sufrir difusión a través del diafragma.

- **Electrolizadores de Proton Exchange Membrane (PEM):** En este caso, el electrolito es un polímero sólido conductor de protones, reduciendo los problemas de corrosión del anterior a nivel de sistema, aunque deben hacerse frente a otros problemas de corrosión, que afectan a los componentes individuales del electrolizador. Además, se requiere el uso de metales preciosos, lo que implica costes superiores, aunque pueden trabajar a mayores densidades de corriente y permiten acoplarse fácilmente a sistemas fluctuantes, como las energías renovables.
- **Electrolizadores de Anion Exchange Membrane (AEM):** Este tipo de electrolizadores es una variante de los electrolizadores alcalinos, pero utilizando como electrolito una membrana de intercambio aniónico (equivalencia con PEM) de tipo aniónico. Este tipo de tecnología es más económica que los electrolizadores PEM, ya que sobre la membrana no se requiere de metales preciosos como catalizadores de metales no nobles, siendo la electrólisis AEM de bajo coste y altamente estable para la producción de hidrógeno. No obstante, esta tecnología se encuentra en fase de investigación.
- **Electrolizadores de óxido sólido (SOEC):** Es la tecnología menos desarrollada. El electrolito está elaborado con materiales cerámicos, lo que permite la reducción en sus costes de fabricación, y cuentan con un alto grado de eficiencia energética, aunque debe aportarse para ello temperaturas superiores a los 700°C. A diferencia de los anteriores, permiten convertir el hidrógeno generado en electricidad nuevamente si se emplean dispositivos reversibles, aportando servicios de equilibrio a la red.

La comparativa de las características técnicas y costes entre los principales tipos de electrolizadores, permite identificar la alternativa de uso más adecuada en función del fin al que se dirigen.

Figura 2. Características tecnoeconómicas de diferentes tecnologías de electrolizadores. Fuente: The International Energy Agency. The Future of Hydrogen, June 2019

	Electrolizador alcalino			Electrolizador PEM			Electrolizador SOEC		
	Hoy	2030	Largo plazo	Hoy	2030	Largo plazo	Hoy	2030	Largo plazo
Eficiencia eléctrica (% PCI)	63-70	65-71	70-80	56-60	63-68	67-74	74-81	77-84	77-90
Presión de operación (bar)	1-30			30-80			1		
Temperatura de operación (°C)	60-80			50-80			650 1 000		
Vida media del stack (horas de funcionamiento)	60 000 90 000	90 000 100 000	100 000 150 000	30 000 90 000	60 000 90 000	100 000 150 000	10 000 30 000	40 000 60 000	75 000 100 00
Rango de carga (% relativo a carga nominal)	10 -110			0-160			20-100		
Superficie ocupada (m ² /kW _e)	0.095			0.048					
CAPEX (\$/kW _e)	500 1400	400 850	200 700	1 100 1 800	650 1 500	200 900	2 800 5 600	800 2 800	500 1 000

▶ **Otros métodos:** Existen otros procesos que permiten la generación de hidrógeno verde a partir de la disociación directa de una molécula de agua, como la termólisis, consistente en la descomposición del agua empleando energía solar de concentración, si bien estos métodos aún se hallan en un estado bajo de madurez tecnológica, por lo que se recurre a ciclos termoquímicos que permiten reducir la temperatura de operación necesaria para estos procesos. Otros métodos, como los fotoelectroquímicos, pueden aprovechar la energía contenida en la radiación solar para iniciar la disociación del agua.

▶ **Hidrógeno a partir de gas natural o hidrógeno a partir de biogás**

▶ **Reformado con vapor o *Steam methane reforming* (SMR):** La tecnología de reformado con vapor se desarrolla en un reactor (reformador), donde reacciona vapor a alta temperatura y presión con los hidrocarburos en presencia de un catalizador de base metálica, y se produce un gas de síntesis (hidrógeno y monóxido de carbono). Posteriormente suele haber dos etapas de WGS para obtener más H₂ (y principalmente CO₂) y una etapa final de purificación de H₂.

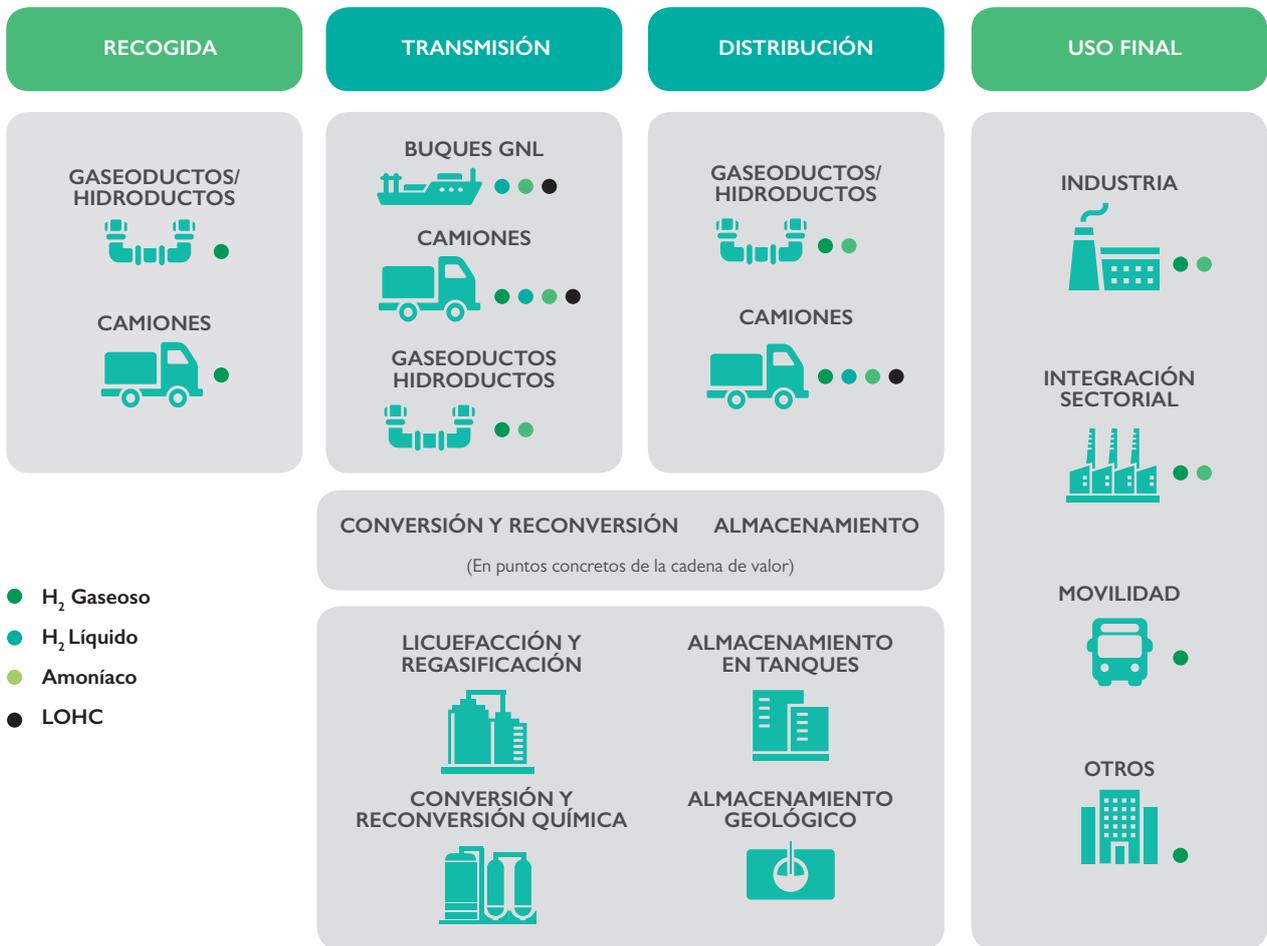
▶ **Oxidación parcial o *Partial oxidation* (POX):** En la tecnología de oxidación parcial, el hidrocarburo sufre una combustión incompleta, es decir reacciona con oxígeno con una proporción menor de la estequiométrica (con defecto de oxígeno) dentro de un reactor (reformador) a temperaturas muy elevadas (1.300°C-1.500°C), obteniendo gas de síntesis. Es un proceso más rápido, pero menos eficiente que el anterior.

▶ **Reformado autotérmico o *Autothermal reforming* (ATR):** Este proceso es una combinación de las tecnologías SMR y POX. En este caso, se añade una corriente de vapor al proceso de oxidación parcial, generando un proceso similar al SMR. La principal diferencia entre el ATR y el SMR es que este último sólo usa el oxígeno como fuente de calor para crear vapor, mientras que el ATR quema directamente oxígeno. La desventaja de ese tipo de reformado es que ofrece menores niveles de eficiencia que los procesos SMR.

2.2. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

El hidrógeno resultante de los procesos anteriores, puede presentarse en varios estados. Para determinar cuál es la opción óptima para su transporte y almacenamiento, deben tenerse en cuenta diversos factores, tales como el caudal producido y caudal de consumo en cada punto (Nm³/h), distancia desde planta de producción hasta punto o puntos de consumo, complementariedad de usos finales, idoneidad para el acondicionamiento final y uso en los diferentes tipos de consumos. En función de estos factores, las alternativas disponibles para el hidrógeno obtenido son las siguientes:

Figura 3. Logística del Hidrógeno



- **Portadores de hidrógeno como amoniaco o líquidos orgánicos (LOHC):** el hidrógeno puede transformarse en sustancias líquidas fácilmente transportables empleando las actuales redes de suministro, tales como el metanol, el octano, el amoniaco o los derivados amónicos y los líquidos orgánicos como el metilciclohexano (MCH) o el 12-H N-etilcarbazol (NEC), entre otros. De entre ellas, destaca el amoniaco, al no contener carbono en su molécula y contar con una infraestructura propia desarrollada.

► **Hidrógeno en estado gaseoso:** El hidrógeno es un gas con muy baja densidad, lo que encarece su almacenamiento a gran escala y su transporte a largas distancias. Sin embargo, esta misma propiedad facilita su almacenamiento a presión en forma de hidrógeno comprimido, por ejemplo para su uso en movilidad. No obstante, el hidrógeno puede transportarse en estado gaseoso a través de gasoductos dedicados (hidroductos).

Asimismo, puede ser inyectado en la red gasista una vez realizados los procesos adicionales necesarios (odorización, control de calidad, medición del volumen inyectado...). No obstante, la mezcla o *blending* implicaría la pérdida del valor intrínseco del hidrógeno renovable en la mezcla y, además, presenta dificultades técnicas para una posterior separación de ambos gases en el punto de consumo, cuando esto sea necesario.

► **Hidrógeno licuado:** de forma similar al gas natural licuado (GNL), el hidrógeno puede almacenarse en estado líquido. Esta alternativa es recomendable para almacenar grandes cantidades de hidrógeno; no obstante, si el periodo de almacenamiento va a ser prolongado en el tiempo, son recomendables otras opciones, ya que ésta requiere un aporte energético para mantener el hidrógeno en estado líquido.

► **Hidrógeno combinado:** puede ser utilizado para dar lugar a combustibles con propiedades similares a los combustibles fósiles:

- ▷ Como base de la producción de metano sintético junto con CO₂ o biomasa. Esta opción también permite la utilización de las infraestructuras de la red gasista para su almacenamiento y transporte.
- ▷ Como base para la producción de combustible líquidos sintéticos que en función del origen de su materia prima pudieran ser considerados renovables (como diésel, queroseno o metanol sintéticos).

El grado de madurez de las opciones anteriores y la aplicación a la que se destine el hidrógeno producido, así como del tiempo que transcurra desde su producción hasta su consumo y la localización de dicho consumo son factores condicionantes en la elección de la alternativa óptima para su almacenamiento y transporte.

Figura 4. Madurez tecnológica. Fuente: The International Energy Agency. The Future of Hydrogen, June 2019

		Hidrógeno líquido	Amoniaco	LOHC (MCH)
Proceso y madurez tecnológica	Conversión	Pequeña escala: Alto Gran escala: Bajo	Alto	Medio
	Almacenamiento depósitos	Alto	Alto	Alto
	Transporte	Barco: Bajo Gasoducto/Hidroducto: Alto Camión: Alto	Barco: Bajo Gasoducto/Hidroducto: Alto Camión: Alto	Barco: Bajo Gasoducto/Hidroducto: Alto Camión: Alto
	Reconversión	Alto	Medio	Medio
	Integración en la cadena de suministro	Medio/Alto	Alto	Medio

En relación con el **almacenamiento de hidrógeno a pequeña escala para su utilización en el corto plazo**, las posibilidades más plausibles considerando su grado actual de desarrollo y gestionabilidad son las siguientes:

- ▶ **Depósitos a altas presiones:** para su almacenamiento, el hidrógeno en estado gaseoso debe ser mantenido a presiones dentro de los vehículos de 350 o 700 bar, para su transporte y almacenamiento en hidrogeneras que emplean rangos desde 200 a 1.000 bares, para lo que se requiere el uso de materiales resistentes tales como el acero o los materiales compuestos. El almacenamiento mediante cilindros de compuestos más ligeros y resistentes permiten alcanzar capacidades de transporte por carretera hasta 1.579 kg. La principal limitación de estos depósitos es su volumen, puesto que la densidad energética por unidad de volumen del hidrógeno es inferior a la de otros combustibles.

No obstante, se encuentra en estudio la posibilidad de instalar tanques subterráneos en grandes núcleos poblacionales, en los que se puedan alcanzar presiones de hasta 800 bar² y así permitan una mayor contenido de hidrógeno almacenado.

- ▶ **Materiales sólidos:** existen diversos metales y aleaciones que en presencia de hidrógeno forman hidruros metálicos o químicos, tales como hierro, níquel, cromo, litio o magnesio. Esta propiedad les permite almacenar más hidrógeno por unidad de volumen. La adecuación del compuesto para absorber y liberar hidrógeno depende de parámetros como la presión y temperatura de carga/descarga o la rapidez de esos procesos.

Esta tecnología se encuentra desarrollada, teniendo como principal dificultad que son productos cuyo almacenamiento resulta más pesado que el del hidrógeno puro.

