

**Interreg**



Cofinanciado por  
la Unión Europea  
Cofinanciado pela  
União Europeia

**España – Portugal**

**Futuretech-H<sub>2</sub>**

## **Actividad 1: “Identificación de Estado de situación y desarrollo de cadena de valor en la zona transfronteriza”**

**Entregable E1.1.- Documento estudio de situación actual del sector del hidrógeno verde a nivel global y transfronterizo.**

## Contenido

1. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO (ESTADO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO DEL SECTOR)	4
1.1 PRODUCCIÓN DE H <sub>2</sub>	4
1.1.1 Métodos de reformado de hidrocarburos	6
1.1.2 Producción de H <sub>2</sub> a partir de combustibles fósiles	7
1.1.3 Producción de Hidrógeno a partir de energías renovables	9
1.2 ALMACENAMIENTO DE H <sub>2</sub>	13
1.3 DISTRIBUCIÓN, SUMINISTRO Y APLICACIÓN	15
1.4 PELIGROS Y SEGURIDAD	17
2. ACTORES CLAVE (PRINCIPALES GRUPOS PROMOTORES E INVERSORES) EN ESPAÑA	18
2.1 ALIANZAS PÚBLICO-PRIVADAS EN ESPAÑA	18
3. ACTORES CLAVE (PRINCIPALES GRUPOS PROMOTORES E INVERSORES) EN PORTUGAL	23
3.1 ALIANZA PUBLICO PRIVADAS EN PORTUGAL	26
4. PROYECTOS: ÉXITOS Y DESAFÍOS (PROYECTOS DEL SECTOR FINALIZADOS Y EN PROCESO DE EJECUCIÓN) EN ESPAÑA	27
5. PROYECTOS: ÉXITOS Y DESAFÍOS (PROYECTOS DEL SECTOR FINALIZADOS Y EN PROCESO DE EJECUCIÓN) EN PORTUGAL	32
6. MARCO NORMATIVO	35
6.1 MARCO LEGAL Y REGULATORIO EN ESPAÑA	37

**Entregable E.1.1**

6.2	MARCO LEGAL Y REGULATORIO EN PORTUGAL	38
7.	ESTRATEGIAS GUBERNAMENTALES ESPAÑA (ESTRATEGIAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES PÚBLICAS PARA EL SECTOR)	39
7.1	POLÍTICAS GUBERNAMENTALES (ESTRATEGIA EUROPEA)	39
7.2	POLÍTICAS GUBERNAMENTALES (ESTRATEGIA NACIONAL ESPAÑOLA)	41
7.3	INCENTIVOS Y SUBVENCIONES EN ESPAÑA	51
8.	ESTRATEGIAS GUBERNAMENTALES EN PORTUGAL	55
8.1	POLÍTICAS GUBERNAMENTALES EN PORTUGAL(ESTRATEGIA NACIONAL)	55
8.2	INCENTIVOS Y SUBVENCIONES EN PORTUGAL	55
9.	BILBIOGRAFÍA	56

## 1. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO (ESTADO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO DEL SECTOR)

Las tecnologías de producción y almacenamiento constituyen un componente fundamental en el panorama contemporáneo de la industria. Estas tecnologías abarcan un conjunto diversificado de herramientas, sistemas y procesos diseñados para optimizar la eficiencia en la producción y facilitar el almacenamiento seguro de bienes y productos. En este contexto, la integración de innovaciones tecnológicas desempeña un papel crucial para impulsar la productividad y la gestión eficiente de recursos. En la siguiente sección, se explorarán en detalle las distintas facetas de estas tecnologías, desde los métodos de producción más avanzados hasta las soluciones de almacenamiento que aseguran la preservación y accesibilidad de los productos manufacturados.

A continuación, se presentará un análisis exhaustivo de las tecnologías de producción y almacenamiento, detallando los últimos avances en maquinaria industrial, técnicas de producción inteligente y sistemas de almacenamiento innovadores. Se abordarán temas específicos, como la automatización de procesos, la digitalización de la cadena de suministro y las tecnologías emergentes que están transformando la manera en que se produce y se almacena en diversos sectores industriales. Este análisis proporcionará una visión integral de cómo estas tecnologías están dando forma al presente y futuro de la producción y el almacenamiento a nivel global.

### 1.1 PRODUCCIÓN DE H<sub>2</sub>

En la actualidad, el consumo global de energía ha experimentado un aumento gradual, impulsado por el crecimiento de la población y los estándares de vida en constante evolución [1]. La modernización ha generado una deuda en el consumo energético, y la gran mayoría de la demanda mundial de energía se satisface mediante recursos de combustibles fósiles. El uso continuado de recursos fósiles finitos ha llevado a replantearse el escenario energético futuro del mundo, considerando la escasez de estos combustibles[2].

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera debido a la quema continua de combustibles fósiles plantea una seria amenaza para el entorno global y, como consecuencia, para el cambio climático. Este fenómeno se ha convertido en un motivo de preocupación urgente, ya que las consecuencias del cambio climático afectan a la estabilidad y sostenibilidad de nuestro planeta [3]. En esta sección, se analizarán en detalle las alternativas y tecnologías emergentes destinadas a abordar este desafío, explorando soluciones innovadoras para avanzar hacia un paradigma energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

## Entregable E.1.1