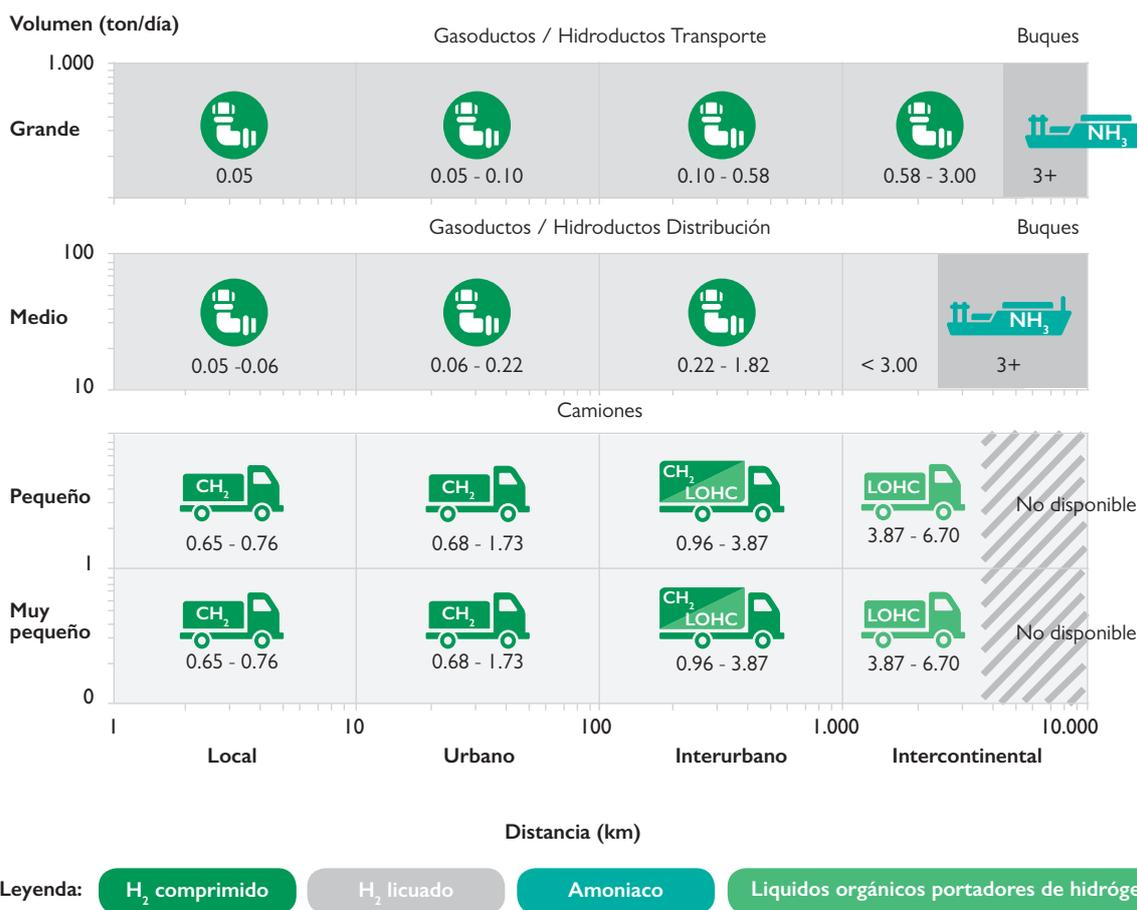
Por su parte, cuando los volúmenes de hidrógeno generado son tan elevados que su **almacenamiento** en depósitos resulta inviable **durante un periodo prolongado**, se puede hacer uso de otros métodos como los almacenamientos geológicos naturales. Las cavernas salinas, los acuíferos y los depósitos agotados de gas natural o de petróleo son ejemplos de las posibilidades para llevar a cabo este almacenamiento a largo plazo.

Actualmente, estos recursos son utilizados para el almacenamiento de gas natural, pero se encuentran en desarrollo proyectos que permitan evaluar la viabilidad de su uso para almacenar hidrógeno en España, debido a su alta eficiencia y bajos costes operativos. Sin embargo, la disponibilidad y distribución geográfica, así como los requisitos de presión mínima de mantenimiento restringen su uso presente, debiendo centrarse el esfuerzo de investigación en asegurar que su potencial utilización en el largo plazo se realice de forma completamente segura para las personas y el medio ambiente.

En relación con el **transporte**, además de los factores mencionados anteriormente a tener en cuenta para la elección del método de almacenamiento más apropiado, debe considerarse si es más apropiado transportar el hidrógeno renovable en estado gaseoso, líquido o mediante líquidos portadores. A este respecto, atendiendo a estos criterios, se presenta a efectos orientativos un cuadro que identifica el medio de transporte más recomendable en función de la distancia y el volumen a transportar.

² Informe de la Agencia Internacional de la Energía. The Future of Hydrogen. Junio 2019

Figura 5. Costes de transporte de Hidrógeno en función de la distancia recorrida y volumen transportado (\$/kg). Fuente: Bloomberg NEF. Hydrogen Economy Outlook, March 30, 2020



De acuerdo con lo anterior, para el transporte del hidrógeno líquido, se pueden utilizar los depósitos descritos, que pueden tener distintas propiedades en función del vehículo, disponiendo de las siguientes opciones:

- **Transporte por carretera:** El transporte por carretera se realiza en camiones cisterna de hidrógeno líquido o hidrógeno comprimido. Los camiones cisterna pueden transportar 360 kg para hidrógeno comprimido y 4.300 kg para hidrógeno líquido; mientras, la distribución en botellas aporta flexibilidad, permitiendo el suministro en distintas purezas y cantidades.
- **Transporte por ferrocarril:** De igual forma que los camiones cisterna, se utilizan cisternas de ferrocarril para el transporte de hidrógeno, que son más voluminosas que en el caso anterior, alcanzando capacidades entre 2.900-9.100 kg de hidrógeno.
- **Transporte marítimo:** Los tanques utilizados en los buques de carga para el transporte marítimo tienen una capacidad de unas 70 toneladas de hidrógeno, por lo que se utilizan para trasladar grandes cantidades a puntos de consumo distantes.

Por otro lado, el hidrógeno gaseoso puede ser transportado haciendo uso de las actuales infraestructuras, tanto las propias del sector gasista, mediante la inyección de hidrógeno renovable, como las asociadas a líquidos portadores como el amoníaco. Estas alternativas favorecen un mayor aprovechamiento de las instalaciones actuales existentes, al tiempo que permiten actuar a costes de operación más bajos. No obstante, presentan ciertas restricciones, como la adaptación de los criterios para la inyección del hidrógeno renovable.

Adicionalmente, existe la posibilidad de desarrollar una red de tuberías para el transporte de hidrógeno o hidroductos, que deberán ser más voluminosas que las infraestructuras gasistas. Esta opción implica grandes inversiones, por lo que su viabilidad depende del grado de crecimiento de la demanda nacional y europea de hidrógeno, así como de las inversiones para el fomento de esta tecnología, incluida la I+D+i. En la actualidad, las escasas redes dedicadas son de uso interno, operadas por productores industriales de hidrógeno y se utilizan principalmente para su transporte y entrega a la industria química y refinerías, principales consumidores de hidrógeno.

En términos generales, los costes de transporte y almacenamiento pueden llegar a suponer una parte importante del coste de la energía y por tanto afectar a la competitividad del hidrógeno frente a otras fuentes de energía.

2.3. USOS FINALES

La última etapa de la cadena de valor serían los usos finales^{3 4} del hidrógeno renovable. Estos son muy diversos, ya que dependen en gran medida de si esta utilización se hace directamente en forma de hidrógeno, como portador energético, o en un producto que utilizará como materia prima este hidrógeno. En caso de ceñirse al uso de hidrógeno en su forma natural se puede usar directamente como combustible, vector energético, o como materia prima en la industria.

En concreto, las aplicaciones en las que se puede utilizar el hidrógeno renovable en sustitución de recursos fósiles o más contaminantes se agrupan en los siguientes sectores:

Industria

En España, se consumen alrededor de 500.000 toneladas de hidrógeno anualmente, principalmente de tipología gris. La práctica totalidad de este consumo se produce en las plantas de fabricación de productos industriales (amoníaco) y en las refinerías (mayoritariamente las situadas en Huelva, Cartagena, Puertollano y Tarragona). Este hecho refleja el potencial de descarbonización en la industria para el uso del hidrógeno renovable, mediante la sustitución del uso de hidrógeno gris por alternativas más ecológicas.

Unido a lo anterior, las necesidades energéticas de este sector de actividad dificultan el uso de energías de origen renovable tales como la electricidad. No obstante, suponen una oportunidad para la incorporación del hidrógeno renovable, dada su elevada capacidad calorífica combinada con su reducido nivel de emisiones contaminantes. En este sentido, destacan tres campos de aplicación:

- **Industria de refino:** Las principales aplicaciones del hidrógeno en las refinerías son las dedicadas a procesos de eliminación de impurezas del petróleo crudo (hidrotratamiento) o de mejora de los crudos más pesados (hidrocraqueo), en sus usos como materia prima.

³ Global Renewables Outlook. Agencia internacional de las Energías Renovables (IRENA). 2020

⁴ Informe de la Agencia Internacional de la Energía. The Future of Hydrogen. Junio 2019

- **Industria química:** Dada su composición molecular, el hidrógeno es utilizado como materia prima para la elaboración de productos químicos, especialmente amoníaco y metanol, que requieren de elevadas cantidades del mismo, y que a su vez sirven como fuente para la producción de otros compuestos químicos tales como fertilizantes, biocombustibles o plásticos.
- **Industria metalúrgica:** Para la elaboración de ciertas aleaciones tales como el acero, se necesitan grandes aportes energéticos, y se podría emplear el hidrógeno renovable como fuente energética para alcanzar las temperaturas requeridas en su proceso de producción (altos hornos). También puede ser utilizado como agente reductor para la generación de aleaciones, desplazando el uso de carbón.

Además de su uso como materia prima, el hidrógeno puede ser utilizado por la industria como recurso energético en numerosos procesos, como la gasificación o la fusión, gracias a su contenido energético superior al de los combustibles fósiles convencionales.

Para las aplicaciones anteriores, actualmente se utiliza el hidrógeno gris obtenido de los procesos productivos particulares de cada industria. No obstante, este hidrógeno puede ser sustituido por hidrógeno generado a través de métodos más sostenibles.

Integración sectorial

La condición del hidrógeno como vector energético y su alta versatilidad le otorga la aptitud para situarse como una herramienta clave para la integración de los diferentes sectores energéticos, lo que favorecerá una mayor flexibilidad, disponibilidad y seguridad energéticas, así como una mayor eficiencia y rentabilidad en la transición energética, contribuyendo a la descarbonización de la economía.

En concreto, el rol que el hidrógeno verde debe adoptar en los sectores antes mencionados para permitir su interacción se resume en los siguientes hitos:

- **Almacenamiento energético:** el almacenamiento de energía a corto y largo plazo puede materializarse mediante la utilización del hidrógeno renovable como vector energético, facilitando el uso de las infraestructuras existentes. En este sentido, la Estrategia de Almacenamiento y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima reconocen el papel de las aplicaciones del hidrógeno renovable en pilas de combustible o como elemento intermedio en tecnologías *Power to X*.
- **Sector eléctrico:** el hidrógeno verde permite un mayor grado de gestionabilidad de la red eléctrica absorbiendo los vertidos de la electricidad renovable no consumida en el momento en que esta se produce. El hidrógeno ofrece una gran amplitud al operador del sistema eléctrico tanto para ofrecer resiliencia, como para ofrecer flexibilidad a gran escala.
- **Sector gasista:** el hidrógeno renovable ofrece la posibilidad de ser incorporado gradualmente en la red gasista, permitiendo hacer uso de sus infraestructuras, y aumentando la integración de los sectores energéticos. No obstante, la mezcla o *blending* implica la pérdida del valor intrínseco del hidrógeno renovable en la mezcla y, además, presenta dificultades técnicas para una posterior separación de ambos gases en el punto de consumo.
- **Economía circular:** el hidrógeno puede ser producido a partir de biogás renovable, biomasa o residuos mediante la tecnología de gasificación, favoreciendo la utilización de residuos procedentes del sector agrario o de residuos industriales, y la descarbonización progresiva del sector gasista.

Movilidad

La aplicación del hidrógeno renovable en el sector transporte se materializa en el uso de pilas de combustible de hidrógeno (FC), que son dispositivos en los que se realiza un proceso inverso al llevado a cabo por los electrolizadores, es decir, utilizan el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables para generar electricidad, que aporta la energía eléctrica para movilizar los vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV sus siglas en inglés). Estas pilas de combustible suelen instalarse en combinación con baterías eléctricas que se auto recargan durante el funcionamiento del vehículo bien durante el proceso de frenada regenerativa o bien a través de la propia pila la cual puede producir energía para su recarga y mantenerla en los niveles óptimos de carga.

La utilización de pilas de combustible combinadas con baterías en vehículos (FCHV), aporta una notable ventaja competitiva sobre los vehículos eléctricos de baterías eléctricas en segmentos de vehículos pesados, permitiendo reducir los tiempos de recarga e incrementar la distancia recorrida por el vehículo antes del repostaje, al tiempo que se reduce el peso del vehículo al disminuir el tamaño de las baterías. No obstante, el rendimiento energético de estos vehículos es inferior al de los vehículos eléctricos de baterías, puesto que debe considerarse la energía consumida para obtener el hidrógeno renovable, así como la necesaria para comprimirlo y almacenarlo en los tanques de los vehículos.

Actualmente, la tecnología de las pilas de combustible se encuentra totalmente desarrollada, enfocando el estudio a los medios en los que resulta más recomendable su aplicación. Se detalla el estado actual para cada una de las opciones en el sector de la movilidad:

- ▶ **Transporte por carretera:** Esta modalidad incluye tanto los vehículos ligeros (turismos y furgonetas), como los vehículos pesados (camiones y autobuses).
 - ▶ En 2019, el parque mundial de vehículos ligeros de pila de combustible de hidrógeno ascendía a 12.000 unidades operativas, destacando los volúmenes existentes en Japón, Canadá y Alemania. En el caso de España, de acuerdo con los datos de la Dirección General de Tráfico, existen 10 vehículos pertenecientes a proyectos de demostración realizados desde el ámbito público y privado.
 - ▶ Con respecto a los vehículos pesados, se posiciona como el segmento en el que el uso de hidrógeno renovable como combustible resulta más conveniente. A escala nacional se están llevando a cabo varios programas piloto que analizan la viabilidad de utilizar el hidrógeno renovable en vehículos industriales tales como carretillas elevadoras, así como en autobuses y camiones. Entre ellos destaca la licitación publicada por Transports Metropolitans de Barcelona (TMB) para la compra de 8 autobuses de pila de hidrógeno en 2020.
- ▶ **Transporte ferroviario:** en la actualidad, el sector ferroviario utiliza como principal recurso energético la energía eléctrica, si bien todavía existen vías sin electrificar con trenes propulsado por locomotoras diésel. Es precisamente en este último nicho y, concretamente cuando la electrificación no sea viable, donde las pilas de combustible alimentadas por hidrógeno renovable podrían tener una clara aplicación. En desarrollo de esta alternativa en España, Renfe en colaboración con Enagás y el Centro Nacional del Hidrógeno, ha iniciado un proyecto apoyado por la UE para la realización de pruebas en el túnel de ensayos de la Fundación Barredo en Anes (Siero), dependiente del Principado de Asturias.
- ▶ **Transporte marítimo:** la aplicación del hidrógeno renovable para el transporte marítimo abarca no solo la utilización de pilas de combustible en embarcaciones, sino también en la maquinaria empleada en los puertos y terminales de carga. En relación con las embarcaciones, actualmente, el empleo de pilas de combustible para el transporte marítimo se limita a proyectos de demostración en pequeños buques, pero se espera su análisis de viabilidad en grandes embarcaciones. En España destaca la iniciativa H2Ports, dedicada al desarrollo de un proyecto piloto localizado en el Puerto de Valencia para incorporar el hidrógeno en las operaciones logísticas portuarias

con el objetivo de reducir su impacto ambiental. El proyecto H2Ports ha recibido financiación de la Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU) y cuenta con la participación de la Autoridad Portuaria de Valencia, la Fundación Valenciaport, el Centro Nacional del Hidrógeno, y empresas privadas.

- **Aviación:** en línea con lo que ocurre en el transporte marítimo, en el caso de la aviación se espera que las pilas de combustible constituyan una alternativa como medio de propulsión para aeronaves y para la maquinaria empleada en los aeropuertos y terminales de carga. En la actualidad, solo se han desarrollado proyectos demostrativos para su uso en vuelos no comerciales.

Además, en el sector de la aviación es especialmente relevante la aplicación del hidrógeno renovable para la fabricación de combustibles sintéticos, como el bioqueroseno.

Otros

Con arreglo a los últimos datos publicados por EUROSTAT, en el año 2018 en España en torno al 30% de la energía consumida fue destinada al abastecimiento energético de hogares y del sector terciario. Las fuentes energéticas para abastecer dicha demanda son mayoritariamente el gas natural y la electricidad. Dentro del uso en aplicaciones estacionarias, se incluyen los sistemas de cogeneración y microcogeneración para el sector residencial e industria.

El hidrógeno renovable se posiciona como una de las alternativas para contribuir a la descarbonización del sector doméstico y terciario, gracias a su capacidad de proporcionar un suministro energético flexible, adaptado y continuo.

Actualmente, la aplicación del hidrógeno destinada a usos térmicos solo se expone en forma de proyectos demostrativos.

3. OPORTUNIDADES PARA ESPAÑA

El desarrollo del hidrógeno renovable en España traerá consigo una serie de beneficios ambientales, empresariales, económicos y sociales, entre otros. Algunas de las oportunidades que esta fuente de energía puede aportar a España son:

- ▶ **Eliminar las emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero al medio ambiente** en sectores o procesos difícilmente descarbonizables para alcanzar los objetivos de una economía climáticamente neutra en 2050.
- ▶ **Desarrollar las cadenas de valor de la economía del hidrógeno y posicionar a España como referente tecnológico.** La economía del hidrógeno ha de estar impulsada y apoyada por el desarrollo de la cadena de valor industrial y energética asociada, tales como fabricantes o ensambladores de electrolizadores, fabricantes de pilas de combustible, fabricantes de componentes (electrónica, control, automoción, mecánica), fabricantes de vehículos, astilleros, proveedores de depósitos a presión, aporte de sistemas integrales como hidrogenas o plantas de producción de hidrógeno renovable, así como su gestión, soluciones de almacenamientos a gran escala, equipos para el transporte de hidrógeno, proveedores de servicios de movilidad basados en hidrógeno renovable, etc. A través del fomento de la innovación y del crecimiento de la industria se crean las condiciones propicias para la generación de riqueza y la creación de puestos altamente cualificados en cada etapa de la cadena de valor del hidrógeno renovable.
- ▶ **Permitir la penetración de un mayor porcentaje de energías renovables en el sistema eléctrico, propiciando un mayor grado de gestionabilidad.** La intermitencia en la generación a partir de fuentes de energía renovables, supone un reto en la gestión de un sistema eléctrico cada vez más renovable. El hidrógeno renovable se posiciona como una solución para el almacenamiento de energía a gran escala y de manera estacional, tal y como establece la Estrategia de Almacenamiento. Es importante resaltar que España tiene un gran potencial en el despliegue de las “smart grids” y el hidrógeno puede tener un rol esencial.
- ▶ **Disminuir la dependencia energética nacional y del entorno europeo.** La producción de hidrógeno renovable autóctona permite operar un sistema energético menos dependiente de importaciones de productos energéticos fósiles de otros países y, por tanto, permitirá mejorar la balanza energética. Además, puede actuar como sistema de respaldo de un sistema eléctrico altamente renovable, proporcionando la seguridad de suministro de la energía eléctrica cuando la producción instantánea de energía renovable es escasa.
- ▶ **Convertir a España en una de las potencias europeas de generación de energía renovable** debido a las ventajosas condiciones climáticas y grandes superficies libres para instalación de plantas de producción de energía renovable, ya sea solar o eólica. En este sentido, la Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y las Energías del Mar en España favorece el papel de España como uno de los países europeos con un mayor potencial exportador de energía renovable, incluido el hidrógeno renovable, dando un cambio radical al paradigma actual.
- ▶ **Favorecer la descarbonización de los sistemas energéticos aislados, con especial atención a los territorios insulares.** Dadas las restricciones físicas y de acceso a la energía en estos territorios, el hidrógeno renovable tendrá una función relevante tanto en el almacenamiento temporal de energía eléctrica como en los usos relativos a la movilidad, favoreciendo que los territorios insulares alcancen la categoría de destinos turísticos sostenibles.
- ▶ **Potenciar la I+D+i energética española** como pilar de crecimiento económico sostenible. La investigación, desarrollo e innovación puede potenciar el liderazgo de las empresas e industrias españolas de la economía del hidrógeno tanto tecnológico como en posibles soluciones a la gestión de cualquiera de las etapas de la cadena de valor del hidrógeno renovable descritas. La Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027, incluye entre sus líneas estratégicas de I+D+i nacional la aplicación del hidrógeno renovable en la industria y como recurso para el cambio climático y la descarbonización.

LÍNEAS DE ACCIÓN

4.1 INSTRUMENTOS REGULATORIOS

► Simplificación administrativa y eliminación de barreras regulatorias a la producción de hidrógeno.

Actualmente, la producción de hidrógeno es considerada como una actividad industrial dado que se clasifica como una industria química para la producción de gas inorgánico. Esto implica que la construcción de infraestructuras solo puede realizarse en suelo calificado como industrial, estando estas actividades sometidas a rigurosas evaluaciones de impacto ambiental, independientemente de la fuente empleada para la producción del hidrógeno. Según esto, las medidas a abordar para favorecer dicha producción son:

MEDIDA 1: Modificar la clasificación como actividad industrial de la producción de hidrógeno renovable in situ en las estaciones de servicio.

Distinguir la producción de hidrógeno a partir de procesos industriales de la producción de hidrógeno verde, dado que su impacto ambiental es radicalmente distinta, de acuerdo con el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

MEDIDA 2: Analizar los distintos procedimientos para la tramitación de la operación y ejecución de instalaciones de producción de hidrógeno verde a pequeña escala y evaluar su simplificación sin menoscabar la protección medioambiental y asegurando criterios de sostenibilidad.

MEDIDA 3: Promover el desarrollo de medidas regulatorias que simplifiquen y faciliten el despliegue de líneas directas de electricidad dedicadas a la producción de hidrógeno renovable en el marco de la normativa del sector eléctrico, así como de los hidroductos que transporten hidrógeno renovable en el marco de la normativa del sector de hidrocarburos.

En un primer momento se deberá tener en cuenta, en el despliegue de este tipo de infraestructuras, criterios de proximidad entre los puntos de producción, almacenamiento y suministro de hidrógeno renovable.

Requiere una modificación de la legislación del sectorial, evitando menoscabar la sostenibilidad económica y financiera del sistema eléctrico y del sistema gasista.

► Creación de un sistema de Garantías de Origen (GdO⁵)

Para poder garantizar la utilización de fuentes renovables en la producción de hidrógeno renovable, se requiere la existencia de un mecanismo de Garantías de Origen siendo necesario definir el procedimiento y requisitos, así como el organismo responsable, para la emisión de Garantías de Origen del hidrógeno renovable, con independencia de la ruta de almacenamiento y transporte o su uso final.

⁵ GdO: acreditación, expedida a solicitud del interesado, que asegura que un número determinado de kilowatios-hora de la energía producida por una instalación concreta en un período temporal determinado, han sido generados a partir de fuentes de energía renovables.

MEDIDA 4: En colaboración con las instituciones europeas, establecer un sistema de Garantías de Origen de hidrógeno renovable que permita proporcionar las señales de precio adecuadas a los consumidores.

► **Favorecer la competitividad del hidrógeno renovable**

El coste de producción es una de las principales barreras al desarrollo de los proyectos de la cadena de valor del hidrógeno renovable. Resulta especialmente relevante la identificación de palancas e incentivos que permitan impulsar proyectos piloto y, una vez demostrado su potencial, fomentar e incentivar que la tecnología se desarrolle a escalas mayores para que los costes vayan disminuyendo paulatinamente. Actualmente hay escasez de exenciones fiscales e incentivos económicos/medioambientales que impulsen el desarrollo de proyectos de hidrógeno renovable.

MEDIDA 5: Considerar en el marco de la fiscalidad verde y, en concreto, en los impuestos indirectos, los efectos positivos en el medioambiente del hidrógeno renovable. Asimismo, la fiscalidad deberá incentivar el hidrógeno renovable frente al hidrógeno sobre cuyo origen no exista trazabilidad.

A este respecto, en el marco del Plan de Impulso de la Cadena de Valor de la industria de la Automoción, se ha impulsado una medida sobre la reforma integral de la fiscalidad sobre vehículos en coordinación con las Administraciones Territoriales (Impuesto de Circulación e Impuesto de Matriculación), para introducir una mayor orientación ambiental en la determinación de la tributación.

4.2 INSTRUMENTOS SECTORIALES

► **Monitorización de la producción y consumo de hidrógeno**

Para garantizar el conocimiento del sector del hidrógeno y la trazabilidad de su producción, logística y usos es preciso disponer de un sistema de recogida de datos. Este sistema permitirá monitorizar la evolución del despliegue del hidrógeno renovable y podrá evaluar el grado de éxito de las medidas implantadas para su desarrollo, así como aportar un mayor conocimiento sobre sus usos. Este sistema estará alineado con las necesidades de remisión de información de consumo y producción de hidrógeno a la Comisión Europea y la Agencia Internacional de Energía.

MEDIDA 6: Establecer un sistema estadístico nacional sobre el consumo y producción de hidrógeno en España, diferenciando por tipos de hidrógeno y por sectores de consumo.

► **Impulso a la aplicación del hidrógeno renovable en la industria.**

Actualmente, la aplicación del hidrógeno se concentra en sectores industriales como el refinado de petróleo, la industria del hierro y el acero o la industria química. Estos sectores proporcionan una demanda fiable y favorecen un mayor uso del hidrógeno. Por razones económicas, el aumento del mercado del hidrógeno renovable debe ser selectivo y gradual, fomentándose en aquellos sectores donde no existe opción alternativa a la descarbonización. En base a lo anterior, las actuaciones propuestas se resumen:

MEDIDA 7: Evaluar la viabilidad de establecer objetivos de penetración de hidrógeno renovable para el periodo 2025-2030, siguiendo la senda marcada en la Estrategia Europea del Hidrógeno, en aquellos sectores en los que la electrificación no es la opción más eficiente ni existe una alternativa sostenible que sea viable.

Para la evaluación de la viabilidad de estos objetivos se podrá contar con la participación de representantes del sector industrial y de distintas asociaciones, así como del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Estos objetivos podrían complementarse con la creación de un distintivo “Green Hydrogen for Spain” que podrá ser utilizada comercialmente, salvaguardando su competitividad en los mercados internacionales y diseñando medidas de acompañamiento que faciliten las inversiones necesarias, salvaguardando la competitividad industrial.

MEDIDA 8: Diseñar instrumentos financieros de apoyo a la industria española consumidora intensiva de hidrógeno para la adaptación de sus procesos e infraestructuras al suministro continuo de hidrógeno renovable.

Los actuales instrumentos financieros del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo ofrecen préstamos para la inversión en activos en las líneas de producción, así como para innovación, que incluye también cualquier aspecto de mejora energética, siempre que esté relacionado directamente con el proceso productivo.

MEDIDA 9: Elaborar estrategias de descarbonización a nivel nacional a largo plazo basadas en el hidrógeno renovable en aquellos sectores más difícilmente electrificables. Se basarán en el diálogo específico con cada sector.

MEDIDA 10: Identificar los polos de consumo de hidrógeno en la actualidad, fomentando e incentivando la creación de “valle o clústers de hidrógeno”. Se promoverá la constitución de Mesas del Hidrógeno Industrial junto a comunidades autónomas, administraciones locales, consumidores de hidrógeno y promotores de proyectos de producción de hidrógeno renovable, fomentando el desarrollo de proyectos piloto.

Se ha identificado la conveniencia de crear Mesas del Hidrógeno Industrial en los polos petroquímicos de Huelva, San Roque-Los Barrios, Cartagena, Sagunto, Tarragona, Bilbao, Avilés-Gijón, A Coruña y Puertollano.

► **Impulso a la aplicación del hidrógeno renovable en el transporte.**

Entre las aplicaciones del hidrógeno renovable, se encuentra su uso como combustible para vehículos pesados o en el transporte marítimo y aéreo. La Directiva (UE) 2018/2001 de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (DER II), establece una contribución mínima del 14% de energías renovables en el consumo final de energía en el sector del transporte en 2030. En este sentido, el hidrógeno renovable puede contribuir a la consecución de este objetivo.

MEDIDA 11: Fomentar el consumo de hidrógeno renovable en el sector del transporte a través de la transposición de la DER II.

En particular, se establecerá un marco regulatorio favorable a la producción y consumo de combustibles sintéticos producidos a partir del hidrógeno renovable.

► **Transporte terrestre**

A pesar de la capacidad del hidrógeno renovable para la descarbonización del transporte terrestre, existen ciertas limitaciones como la carencia de homologación en los vehículos pesados o la escasez de incentivos para su compra. Por ello, las medidas se orientan en los citados campos:

MEDIDA 12: Colaborar en los foros internacionales para impulsar el desarrollo de una metodología armonizada para la determinación del consumo en vehículos pesados propulsados por hidrógeno.

MEDIDA 13: Desarrollar planes que establezcan incentivos a la compra de vehículos e implementación de infraestructura (bonificaciones fiscales, cuota de compras mínimas para entidades públicas a través de la adopción de criterios de compra pública innovadora, fomentar la compra de flotas cautivas: policía, bus, taxi, ...).

En particular, se desarrollará un plan específico dedicado a la penetración progresiva de las soluciones basadas en la pila de combustible en el transporte público urbano de viajeros.

En línea con esta medida, en 2019 y 2020, el Plan MOVES I y Plan MOVES II respectivamente, han incentivado la adquisición de vehículos de energías alternativas incluyendo vehículos eléctricos de batería y vehículos eléctricos de pila de combustible alimentados con hidrógeno que, entre otras medidas, permitan una movilidad eficiente y sostenible. El Plan MOVES II, descrito en el Anexo I, está dotado con 100 M€.

Asimismo, como línea de actuación del Plan de Impulso de la Cadena de Valor de la industria de la Automoción, se ha lanzado la medida de renovación del parque de vehículos de la Administración General del Estado con vehículos sin emisiones y la habilitación de uso parcial del superávit de las Entidades Locales para la renovación eficiente de las flotas, principalmente vehículos cero emisiones, dotados ambos con 100 M€.

En ambos casos —flotas de transporte público urbano de viajeros y parque de vehículos de la Administración General del Estado—, como también para otras tecnologías y fuentes de energía alternativas, la transposición —coordinada por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana— de la Directiva (UE) 2019/1161, relativa a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios en favor de la movilidad de bajas emisiones, puede ser un instrumento efectivo y eficaz para fomentar la penetración de la pila de combustible y el hidrógeno en el horizonte 2030 a través de la contratación pública, mediante el establecimiento de objetivos mínimos.

MEDIDA 14: Apoyar a la industria española del automóvil para favorecer la producción de vehículos eléctricos de pila de combustible alimentados con hidrógeno. Esta producción de vehículos eléctricos de pila de combustible alimentados con hidrógeno ejercerá un efecto tractor sobre la industria de equipos y componentes para automoción.

En este sentido, en el marco del Plan de Impulso de la Cadena de Valor de la industria de la Automoción, se ha impulsado la medida de Innovación Industrial en H2 renovable: movilidad sostenible, cuyo objetivo es el aprovechamiento y orientación de las capacidades industriales existentes hacia modos de transporte público (autobús, tranvía y ferrocarril) y privado (personas y mercancías) de hidrógeno renovable. Incluye el desarrollo de nuevas tecnologías y prototipos orientados a nuevos modelos para el mercado doméstico y anticipación a las necesidades de los mercados de exportación. Esta medida está dotada con 25 M€.

MEDIDA 15: Promover los estudios y ensayos de viabilidad de la sustitución de los trenes diésel por trenes de pila de combustible de hidrógeno para su circulación por líneas parcialmente o no electrificadas, en línea con propuesto en la Estrategia Europea del Hidrógeno.

Estos estudios y ensayos podrán incluir tanto la transformación de material móvil existente como la adquisición de nuevo material, estimulando en lo posible el crecimiento de cadenas de valor industrial en España.

MEDIDA 16: Determinar medidas para el desarrollo de una infraestructura nacional ferroviaria de repostaje de hidrógeno.

Entre ellas, incluir su financiación dentro de los futuros Planes MOVES y en convocatorias comunitarias como el mecanismo CEF.

Para la aplicación de las medidas antes citadas en el sector del transporte, es necesario contar con una red de suministro suficiente. En este sentido, actualmente España cuenta con cuatro hidrogeneras, no estando operativas para la venta al público. El marco regulatorio de estas instalaciones se recoge en el Real Decreto 639/2016⁶, de 9 de diciembre, por el que se establece un marco de medidas para la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos, que transpone la Directiva 2014/94/UE⁷ del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2014 relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos.

⁶ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2016-11738>

⁷ <https://www.boe.es/doue/2014/307/L00001-00020.pdf>

De acuerdo con lo anterior, se requiere una legislación específica que defina el diseño, permisos, construcción y operación de hidrogeneras, que contemple la aplicación a la que se destina el hidrógeno renovable suministrado. Con todo ello, las acciones aplicables son:

MEDIDA 17: Desarrollar una legislación específica para hidrogeneras, que concrete los requisitos administrativos y delimite los permisos necesarios para su construcción y gestión.

La modificación del Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11, incluye al hidrógeno entre los gases que se distribuyen en las Estaciones de Servicio. En concreto, la ITC-ICG 05 establece los requisitos técnicos fijados en los reglamentos derivados de la Directiva 2014/94/UE4 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2014 relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos, que se pueden encontrar en la norma ISO 19880-1, mencionada en la citada ITC.

MEDIDA 18: Incluir la implantación de hidrogeneras dentro de las actuaciones subvencionables en los futuros Planes MOVES o similares, con especial énfasis en la construcción de hidrogeneras estratégicas que favorezcan la progresiva penetración del hidrógeno en flotas logísticas.

MEDIDA 19: Equiparar la consideración de las hidrogeneras a las tradicionales estaciones de servicio desde la perspectiva del suelo, de forma que se puedan introducir surtidores de hidrógeno en las estaciones de servicio actuales.

► **Transporte marítimo**

Una rama particular del sector es el transporte marítimo, como combustible para buques. En Europa, se están llevando a cabo proyectos para el desarrollo de buques que utilizan pilas de combustible en combinación con baterías como medio de propulsión y que demuestran la viabilidad y eficiencia de esta tecnología.

En este sentido, las medidas a llevar a cabo serán similares a las aplicables al transporte terrestre:

MEDIDA 20: Crear reglas que clarifiquen y simplifiquen el proceso de homologación y/o certificación de buques con pilas de combustible y cámaras de combustión de hidrógeno para uso marítimo, y unificar las mismas con las normativas europeas en la materia.

MEDIDA 21: Determinar medidas para el desarrollo de una infraestructura nacional portuaria de repostaje de hidrógeno.

Una de ellas, será incluir su financiación dentro de los futuros Planes MOVES, o similares.

MEDIDA 22: Establecer acciones para promover y fomentar el uso de nuevas tecnologías cero emisiones en las costas y puertos nacionales.

Un posible instrumento es el establecimiento —por parte de las Autoridades Portuarias del Sistema Portuario de titularidad estatal— de requisitos ambientales en los pliegos reguladores de servicios y títulos de concesiones o autorizaciones para las naves, flota de vehículos, maquinaria y equipos que operan en el dominio público portuario.

MEDIDA 23: Destinar ayudas de la SGIPYME al sector naval para el impulso de la utilización de la tecnología del hidrógeno en la construcción de buques en nuestro país, en proyectos de I+D+i con la participación de los astilleros.

En España ha participado en la construcción de buques diseñados para el uso del hidrógeno como combustible en Astilleros Gondan (Asturias) para el armador noruego Østensjo Rederi.

► **Transporte aéreo**

En línea con las perspectivas de aplicación del hidrógeno renovable en el sector marítimo, el sector aeronáutico ofrece las mismas alternativas, añadiendo además la posibilidad de utilizar el hidrógeno renovable como materia prima para la producción de biocombustibles de nueva generación:

MEDIDA 24: Fomentar el desarrollo de plantas de producción de queroseno sintético producido a partir de hidrógeno renovable o biocombustibles de nueva generación para descarbonizar el transporte aéreo.

MEDIDA 25: Analizar las condiciones necesarias para el rediseño y modificaciones pertinentes que permitan la utilización de aeronaves que empleen combustibles sintéticos a partir de hidrógeno renovable o biocombustibles de nueva generación.

MEDIDA 26: Establecer requisitos ambientales en los pliegos técnicos que regulan los contratos de los agentes de handling que prestan servicios de asistencia en el lado aire de los aeropuertos.

Un posible instrumento es el establecimiento —por parte de Aena, como principal gestor aeroportuario— de requisitos ambientales en los pliegos técnicos que regulan los contratos de los agentes de handling que prestan servicios de asistencia en el lado aire de los aeropuertos.

► **Integración de los vectores energéticos**

La regulación actual permite una concentración en mezcla al 5% en volumen de hidrógeno procedente de fuentes no convencionales para su inyección en la red gasista. No obstante, se ha demostrado que a volúmenes ligeramente superiores, la inyección del hidrógeno en la red no presenta consecuencias negativas, siendo únicamente necesario adaptar los quemadores y las válvulas para adecuarlas a las características del gas.

Por otra parte, los electrolizadores tienen la capacidad de modificar en muy breves periodos de tiempo la energía absorbida de la red eléctrica, pudiendo participar en servicios de ajuste o como medio para el almacenamiento de energía eléctrica. A pesar de ello, los electrolizadores no están reconocidos como plantas energéticas dedicadas al almacenamiento energético.

A lo anterior se une la falta de regulación, que dificulta en gran medida el desarrollo de estos sistemas. Por lo indicado, las actuaciones a realizar son las siguientes:

MEDIDA 27: Establecer una base legal para las plantas energéticas de **Power to X (P2X)** y las instalaciones de electrólisis.

MEDIDA 28: Clarificar el marco operacional para que los electrolizadores participen en los servicios de ajuste necesarios para garantizar un suministro adecuado del sector eléctrico, así como las bases legales para su participación.

MEDIDA 29: Flexibilizar el uso de hidrógeno verde en motores de plantas de generación y cogeneración, proporcionando una mayor garantía de suministro al sistema eléctrico.

MEDIDA 30: Revisar los aspectos técnicos, regulatorios y de calidad de los gases necesarios para la inyección y el uso de hidrógeno en la red de gas natural, con especial énfasis en el uso de determinadas instalaciones existentes para el transporte y/o almacenamiento dedicado de hidrógeno renovable.

En concreto, es preciso verificar los requisitos de seguridad; los mecanismos de medición, facturación y administración; y los marcos legales y regulatorios correspondientes para permitir una mayor concentración de hidrógeno renovable en las redes gasistas, en línea con lo propuesto en la Estrategia Europea del Hidrógeno⁸.

En este sentido, se fomentará el estudio de los límites de inyección de hidrógeno en las distintas instalaciones del sistema gasista español para detectar las restricciones y establecer umbrales de carácter local.

⁸ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

MEDIDA 31: Evaluar simultáneamente la necesidad de modificar los dispositivos que utilizan gas en la industria y en la generación de electricidad para permitir un funcionamiento seguro con concentraciones mayores de hidrógeno renovable.

MEDIDA 32: Realizar un análisis prospectivo de las necesidades de adecuación de equipos de gas para uso doméstico (calderas, calentadores etc.) para permitir la integración gradual del hidrógeno renovable.

MEDIDA 33: Evaluar conjuntamente de las implicaciones para vehículos de gas natural derivadas del uso de una mezcla enriquecida con H₂ (HGNC).

MEDIDA 34: Analizar la viabilidad de producción de hidrógeno renovable a partir de residuos.

4.3 INSTRUMENTOS TRANSVERSALES

► Campañas informativas y aptitudes profesionales sectoriales

Tradicionalmente, el hidrógeno ha sido entendido como un combustible de difícil manipulación, cuya inestabilidad limitaba su aplicación en los diferentes sectores. Mediante el análisis y el desarrollo de la tecnología, ha quedado demostrado que el hidrógeno se sitúa como uno de los vectores energéticos del futuro por su gran versatilidad y capacidad de ser producido a partir de fuentes renovables y de ser utilizado en un amplio número de aplicaciones de forma segura. No obstante, existe un elevado grado de desconocimiento tanto social como laboral, lo que dificulta la aceptación del mismo como una alternativa más sostenible y confiable. En base a esto, se proponen las siguientes acciones:

MEDIDA 35: Crear un punto de información accesible (*hub* del hidrógeno renovable) a todos los públicos, gestionado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) para ampliar el grado de conocimiento de las tecnologías del hidrógeno y de las opciones que presenta.

MEDIDA 36: Adaptar los perfiles e inspecciones técnicas para tratar labores relacionadas con las tecnologías del hidrógeno, tales como formación para bomberos, asistentes en carretera, técnicos de talleres, así como guías y manuales que especifiquen lo relativo a estas tareas.

MEDIDA 37: Impulsar el estudio de las tecnologías del hidrógeno en los planes educativos de titulaciones existentes que tengan relación temática, a nivel de grado universitario y ciclo formativo de grado medio y superior, analizando por parte de las universidades y las autoridades educativas competentes la necesidad de titulaciones específicas dedicadas al conocimiento y desarrollo del sector del hidrógeno.

MEDIDA 38: Posicionar a España en la celebración de congresos y foros de encuentros sectoriales del hidrógeno, nacional e internacionalmente.

En este sentido, la European Hydrogen Energy Conference 2020⁹ tenía como sede Madrid, pero por motivos sanitarios se ha pospuesto a 2021 manteniendo a Madrid como lugar de celebración.

► Potencial de producción y consumo de hidrógeno renovable en España e impacto socioeconómico

El conocimiento en detalle del potencial teórico de producción de hidrógeno renovable a medio y largo plazo desde diferentes fuentes renovables y en diferentes territorios, en función de sus recursos energéticos locales es clave para poder abordar su implantación en nuestro país. Asimismo, la cuantificación del potencial consumo y uso del hidrógeno en los distintos sectores permitirá establecer objetivos coherentes para su desarrollo. Por último, es necesario analizar el impacto de la Visión 2030 sobre la economía y sociedad españolas.

MEDIDA 39: Realizar un análisis prospectivo de producción, logística y consumo de hidrógeno en España a 2030 y 2050 distinguiendo entre las distintas maneras de producirlo.

MEDIDA 40: Realizar un análisis de impacto socioeconómico de la materialización de la Visión 2030, en términos de contribución al valor añadido nacional, creación de empleo y conocimiento.

► Contribución a la transición justa, la lucha frente al reto demográfico y la economía circular

La posibilidad de generación de hidrógeno renovable de forma deslocalizada facilita la instalación de proyectos en zonas aisladas contribuyendo a evitar la despoblación rural y a conseguir los objetivos frente al reto demográfico.

En un contexto de transición energética, el PNIEC señala el desarrollo del hidrógeno renovable como instrumento para la gestión de la demanda, almacenamiento y flexibilidad del sistema energético español, la descarbonización del transporte o la promoción de gases renovables, entre otros objetivos. Además de sus beneficios energéticos, la industria del hidrógeno implica generación de empleo, actividad económica e innovación en los territorios donde se desarrolla, planteando sinergias con las necesidades de reactivación de las zonas en proceso de transición justa.

Por este motivo, deben existir sinergias entre la presente Hoja de Ruta y la Estrategia de Transición Justa y el Reto Demográfico del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, que reconoce el papel del hidrógeno renovable como instrumento para la economía circular; al utilizar en su producción materias primas y energías renovables, y deberá garantizar su coherencia con la legislación y los principios y objetivos en materia de residuos.

⁹ <http://www.ehec.info/>

MEDIDA 41: Potenciar nuevos núcleos energéticos de producción de hidrógeno renovable que contribuyan a evitar la despoblación rural y a conseguir los objetivos de reto demográfico, con especial atención a las regiones de transición justa.

En particular se han identificado como potenciales núcleos aquellas zonas de Transición Justa en las en los que se ha producido o se prevé en el corto plazo el cierre de centrales térmicas de generación eléctrica, y, por otro lado, plantas de producción de cemento y de transformación de minerales metálicos y no metálicos.

Igualmente, se fomentará la penetración del hidrógeno en la industria, movilidad y sector residencial-servicios en zonas de Transición Justa, con el objetivo de estimular la demanda local para reforzar la atracción de núcleos energéticos de producción.

De este modo, la generación de empleo, actividad económica e innovación asociada a la industria del hidrógeno contribuirá a reducir el impacto socioeconómico de los cierres de centrales térmicas, minería del carbón o centrales nucleares en estas zonas, en clara sinergia también con los objetivos del reto demográfico.

MEDIDA 42: Trabajar para que los diferentes mecanismos de apoyo al hidrógeno ponderen entre los criterios para su adjudicación, un criterio de priorización para las zonas de Transición Justa, respetando en todo caso los principios de prudencia, proporcionalidad y de eficiencia económica para integrar la Transición Justa en las medidas de apoyo al hidrógeno.

Se trabajará para que los diferentes mecanismos de apoyo al hidrógeno establezcan criterios de priorización para las zonas de Transición Justa.

Por otro lado, la Fundación Ciudad de la Energía – CIUDEN, F.S.P., adscrita al Instituto para la Transición Justa, podrá impulsar iniciativas de I+D+i en hidrógeno en zonas de Transición Justa, con el fin de impulsar soluciones innovadoras al tiempo que se actúa de palanca tecnológica y socioeconómica para las áreas afectadas por los cierres.

Además, se fomentará que proyectos demostrativos y de I+D+i de otros organismos y organizaciones se ubiquen en zonas TJ, en la medida de lo posible.

Paralelamente, se fomentará y animará a que se haga uso de los diferentes programas de recualificación y empleabilidad de los trabajadores del carbón y centrales térmicas en las medidas de apoyo a proyectos de hidrógeno, para maximizar el impacto positivo de la transición energética en el empleo.

MEDIDA 43: Buscar sinergias entre las infraestructuras energéticas de las zonas TJ y las líneas de actuación de la Hoja de Ruta de Hidrógeno.

Se estudiará y fomentará cómo el aprovechamiento de los nudos de transición justa u otras infraestructuras energéticas en zonas de Transición Justa puede contribuir al mejor desarrollo de las líneas de actuación de la Hoja de Ruta de Hidrógeno y de la Estrategia de Transición Justa.

MEDIDA 44: Favorecer la producción de hidrógeno a partir de biogás sostenible en los casos en los que suponga una solución medioambiental y económicamente más eficiente que el hidrógeno renovable procedente de electrólisis, especialmente cuando el biogás proceda de residuos para los que no existan objetivos de reciclado, como los residuos agrarios e industriales.

Este enfoque permitiría valorizar los residuos del sector agrario e industrial, en línea con los objetivos de economía circular, y podría ajustarse a las oportunidades de residuos agrarios que ofrecen las zonas rurales, contribuyendo a generar riqueza y empleo que evite su despoblamiento.

Trabajando en el vínculo entre Transición Justa y Reto Demográfico, se favorecerá con especial atención el hidrógeno a partir de biogás sostenible en zonas de Transición Justa cuya industria y sector agrario se ajusten a este perfil de producción.

► Actualización y renovación de la Hoja de Ruta como un proceso continuo

Existe elevada incertidumbre sobre la evolución de la producción y el consumo del hidrógeno renovable en los próximos años, así como sobre la evolución de las distintas tecnologías y sus costes. Por ello, esta Hoja de Ruta debe contemplar un proceso de evaluación continua de las políticas públicas que ha de evaluar el logro y consecución de los objetivos y establecer nuevas acciones en función de la evolución de las necesidades de la economía del hidrógeno renovable. Por ello, se proponen las siguientes medidas:

MEDIDA 45: Evaluar la consecución de las medidas implementadas y establecer nuevas acciones y actuaciones. Estas acciones se abordarán conjuntamente con todas las administraciones y organismos públicos de investigación en materia de hidrógeno a través de los foros actualmente constituidos para su cooperación y coordinación, como por ejemplo las Conferencias Sectoriales.

MEDIDA 46: Actualizar la “Hoja de Ruta de Hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable” en la década 2020-2030 al menos una vez cada 3 años.

► Refuerzo del posicionamiento de España en el mercado internacional del hidrógeno

Como ya se ha indicado anteriormente, España está llamada a convertirse en una de las principales potencias europeas en producción y exportación de hidrógeno renovable, debido a su capacidad de generación de electricidad renovable a bajo coste, a la disponibilidad de superficie para la instalación de plantas solares y eólicas, a la existencia de una infraestructura desarrollada de almacenamiento y transporte de gas, y a su posicionamiento geoestratégico. Asimismo, existe potencial en el tejido productivo español para ocupar posiciones de liderazgo en todas las actividades que componen la cadena valor del hidrógeno. Para tratar de aprovechar estas oportunidades se proponen las siguientes medidas:

MEDIDA 47: Incentivar del diálogo con Portugal, Francia y otros países de la UE para impulsar la cooperación regional en el campo del hidrógeno renovable, bajo mecanismos europeos como el Connecting Europe Facility (CEF), favoreciendo el posicionamiento de la Península Ibérica en la producción del hidrógeno renovable y el potencial suministro de futuros excedentes a otros Estados miembros de la UE.

La integración de la cadena de valor nacional en la cadena de valor comunitaria mediante la participación en iniciativas comunitarias como el IPCEI (Proyectos Importantes de Interés Común Europeo) de hidrógeno será clave para la competitividad y desarrollo de la industrial en la Unión Europea.

MEDIDA 48: Garantizar y fomentar la participación de las empresas y las instituciones españolas en los principales foros sobre hidrógeno europeos e internacionales.

El apoyo institucional y los mecanismos de apoyo financiero específicos para la participación en estos foros deben facilitar que las empresas españolas, especialmente las PYMEs, tengan voz propia.

MEDIDA 49: Fomentar la participación activa de las empresas españolas en los Comités Internacionales de Normalización relativos al hidrógeno renovable.

MEDIDA 50: Proporcionar asesoramiento y apoyo institucional a los proyectos españoles sobre hidrógeno renovable que concurran a procedimientos para acceder a mecanismos de financiación europeos como los relacionados en el Anexo I.

4.4 IMPULSO A LA I+D+i

► Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable

El desarrollo del hidrógeno renovable va a estar impulsado por el avance tecnológico. Es fundamental que la ciencia española y las empresas puedan participar en este proceso de desarrollo permitiendo crear conocimiento y ventajas competitivas a los sectores de la economía del hidrógeno en España, que revertirán en la sociedad a través de la generación de empleo, formación y conocimiento de alta calidad. Para ello se establecen las siguientes medidas:

MEDIDA 51: Propiciar el desarrollo nacional de electrolizadores de grandes potencias (100 MW), que dispongan de mejores márgenes de eficiencia y rentabilidad, así como impulsar su fabricación en masa y la aplicación de nuevos materiales.

MEDIDA 52: Crear una línea de financiación exclusiva para proyectos de la cadena de valor del hidrógeno renovable en los sucesivos Planes Estatales de Investigación Científica y Técnica y de Innovación.

La Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027, incluye entre sus líneas estratégicas de I+D+i nacional la aplicación del hidrógeno renovable en la industria y como recurso para el cambio climático y la descarbonización.

MEDIDA 53: Fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico empresarial en la economía del hidrógeno renovable a través del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) como impulsor de proyectos y facilitador de la internacionalización de la innovación.

Se continuará financiando la innovación y el desarrollo tecnológico en la cadena de valor del hidrógeno a través de los mecanismos relacionados en el Anexo I y se estudiará la adopción de mecanismos nuevos.

En particular, se podrá ampliar el programa “Misiones Ciencia e Innovación”, que cuenta con cinco misiones entre las que existe potencial de financiación de proyectos de hidrógeno renovable como la de “Energía segura, eficiente y limpia para el siglo XXI” o la de “Movilidad Sostenible e Inteligente”, con objeto de aprovechar y orientar las capacidades existentes al desarrollo de nuevas tecnologías y prototipos orientados a nuevos modelos para el mercado doméstico y a las necesidades de los mercados de exportación, en la generación de hidrógeno renovable y en el uso del hidrógeno para movilidad, especialmente en el transporte colectivo, tal como establece el Plan de Choque para la Ciencia y la Innovación.

MEDIDA 54: Reforzar el papel del Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2) como centro de I+D+i público de referencia.

El papel del CNH2 es esencial para el apoyo científico-técnico a las empresas y su participación en proyectos innovadores. Asimismo, es preciso reforzar los programas de cooperación con otros centros europeos, como las existentes entre otros con el Laboratório Nacional de Energia e Geologia de Portugal (LNEG).

MEDIDA 55: Fomentar la I+D+i en las tecnologías de reciclado de electrolizadores, pilas de combustible y otros sistemas y componentes utilizados en la cadena de valor del hidrógeno.

MEDIDA 56: Impulsar el desarrollo de tecnologías de producción de calor basadas en hidrógeno, incluyendo la cogeneración y la cogeneración mediante pilas de combustible.

MEDIDA 57: Abogar en la Unión Europea por la creación de líneas de financiación exclusivas para la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable.

MEDIDA 58: : Facilitar la demostración de tecnologías innovadoras basadas en el hidrógeno renovable mediante el lanzamiento de convocatorias en el marco del Fondo de Innovación del Régimen de Comercio de Emisiones y de la Clean Hydrogen Alliance, de acuerdo con lo establecido en la Estrategia Europea del Hidrógeno.

MEDIDA 59: : Impulsar, en el medio plazo, un Centro de Excelencia para la investigación en almacenamiento energético, con especial énfasis en el almacenamiento mediante hidrógeno renovable, en línea con lo establecido en la Estrategia de Almacenamiento.

El Plan de Choque para la Ciencia y la Innovación propone la creación de centros de excelencia en el medio y largo plazo.

MEDIDA 60: : Evaluar el potencial de las turbinas de hidrógeno para su utilización en el transporte aéreo, permitiendo minimizando las emisiones de NOx derivadas del uso del combustible.

5.1 VISIÓN 2030

El hidrógeno renovable se posiciona como una de las piezas clave en el cumplimiento de la senda de descarbonización fijada a través de objetivos concretos establecidos en la Directiva (UE) 2018/2001, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (DER II).

Para garantizar la contribución del hidrógeno renovable en el cumplimiento de los anteriores hitos, la Estrategia Europea del Hidrógeno (EU Hydrogen Strategy) establece tres horizontes temporales (2024, 2030 y 2050) para los que determina una sucesión de hitos a alcanzar. En concreto, destacan las dos primeras fases de la Estrategia Europea:

- **Primera fase 2020-2024: Instalación de al menos 6 GW de electrolizadores en la UE** y la producción de hasta 1 millón de toneladas de hidrógeno renovable.
- **Segunda fase 2025-2030: Instalación de 40 GW de electrolizadores para 2030** y la producción de hasta 10 millones de toneladas de hidrógeno renovable en la UE.

Los objetivos nacionales van dirigidos no sólo a la producción de hidrógeno renovable sino también a cada una de las áreas de actividad donde se ha identificado que la demanda de hidrógeno renovable tiene mayor potencial de crecimiento en esta década, concretamente, la industria y la movilidad. Las líneas de actuación y medidas descritas anteriormente serán los instrumentos que se implementarán con la finalidad de alcanzar los objetivos descritos a continuación.

Figura 6. Objetivos país a 2030



- ▶ **Producción de hidrógeno renovable:** Se prevé la instalación en España de al **menos 4 GW de potencia de electrolizadores** que idealmente se localizarán en las proximidades de los lugares de consumo, ya sea industria consumidora de hidrógeno como para el suministro de hidrogeneras y otras aplicaciones, con el propósito de minimizar los costes asociados al transporte y almacenamiento del hidrógeno renovable generado. No obstante, para garantizar el avance en dicha instalación, se estima que para el año 2024 podría alcanzarse un valor total de potencia instalada de electrolizadores de entre 300 y 600 MW.
- ▶ **Industria:** Se prevé una **contribución mínima del hidrógeno renovable del 25 %** respecto del total del hidrógeno consumido en 2030 en todas las industrias consumidoras de hidrógeno tanto como materia prima como fuente energética, como son las refinerías y la industria química.
- ▶ **Transporte:** La Directiva (UE) 2018/2001 establece que la cuota de energías renovables en el consumo final de energía en el sector del transporte sea como mínimo del 14 % en 2030. Asimismo, el PNIEC establece una cuota mucho más ambiciosa, el 28 %. Para contribuir al cumplimiento de estos objetivos, se prevén los siguientes hitos:
 - ▶ Flota de al menos **150-200 autobuses de pila de combustible de hidrógeno renovable en 2030** repartidos por todo el territorio nacional, con especial participación en las flotas de autobuses urbanos de ciudades de más de 100.000 habitantes.
 - ▶ Parque de al menos **5.000-7.500 vehículos ligeros y pesados de pila de combustible de hidrógeno para el transporte de mercancías en 2030.**
 - ▶ Red de al menos **100-150 hidrogeneras de acceso público en 2030** para el repostaje de los vehículos antes mencionados. Estas deben situarse en lugares fácilmente accesibles, repartidas por todo el territorio con una distancia máxima de 250 km entre cada una de las hidrogeneras y la hidrogenera que tenga más próxima.
 - ▶ Utilización en régimen continuo de **trenes propulsados con hidrógeno en al menos dos líneas comerciales de media y larga distancia en vías actualmente no electrificadas.**
 - ▶ Introducción de **maquinaria de handling que utilice pilas de combustible de hidrógeno renovable y de puntos de suministro en los cinco primeros puertos y aeropuertos** en volumen de mercancías y pasajeros respectivamente.
- ▶ **Sector eléctrico/almacenamiento de energía:** Se prevé la existencia de **proyectos comerciales de hidrógeno operativos en 2030 para el almacenamiento de electricidad y/o aprovechamiento de la energía renovable excedentaria según las orientaciones establecidas en la Estrategia de Almacenamiento.**

La fijación de estos objetivos debe ir acompañada de la definición de indicadores que permitan llevar a cabo un seguimiento de la evolución del grado de cumplimiento de los mismos. En esta línea, con la revisión periódica de la Hoja de Ruta, se evaluará el grado de cumplimiento de los objetivos aquí fijados, con el propósito de introducir e implementar aquellas actuaciones adicionales que resulten necesarias para garantizar su consecución.

La consecución de los objetivos enumerados anteriormente facilitará el despliegue de **inversiones estimadas en 8.900 millones de euros** en la puesta en marcha de proyectos de producción de hidrógeno renovable y generación eléctrica renovable asociada, adaptaciones industriales y movilidad. Todas ellas podrán ser emprendidas por el sector privado con el necesario apoyo público en los casos en los que se determine su necesidad y generarán un efecto multiplicador en toda la cadena de valor en términos de creación de empleo y conocimiento.

Asimismo, la consecución de los objetivos marcados en 2030 tiene un impacto medioambiental altamente positivo ya que permitirá **reducir las emisiones de 4,6 Mton de CO_{2eq} a la atmósfera en el periodo 2020-2030**. Igualmente, en el año 2030 se estima que se evitará emitir a la atmósfera 1,125 millones de toneladas¹⁰ de CO_{2eq}, lo que supone aproximadamente un **1 % del objetivo total de reducción de emisiones de CO₂ para 2030 con respecto a 2017**.

5.2 VISIÓN 2050

Esta Visión 2050 comparte plenamente el enfoque europeo del despliegue de las tecnologías del hidrógeno renovable de la tercera fase de la Estrategia Europea del Hidrógeno:

- **Tercera fase 2030-2050:** Las tecnologías de hidrógeno renovable deberían alcanzar la madurez y desplegarse a gran escala.

Se prevé que a partir del año 2030 se acelere el desarrollo de una economía basada en la producción y aplicación del hidrógeno renovable en España. La economía del hidrógeno renovable supondrá la constitución de una sociedad descarbonizada para 2050 en la que las energías renovables componen la participación mayoritaria en el mix energético, permitiendo un mayor grado de gestionabilidad y garantizando el abastecimiento energético de calidad, sostenible y a precios competitivos. La Estrategia a Largo Plazo para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra en 2050 (ELP 2050) reconoce el papel del hidrógeno en estos aspectos.

Para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París se producirá un aumento considerable de la potencia renovable instalada en España a partir de 2030, la cual vendrá acompañada de una bajada de precios de la electricidad renovable. Este hecho tendrá como consecuencia que la producción de hidrógeno mediante energía eléctrica renovable sea competitiva frente a otras tecnologías de producción. En ese momento la producción de hidrógeno renovable se incrementará a gran velocidad y, al mismo tiempo, los avances tecnológicos y las economías de escala, harán posible una gran expansión del consumo de hidrógeno renovable en muchos **sectores difíciles de descarbonizar: el sector transporte y el industrial como pone de manifiesto la ELP 2050 en su apartado sobre la descarbonización sectorial**. A las aplicaciones del hidrógeno renovable ya iniciadas antes de 2030, que continuarán creciendo en este periodo, se unirán nuevas aplicaciones del hidrógeno renovable como por ejemplo en la aviación, el transporte marítimo y procesos energéticos industriales de alta temperatura. Este consumo podrá producirse a través de pilas de combustible u otra opción tecnológica que pudiera ser más viable, como por ejemplo los combustibles sintéticos a partir de hidrógeno renovable.

Igualmente, el papel del hidrógeno renovable como almacenamiento estacional será clave dado que, aprovechando la energía renovable excedentaria en un sistema eléctrico cada vez más renovable, será una de las soluciones para gestionar la producción eléctrica cuando el recurso renovable sea escaso en prolongados periodos de tiempo, es decir, permitiendo la gestionabilidad del sistema eléctrico y la continuidad de suministro.

Además, debido a las buenas condiciones climáticas y las amplias superficies libres de implantación de energía renovable, España podrá convertirse en un exportador de hidrógeno renovable al resto de Europa. Este momento se producirá cuando la demanda de hidrógeno renovable aumente considerablemente en Europa y la capacidad de producción española sea superior a la demanda interna.

¹⁰ La UE estima unas emisiones netas de 9 kgCO_{2eq}/kgH₂ para el hidrógeno procedente de reformado de gas natural y unas emisiones prácticamente nulas para el hidrógeno producido mediante electrólisis. El 25% del consumo actual de hidrógeno en España supone unas 125.000 t/año, procedente en su práctica totalidad del reformado de gas natural.

ANEXO I

MECANISMOS DE
FINANCIACIÓN

Alcanzar los objetivos de descarbonización de la economía y llevar a cabo una transición energética justa, al tiempo que se estimula la innovación tecnológica, implica la movilización de un elevado volumen de recursos financieros públicos y privados en múltiples sectores de actividad.

En el caso del hidrógeno renovable, debido a que aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, el apoyo público es especialmente importante para estimular y orientar las inversiones y proporcionar señales claras a los distintos actores del mercado.

A continuación, se han identificado algunos de los principales instrumentos nacionales y europeos con potencial para financiar proyectos de hidrógeno renovable en España.

Instrumentos nacionales

A nivel nacional, existen instrumentos financieros destinados al apoyo de iniciativas y proyectos con alto contenido en I+D para encarar los desafíos de las áreas estratégicas y los sectores productivos críticos de la economía española **alineados con la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027** y el Plan de Choque para la Ciencia y la Innovación. Entre estos desafíos se incluyen aquellos relacionados con la descarbonización de la economía y la transición energética. Dentro de los instrumentos financieros nacionales con potencial para financiar proyectos de hidrógeno renovable podemos destacar los siguientes:

► **Proyectos CIEN¹¹**

Se trata de un mecanismo de financiación del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), en forma de ayuda parcialmente reembolsable, dirigido a grandes proyectos de investigación industrial y de desarrollo experimental, sin restricción en cuanto al sector o la tecnología a desarrollar. Este mecanismo funciona en forma de convocatoria continua, por lo que los proyectos pueden presentarse durante todo el año.

Los proyectos CIEN deberán ser proyectos desarrollados en colaboración efectiva por consorcios empresariales de un mínimo de 3 y un máximo de 8 empresas (2 de las cuales deberán ser autónomas, y al menos 1 deberá ser PYME). Asimismo, mediante los proyectos CIEN se persigue fomentar la cooperación público-privada en I+D, por lo que requieren la subcontratación de actividades a organismos de investigación, de los que al menos 1 deberá ser de titularidad pública.

El presupuesto solicitado de los proyectos presentados deberá estar entre 5 y 20 M€, de los cuáles un 50% estará destinado a actividades de investigación industrial.

La ayuda consiste en una cobertura financiera de hasta el 85% del presupuesto aprobado, con un tipo de interés de Euribor a 1 año y un período de devolución de 7 o 10 años. En función de la disponibilidad de fondos, las características del proyecto y el tipo de empresas, hasta un 33% podrá calificarse como no reembolsable.

Los proyectos candidatos a convertirse en proyectos CIEN serán evaluados en base a una serie de criterios agrupados en 4 categorías:

- ▶ Valoración del plan de explotación comercial
- ▶ Valoración de la tecnología y la innovación
- ▶ Capacidad del consorcio en relación al proyecto
- ▶ Valoración del impacto socioeconómico y medioambiental

¹¹ <https://www.cdti.es/index.asp?MP=100&MS=803&MN=2>

► Misiones Ciencia e Innovación¹²

Se trata de un programa del CDTI que busca apoyar, a través de subvenciones, grandes iniciativas estratégicas, intensivas en I+D, realizadas por una agrupación de empresas y con participación relevante organismos de investigación que tengan como objetivo contribuir al desarrollo de 5 misiones identificadas por su gran relevancia en los retos futuros de España. De estas misiones, se han identificado 3 con potencial para financiar proyectos de hidrógeno renovable:

- ▷ Energía, segura, eficiente y limpia para el siglo XXI
- ▷ Movilidad sostenible e inteligente
- ▷ Impulsar a la industria española en la revolución industrial del siglo XXI

La última convocatoria contó con una dotación de 70 M€ y se dividió en 2 categorías:

- ▷ Misiones "Grandes Empresas": Dotada con 60 M€. Dirigida a consorcios de entre 3 y 8 socios, de los cuales al menos uno debía ser PYME, con proyectos con un presupuesto elegible entre 5 y 10 M€, del que un 85% debía dedicarse a investigación industrial y un 20% debía subcontratarse con Centros Generadores de Conocimiento.
- ▷ Misiones "PYMES": Dotada con 10 M€. Dirigida a consorcios de entre 3 y 6 PYME, con proyectos con un presupuesto elegible entre 1,5 y 3 M€, del que un 60% debía dedicarse a investigación industrial y un 15% debía subcontratarse con Centros Generadores de Conocimiento.

Los proyectos presentados debían encuadrarse en una de las 5 misiones y plantear unos objetivos orientados a la resolución de uno o más de los ámbitos concretos de mejora para cada misión propuestos por CDTI en la convocatoria.

Los proyectos presentados serán evaluados en base a una serie de criterios agrupados en 3 categorías:

- ▷ Valoración de la tecnología y la innovación
- ▷ Capacidad del consorcio en relación al proyecto
- ▷ Valoración del impacto socioeconómico y medioambiental

La convocatoria descrita finalizó el 23 de julio de 2020.

► Plan MOVES II¹³

El Programa MOVES II de Incentivos a la Movilidad Eficiente y Sostenible es un programa de ayudas, en forma de subvención, que tiene por objeto contribuir a la descarbonización del sector del transporte mediante el fomento de las energías alternativas, promoviendo la realización de actuaciones de apoyo a la movilidad basada en criterios de eficiencia energética, sostenibilidad e impulso del uso de energías alternativas.

La coordinación y el seguimiento del MOVES II le corresponde al Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), y son las comunidades autónomas y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla las responsables de su gestión y de llevar a cabo las convocatorias en sus respectivos territorios.

¹² <https://www.cdti.es/index.asp?MP=100&MS=902&MN=2&TR=C&IDR=2902>

¹³ <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-movilidad-y-vehiculos/plan-moves-ii>

El Plan MOVES II distingue 4 tipos de actuaciones subvencionables:

- ▶ Actuación 1. Adquisición de vehículos de energías alternativas: Incluye la adquisición de vehículos de pila de combustible de hidrógeno. Será susceptible de recibir la ayuda cualquier vehículo ligero o pesado para el transporte por carretera de mercancías y pasajeros (turismos, autobuses, furgonetas, camiones, motocicletas etc.).
- ▶ Actuación 2. Implantación de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.
- ▶ Actuación 3. Implantación de sistemas de préstamos de bicicletas eléctricas.
- ▶ Actuación 4. Implantación de medidas de movilidad sostenible al trabajo: Incluye la disposición de líneas específicas de transporte colectivo y autobuses lanzadera a los centros de trabajo, o la implantación de medidas que garanticen un reparto de última milla sostenible, ambos ámbitos susceptibles de adoptar soluciones basadas en el hidrógeno.

Podrán ser destinatarios de las ayudas para las actuaciones 1 y 2:

- ▶ Las personas físicas que desarrollen actividades económicas.
- ▶ Las personas físicas mayores de edad, con residencia fiscal en España y no incluidas en el anterior apartado.
- ▶ Las comunidades de propietarios.
- ▶ Las personas jurídicas válidamente constituidas en España.
- ▶ Las entidades locales y el sector público institucional.

Mientras que las ayudas para las actuaciones 3 y 4 podrán tener como destinatarios a:

- ▶ Las personas físicas que desarrollen actividades económicas.
- ▶ Las personas jurídicas válidamente constituidas en España.
- ▶ Las entidades locales y el sector público institucional.

Este programa está dotado con un presupuesto de 100 M€, y la cuantía de las ayudas variará según la actuación que se subvencione. Las ayudas para la adquisición de vehículos variarán, en función del tipo de vehículo, entre 600 y 15.000 €. Mientras que las ayudas para la implantación de medidas de movilidad serán de un 40 o 50% del coste subvencionable, con un límite de 500.000 €.

Las solicitudes de ayuda podrán cursarse a partir del momento en que las comunidades autónomas y las ciudades de Ceuta y Melilla lo indiquen en las respectivas convocatorias, en la forma que en ellas se establezca, hasta la conclusión de su vigencia, lo cual sucederá transcurrido un año, a partir de la fecha de publicación del extracto de dichas convocatorias en el diario oficial correspondiente. Las convocatorias anteriormente citadas se efectuarán en un plazo de tres meses, contados desde el 18 de junio de 2020, fecha de entrada en vigor del Real Decreto 569/2020, de 16 de junio, por el que se regula el programa de incentivos a la movilidad eficiente y sostenible (Programa MOVES II) y se acuerda la concesión directa de las ayudas de este programa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla.

► **Programas de la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa de apoyo financiero a la industria**

La Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, cuenta con programas de apoyo financiero a proyectos de inversión para la mejora de la competitividad industrial o que contribuyan a la reindustrialización a través de la concesión de préstamos a largo plazo. Se habilitarán nuevos programas en los siguientes ejercicios mediante la incorporación de los recursos del Fondo de Recuperación y Resiliencia, que podrán atender proyectos de inversión y de I+D+i en las tecnologías del hidrógeno y su uso industrial.

Instrumentos europeos

En el marco de la Unión Europea, existen o están en negociación varios instrumentos financieros con potencial para apoyar proyectos de hidrógeno renovable, por estar orientados total o parcialmente a favorecer la transición energética y el desarrollo de tecnologías para la descarbonización de la economía. Dentro de dichos instrumentos podemos destacar los siguientes:

► **Innovation Fund¹⁴**

El Innovation Fund es uno de los principales programas de financiación para proyectos de tecnologías innovadoras bajas en carbono, con una dotación de unos 10.000 M€ (en función de los precios del carbono) para el periodo 2020-2030. Los ingresos de este fondo provendrán de los remanentes del programa NER 300, así como de la subasta de derechos de emisión bajo el Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (EU ETS), con 450 millones de derechos asignados para este propósito entre 2020 y 2030.

Las ayudas del Innovation Fund podrán ser de hasta el 60% de los costes adicionales ligados a la innovación, tanto de capital como operativos.

Estas ayudas estarán dirigidas a proyectos relacionados con tecnologías y procesos innovadores bajos en carbono en industrias intensivas en energía (incluyendo sustitución de productos intensos en carbono); proyectos de captura, almacenamiento y uso de carbono; proyectos innovadores de generación de energía renovable y proyectos de almacenamiento de energía.

La primera convocatoria de proyectos para el Innovation Fund, con una dotación de 1.000 M€, estará dirigida a proyectos cuyo CAPEX sea mayor a 7,5 M€ y constará de 2 fases. La primera fase fue publicada el pasado 3 de julio y los proyectos podrán presentarse hasta el 29 de octubre de 2020. En esta fase los proyectos serán evaluados en función de su grado de innovación, de las emisiones evitadas de gases de efecto invernadero y de la madurez del proyecto. Como resultado de la primera fase, se determinará qué proyectos son candidatos a la segunda fase (aquellos que alcancen los objetivos en los 3 criterios evaluados) y qué proyectos pueden recibir *Project Development Assistance* (PDA) (aquellos que alcancen los objetivos de innovación y reducción de emisiones, pero no el de madurez).

Los proyectos candidatos para la segunda fase, podrán presentarse durante el primer trimestre de 2021. Para la evaluación de los proyectos en la segunda fase, a los 3 criterios de evaluación de la primera, se añadirán criterios de escalabilidad y potencial de mercado, y eficiencia en costes. Se espera que la decisión de qué proyectos reciben las ayudas se adopte durante el segundo semestre de 2021.

Por otro lado, para finales de 2020 o principios de 2021 está previsto el lanzamiento de una convocatoria específica para proyectos de pequeña escala (CAPEX menor a 7,5 M€), cuyos criterios de evaluación están aún por determinar.

¹⁴ https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en#tab-0-0

► **European Green Deal call¹⁵**

Dentro del programa Horizon 2020, programa de inversión en investigación e innovación de la UE para el periodo 2014-2020, se va a lanzar una convocatoria adicional dotada con 1.000 M€, en el marco del Pacto Verde Europeo.

Esta convocatoria apoyará aplicaciones piloto, proyectos de demostración, productos innovadores, innovación para la mejora de la gobernanza de la transición verde y digital e innovación social y de la cadena de valor, contribuyendo a una recuperación verde y digital de la pandemia causada por el COVID-19 e incrementando la resiliencia de la sociedad en ámbitos como la agricultura, las energías renovables, el transporte limpio, y la industria limpia.

La convocatoria se estructura en 11 áreas, de las cuáles se han identificado 4 de ellas con potencial para la financiación de proyectos de hidrógeno renovable en España:

- ▶ **Área 2. Energía limpia, asequible y segura:** Esta área contiene 2 líneas, una dedicada al despliegue a gran escala de energía eólica marina (con posibilidad de incluir también aplicaciones de hidrógeno), y otra destinada al desarrollo de electrolizadores de 100 MW con alimentación renovable con objeto de demostrar su viabilidad en entornos industriales o puertos.
- ▶ **Área 3. Industria para una economía limpia y circular:** Con una línea dedicada a validar la viabilidad industrial y la eficiencia de las tecnologías de producción que empleen energías renovables, incluyendo la producción de combustibles sintéticos a partir de hidrógeno.
- ▶ **Área 5. Movilidad circular y sostenible:** Con una línea dedicada a los puertos y los aeropuertos como *hubs* verdes, incluyendo tanto la energía consumida por los aviones y los barcos, como la energía consumida en las propias actividades de las instalaciones.
- ▶ **Área 11. Acelerar la transición y el acceso a la energía limpia en colaboración con África:** Esta área contiene una línea dedicada al desarrollo de proyectos de energía limpia en África y el Mediterráneo, con potencial para apoyar proyectos de producción de hidrógeno verde a partir de energía fotovoltaica.

Se estima que esta convocatoria será lanzada a mediados de septiembre de 2020 y los proyectos podrán presentarse hasta enero de 2021.

► **Horizon Europe¹⁶**

Horizon Europe será el próximo programa de inversión en investigación e innovación de la UE para el periodo 2021-2027, continuando por la senda exitosa marcada por el anterior programa Horizon 2020 y tratando de aprovechar la experiencia adquirida durante su despliegue. Este programa contará con un presupuesto de 75.900 M€ para el periodo 2021-2027, de los cuales un 35% estarán destinados a abordar los desafíos del cambio climático, apoyando políticas para la transición a una economía baja en carbono y la protección del medio ambiente.

Los 3 pilares en los que se centrará el nuevo programa serán:

- ▶ Reforzar la ciencia y la tecnología de la UE gracias al aumento de la inversión en personas altamente cualificadas y la investigación innovadora.
- ▶ Promover la competitividad industrial de la UE y el rendimiento en innovación.

¹⁵ https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/european-green-deal/call_en

¹⁶ https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en

- ▶ Cumplir con las prioridades estratégicas de la UE, así como con el Acuerdo de París sobre el cambio climático.

Este programa, cuyos términos concretos aún se encuentran en negociación, arrancará en enero del 2021 con el lanzamiento de las primeras convocatorias.

▶ **Clean Hydrogen Alliance**¹⁷

La creación de la Clean Hydrogen Alliance por parte de la Comisión Europea en la cual se canalizarán/coordinarán los instrumentos de financiación para el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible.

Dentro de Horizon Europe, y bajo el paraguas de la Clean Hydrogen Alliance se estructura la tercera edición de la iniciativa pública privada Joint Undertaking denominada para este periodo 2021 -2027, Clean Hydrogen for Europe, que como continuación de la Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, se estima que esté dotada con 2.600 M€ y estructurada en tres pilares básicos:

- ▶ **Pilar de producción.** Producción de hidrógeno mediante electrólisis, su integración con energías renovables y la descarbonización de la industria.
- ▶ **Pilar de distribución.** Distribución y almacenamiento de hidrógeno a gran escala, así como el desarrollo de la infraestructura de hidrógeno.
- ▶ **Pilar de aplicaciones.** Usos del hidrógeno en movilidad, calor, potencia e industria.

Además, se incluyen tres pilares horizontales a los expuestos anteriormente, como son el de valles de hidrógeno, transversal – aspectos de normativa, seguridad, reciclaje, educación, difusión, etc. - y cadena de valor.

Dicha iniciativa encuentra sinergias con otras, como son la de Celan Steel, ZE Waterbone, 2Zero, Clean Aviation y Transforming EU Rail entre otras.

▶ **InnovFin Energy Demonstration Projects**¹⁸

Se trata de un mecanismo de financiación del Banco Europeo de Inversiones (BEI), a través de préstamos, garantías de préstamos o financiación de tipo patrimonial, normalmente entre 7,5 y 75 M€, para proyectos innovadores en el ámbito de la transformación del sistema energético, incluyendo tecnologías de energía renovable, almacenamiento de energía, captura y almacenamiento de CO₂ y sistemas de energía inteligente, para ayudarles a dar el salto de la demostración a la comercialización.

¹⁷ <https://hydrogeneurope.eu/clean-hydrogen-europe>

¹⁸ <https://www.eib.org/en/products/blending/innovfin/products/energy-demo-projects.htm>

► **Connecting Europe Facility (CEF)**¹⁹

Se trata de un mecanismo de financiación de proyectos de infraestructura en los sectores de la energía, el transporte y los servicios digitales.

En el sector de la energía, este mecanismo de financiación está directamente relacionado con los Proyectos de Interés Común de la Unión Europea (IPCEI). En la convocatoria de 2020, recientemente cerrada, se pusieron a disposición 979,6 M€ para financiar proyectos de interés común que persiguieran, entre otros, los siguientes objetivos: acabar con el aislamiento energético, incrementar la seguridad de suministro de la UE, contribuir a la protección del medio ambiente y al desarrollo sostenible a través de la integración de las energías renovables y el desarrollo de redes energéticas inteligentes, y otros objetivos relacionados con los objetivos del Pacto Verde.

La asignación presupuestaria prevista para el CEF en el horizonte 2021-2027 es de 28.396 M€, de los que se espera que un 60% vayan destinados a alcanzar los objetivos climáticos, distribuidos entre los tres sectores, 21.384 M€ en el sector del transporte, 5.180 M€ en el sector de la energía y 1.832 M€ en el sector digital.

► **InvestEU**²⁰

Se trata de un nuevo instrumento de la UE que ofrece garantías con el objetivo de movilizar financiación pública y privada para inversiones estratégicas en el marco de las políticas europeas. Cubrirá el período 2021-2027 y reunirá bajo un mismo paraguas varios instrumentos financieros de la UE actualmente disponibles.

La asignación al Fondo InvestEU para el periodo 2021-2027 es de 2.800 M€, que se complementarán con flujos procedentes de instrumentos anteriores a 2021. El fondo InvestEU movilizará inversiones públicas y privadas a través de una garantía del presupuesto de la UE de 38.000 M€, para respaldar proyectos de inversión de socios financieros como el Grupo del BEI, fortaleciendo su capacidad de absorción de riesgos. Mediante este fondo, la Comisión Europea espera que se movilicen más de 650.000 M€ en inversiones adicionales en la UE entre 2021 y 2027.

Esta garantía presupuestaria se divide entre las áreas de intervención de la siguiente manera: 11.500 M€ para infraestructuras sostenibles, 11.250 M€ para investigación, innovación y digitalización, 11.250 M€ para PYMES y 4.000 M€ para inversión social.

► **Fondo de Transición Justa**

Este mecanismo está destinado a apoyar la transición de las regiones más afectadas por la necesidad de abandonar un modelo económico basado en combustibles fósiles, por tanto, se dirige a las regiones que son más intensivas en carbono o más dependientes de los combustibles fósiles. El Fondo de Transición Justa estará dotado con 7.500 M€ procedentes del objetivo de crecimiento y empleo y 10.000 M€ adicionales procedentes del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia.

Los criterios de elegibilidad y la tipología de los proyectos que serán financiados aún se están debatiendo, pero se prevé que ciertas regiones españolas vinculadas al carbón puedan resultar elegibles, siendo el hidrógeno una posible solución para la economía y el empleo de dichas regiones.

¹⁹ <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility>

²⁰ https://europa.eu/investeu/home_es

► **Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas (FEIE)²¹**

El FEIE nació con el objetivo de hacer frente a la falta de confianza y de inversión derivada de la crisis económica y financiera, y hacer uso de la liquidez mantenida por instituciones financieras, empresas y particulares en un momento de escasez de recursos públicos, permitiendo al Grupo del Banco Europeo de Inversiones proporcionar financiación a proyectos de mayor riesgo que el que normalmente asumiría.

Este fondo contribuye a financiar inversiones estratégicas en áreas clave tales como infraestructura, investigación e innovación, educación, energías renovables y eficiencia energética. También puede ayudar a PYMES a ponerse en marcha y crecer proporcionándoles financiamiento de riesgo.

En diciembre de 2017, el Consejo Europeo amplió la duración del FEIE hasta diciembre de 2020.

► **Next Generation EU²²**

El recientemente anunciado Next Generation EU es un nuevo instrumento de recuperación dotado con 750.000 M€, de los que 390.000 M€ se articularán mediante ayudas directas y 360.000 M€ mediante préstamos, que impulsará el presupuesto de la UE con nueva financiación obtenida de los mercados financieros para 2021-2024 para garantizar una respuesta eficaz a la crisis del COVID-19.

Los fondos del Next Generation EU serán susceptibles de financiar proyectos de hidrógeno renovable, ya que entre sus objetivos se citan el apoyo a la transición ecológica hacia una economía climáticamente neutra y la inversión en cadenas de valor clave. Estos fondos se desplegarán a través del refuerzo y aumento de la financiación de mecanismos existentes, como InvestEU o el Fondo de Transición Justa, o a través de nuevos mecanismos, en particular el Fondo de Recuperación y Resiliencia, que proveerá préstamos y transferencias a los Estados miembros para financiar proyectos de inversión con los que, por un lado, mitigar el impacto económico y social de la crisis generada por la COVID 19, y, por otro, apoyar una transformación verde y digital del modelo de crecimiento.

²¹ https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/investment-plan-europe-juncker-plan/european-fund-strategic-investments-efsi_es

²² https://europa.eu/investeu/home_es

ANEXO II

PROYECTOS EN
MATERIA DE
HIDRÓGENO
RENOVABLE
DESARROLLADOS EN
ESPAÑA

a-) Proyectos en curso

Se han recopilado los proyectos en curso en materia de hidrógeno cuya relevancia ha sido reconocida mediante la concesión de financiación pública procedente de fondos estatales o europeos. Sin perjuicio de lo anterior, se trata de una selección dinámica con la posibilidad de incorporar los nuevos proyectos que se concreten tras la publicación de la presente Hoja de Ruta.

H2PORTS	
Objetivo del proyecto	Realización de estudios de viabilidad para el desarrollo de una cadena de suministro de hidrógeno sostenible en el puerto para reducir el impacto ambiental de sus operaciones.
Descripción	Proyecto piloto a escala europea localizado en el Puerto de Valencia que desarrolla y valida la transformación a H2 de dos máquinas (grúa telescópica y cabeza de camión) en condiciones reales de operación. El proyecto incluye el desarrollo de una hidrogenera a 350 bares, así como el estudio y desarrollo de la logística de suministro de H2 en el Puerto.
Empresas asociadas	Autoridad Portuaria de Valencia, la Fundación Valenciaport (coordinador), el Centro Nacional del Hidrógeno, y las empresas privadas MSC Terminal Valencia, Grupo Grimaldi, Hyster-Yale, Atena, Ballard Power Systems Europa y Enagás.
Duración	2019-2023.
Localización	Puerto de Valencia.
Presupuesto	4 millones de euros.
Financiación	3.999.947,5 € procedentes de Fuel Cells and Hydrogen Joint undertaking (FCHJU).

SUN2HY (Sun to Hydrogen)	
Objetivo del proyecto	Producción de H2 mediante "electrocátalisis"
Descripción	Demostrador a escala real en fase precomercial (TRL-6) para la transformación directa de energía solar en hidrógeno mediante células fotoelectroquímica PEC.
Empresas asociadas	ENAGÁS y Repsol.
Duración	2019-2020.
Localización	Repsol Technology Lab, Móstoles (Madrid).
Financiación	Enagás / Repsol / Cofinanciado por por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) y la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

SEAFUEL (Integración sostenible de combustibles renovables en sistemas de transporte locales)	
Objetivo del proyecto	Demostrar la viabilidad de alimentar redes locales de transporte utilizando combustibles producidos a través de fuentes renovables y del agua del mar.
Descripción	El proyecto contiene una instalación de energías renovables (51 MW) asociada a una hidrogenadora (25 kg H ₂ /día a 350 bar) que estará conectada directamente a los aerogeneradores y será abastecida por agua de mar produciendo el hidrógeno a partir de los recursos naturales disponibles. El hidrógeno generado se destinará a la sustitución de parte de la flota de vehículos diésel por coches de hidrógeno. Las plantas fotovoltaicas abastecerán la estación de servicio y la planta desaladora (125 m ³ /día (2.4 kW/m ³)).
Empresas asociadas	9 socios y 6 miembros asociados, incluyendo empresas de todas las áreas. Enagás miembro asociado.
Duración	2017-2020.
Localización	Tenerife.

HIGGS (Hydrogen In Gas Grids: un enfoque sistemático de validación en varios niveles de mezcla en redes de alta presión)	
Objetivo del proyecto	Analizar el potencial existente y los requerimientos sobre la infraestructura, sus componentes y la gestión que conlleva inyectar hidrógeno en las actuales redes de transporte de gas natural a alta presión.
Descripción	<p>Estudio para la descarbonización de la red de gas y su utilización, cubriendo las lagunas de conocimiento del impacto que los altos niveles de hidrógeno podrían tener en la infraestructura de gas, sus componentes y su gestión.</p> <p>El proyecto se desarrolla en varias actividades, entre ellas la cartografía de los obstáculos y facilitadores técnicos, jurídicos y normativos, el ensayo y la validación de sistemas y la innovación, la elaboración de modelos tecnoeconómicos y la preparación de un conjunto de conclusiones como vía para permitir la inyección de hidrógeno en las redes de gas de alta presión.</p>
Empresas asociadas	Coordinación por Fundación Hidrógeno de Aragón (FHa) con la participación de Redexis, Tecnalia, DVGW (Asociación alemana de gas y agua), HSR (Universidad de Ciencias Aplicadas de Rapperswil, Suiza) y ERIG (Instituto de Investigación Europeo para el gas y la innovación energética, Bélgica).
Duración	2020-2022.
Localización	Distribuida en centros de investigación de los participantes.
Presupuesto	2 millones de euros.
Financiación	100% procedentes de Fuel Cells and Hydrogen Joint undertaking (FCHJU).

GREEN HYSLAND: producción de hidrógeno renovable y utilización en movilidad y usos térmicos en un sistema energético extrapeninsular	
Objetivo del proyecto	Producir hidrógeno renovable a partir de electricidad de origen renovable y su posterior utilización en múltiples aplicaciones en la isla de Mallorca.
Descripción	<p>Proyecto de producción a escala industrial de hidrógeno renovable, hasta 7,5 MW de electrólisis, a partir de generación eléctrica fotovoltaica dedicada. Las instalaciones de electrólisis se localizarían en Lloseta, con objeto de reindustrializar el municipio ante el cierre de una planta de producción de cemento y aprovechar sus infraestructuras de transporte y energía.</p> <p>Los usos están relacionados con la demanda de energía del sector turístico:</p> <p>Suministro mediante camiones cisterna a 300 bar y utilización en la flota de 5 autobuses de la EMT de Palma y en 10 vehículos de una flota de rent-a-car, para la generación eléctrica en el Puerto de Palma y para satisfacer usos térmicos en edificios hoteleros y administrativos.</p> <p>Transporte por hidroduto a 15 bar e inyección en la red de gas natural.</p>
Empresas asociadas	Proyecto promovido por Acciona, Enagás y Cemex, junto al Gobierno de Baleares, IDAE, Redexis, FHA y la Universidad de las Islas Baleares.
Duración	2021-2025.
Localización	Isla de Mallorca.
Presupuesto	50 millones de euros.
Financiación	Proyecto presentado en abril de 2020 a la convocatoria de Islands Topic de Fuel Cells and Hydrogen Joint undertaking (FCHJU) para una posible subvención de 10 millones de euros.

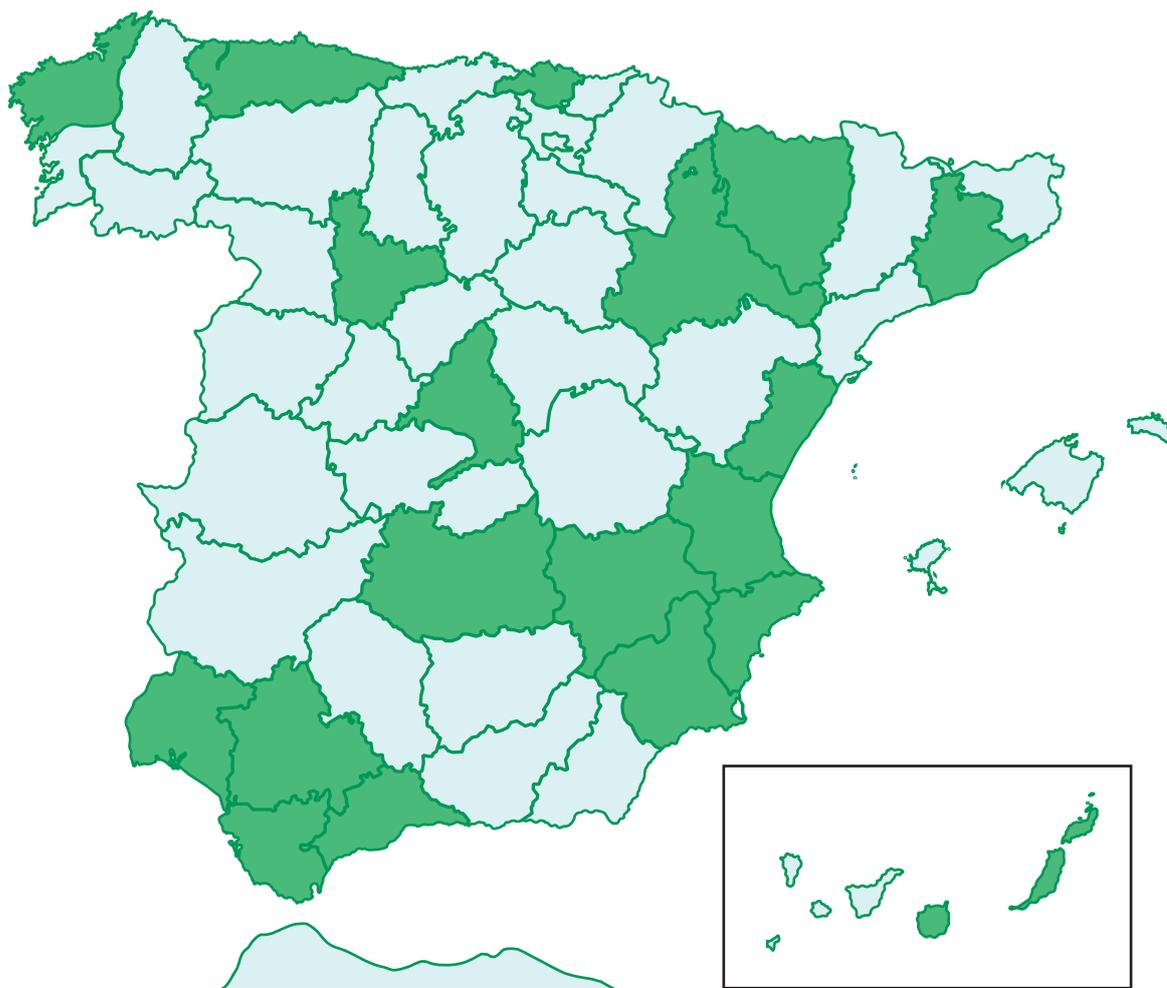
b-) Proyectos identificados en la call of interest de los IPCEI

El Ministerio de Industria, Comercio y Turismo ha llevado a cabo una *call of interest* en relación con el proyecto europeo en la cadena de valor del hidrógeno verde bajo el mecanismo "Proyectos Importantes de Interés Común Europeo (IPCEI)", en los términos fijados en la Comunicación de la Comisión Europea (2014/C 188/02), publicada en el DOUE de 20 de junio de 2014.

El objetivo de la *call* es identificar aquellos proyectos asociados a la industria manufacturera que son susceptibles de participar en la iniciativa IPCEI de hidrógeno verde, con la finalidad de apoyar la cadena de valor industrial promovida por la Comisión Europea.

Se han recibido 28 propuestas aportadas por 26 empresas y, aunque la tipología de proyectos es amplia, se han identificado tanto proyectos con un fuerte componente de investigación y desarrollo tecnológico como proyectos de innovación y demostración comercial, inclusive para la producción de hidrógeno renovable a gran escala en los principales polos petroquímicos.

En el siguiente mapa se pueden localizar geográficamente los 20 proyectos remitidos con ubicación definida. En 5 de ellos ya hay información publicada, por lo que se ha incluido una breve descripción y objetivo, aunque sus detalles técnicos y económicos no se desarrollan en este anexo por estar sujetos a confidencialidad.



I. A Coruña. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO RENOVABLE DESTINADO A DISTINTOS USOS INDUSTRIALES

<p>Descripción</p>	<p>Proyecto de producción de hidrógeno renovable a escala industrial destinado a su uso como materia prima industrial y movilidad.</p>
<p>Objeto del proyecto</p>	<p>Crear un <i>hub</i> escalable de producción y transporte hidrógeno renovable en la región descarbonizando los principales usos del hidrógeno en la industria y favoreciendo su penetración en la movilidad.</p>

2. Asturias: PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE Y UTILIZACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE ACERO

Descripción	Producción de hidrógeno verde mediante electrólisis de electricidad de origen renovable y su posterior utilización como agente reductor en la reducción del mineral de hierro, desplazando al gas de coque.
Objeto del proyecto	Desarrollar una planta de escala industrial de electrólisis y adaptar los procesos de la fabricación de acero descarbonizar el proceso de reducción. Adicionalmente, podría emplearse el hidrógeno en otros procesos térmicos, desplazando a combustibles fósiles.

3. Ciudad Real: UTILIZACIÓN DE HIDRÓGENO RENOVABLE EN LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES

Descripción	Proyecto de escala industrial de producción de hidrógeno renovable y su posterior integración en los procesos de producción de fertilizantes que utilizan el hidrógeno como materia prima.
Objeto del proyecto	Producir hidrógeno renovable a partir de electricidad de origen renovable procedente de una planta fotovoltaica dedicada para su posterior suministro e integración en los procesos de fabricación de fertilizantes.

4. Huesca: PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO RENOVABLE Y UTILIZACIÓN EN MOVILIDAD

Descripción	Proyecto de escala industrial de producción de hidrógeno renovable y su posterior utilización en movilidad.
Objeto del proyecto	Producir hidrógeno renovable a partir de generación eléctrica de origen renovable y conexión a la red y posterior aplicación en movilidad terrestre, tanto por carretera como ferroviaria, incluyendo la posible inyección en la red de gas natural.

5. Vizcaya: PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES SINTÉTICOS A PARTIR DE HIDRÓGENO RENOVABLE

Descripción	Planta de demostración a escala industrial para la síntesis de combustibles sintéticos a partir de hidrógeno verde y de CO ₂ capturado procedente de procesos industriales.
Objeto del proyecto	Producción de combustibles sintéticos a partir de hidrógeno verde, producido mediante electrólisis a partir de electricidad generada por un parque eólico dedicado, y de CO ₂ capturado en procesos industriales existentes.

El resto de proyectos está dedicado a diversas tecnologías y etapas de la cadena de valor del hidrógeno tales como la mejora de placas cátodo para pilas PEM, la separación del hidrógeno previamente inyectado y mezclado en la red de gas natural, la integración del hidrógeno en los procesos de combustión de alta temperatura para la fabricación de productos cerámicos, el desarrollo de sistemas de coelectrólisis, la producción de hidrógeno mediante termólisis catalítica, el uso de líquidos portadores en la logística del hidrógeno o la mejora de los materiales e instalaciones para el almacenamiento.

CONTRIBUCIONES
RECIBIDAS EN LA
CONSULTA PÚBLICA
DEL BORRADOR DE
LA HOJA DE RUTA DE
HIDRÓGENO.

La consulta pública del borrador de la Hoja de Ruta de Hidrógeno, publicada en la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, iniciada el 27 de julio de 2020 y finalizada el 11 de septiembre de 2020, tenía por finalidad hacer público un texto sobre el que recabar, directamente o a través de sus organizaciones representativas, la opinión de los ciudadanos y entidades potencialmente involucrados en la cadena de valor del hidrógeno.

Un total de 78 entidades, organizaciones, asociaciones y particulares han enviado contribuciones a la consulta pública de la Hoja de Ruta de Hidrógeno. A continuación, se citan las 67 entidades, organizaciones y asociaciones:

- Acciona
- Asociación Empresarial Eólica (AEE)
- Asociación Española del Hidrógeno (AeH2)
- Asociación de Empresas de Energía Eléctrica (Aelec)
- AENA
- Asociación Empresarial Small Scale Gas Natural (AESGAN)
- Air Liquide España
- Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP)
- Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA Renovables)
- Asociación Española de Pilas de Combustible (APPICE)
- Asociación Española del Gas (SEDIGAS)
- Agrupación de Empresas Innovadoras CAR-EX
- Ariema
- Asociación Española de Almacenamiento de Energía (ASEALEN)
- Asociación de Empresas Eléctricas (ASEME)
- Asociación Andaluza de Hidrógeno (AAH2)
- Asociación de la Industria Navarra (AIN)
- Autoridad Portuaria de Valencia (APV)
- Calvera
- Capital Energy
- Confederación de Consumidores y Usuarios (CECU)
- Fundación CIDAUT
- Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2)
- COGEN España
- Consejería de Industria, Empleo y Promoción Económica Principado Asturias
- Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales
- Dhamma Energy
- EDP
- ENAGÁS
- ENDESA

- Enterpriseholdings (Ehi)
- Ente Vasco de la Energía (EVE)
- Exolum Solutions (Grupo CLH)
- Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España (FAIIE)
- Federación Europea de Comerciantes de Energía (EFET)
- FEQUIE
- Fundación Hidrógeno Aragón (Fha)
- Fundación Asturiana de la Energía (FAEN)
- Gas Extremadura
- GASNAM
- H2B2
- H2GZ Energizing
- Haffner Energy
- Iberdrola
- INDHO
- Institut Català d'Energia
- Lean Hydrogen
- Logistop
- Madrileña Red de Gas
- MIBGAS
- Naturgy
- Nortegás
- Redexis
- Reganosa
- Repsol
- RWE Renewables
- Sener
- Secretaría General de Industria, Energía y Minas de Andalucía (SGIEM)
- Siemens Gamesa Renewable Energy
- Smartenergy Invest AG
- Tecnia
- Técnicas Reunidas
- TOYOTA
- Unión Española Fotovoltáica (UNEF)
- Universidad Pablo de Olavide de Sevilla (UPO)
- VERTEX Bioenergy
- WWF España

Entre las contribuciones anteriores se pueden destacar los siguientes sectores:

- Productores y suministradores de hidrógeno
- Fabricantes de equipos y componentes vinculados al sector del hidrógeno
- Fabricantes de equipos, componentes y otras asociaciones vinculadas a la automoción y la movilidad
- Consumidores industriales de hidrógeno de alta intensidad
- Productores de energías renovables
- Transportistas, distribuidores y comercializadores de gas natural
- Organismos públicos de investigación (OPIs) y fundaciones del sector público
- Empresas de ingeniería y proyectos
- Universidades y centros de investigación universitarios
- Gobiernos autonómicos
- Colegios profesionales
- Entidades ecologistas
- Entidades de protección de los consumidores

Asimismo, se han recibido 11 contribuciones de ciudadanos a título particular, procedentes tanto de científicos y técnicos con amplia experiencia en el sector del hidrógeno como de particulares sin vinculación al sector.

Figura 1. Etapas de la cadena de valor del hidrógeno. _____	12
Figura 2. Características tecnoeconómicas de diferentes tecnologías de electrolizadores. Fuente: The International Energy Agency. The Future of Hydrogen, June 2019. _____	13
Figura 3. Logística del Hidrógeno. _____	15
Figura 4. Madurez tecnológica. Fuente: The International Energy Agency. The Future of Hydrogen, June 2019 _____	16
Figura 5 Costes de transporte de Hidrógeno en función de la distancia recorrida y volumen transportado (\$/kg). Fuente: Bloomberg NEF. Hydrogen Economy Outlook, March 30, 2020. _____	18
Figura 6. Objetivos país a 2030. _____	42



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

MARCO ESTRATÉGICO DE ENERGÍA Y CLIMA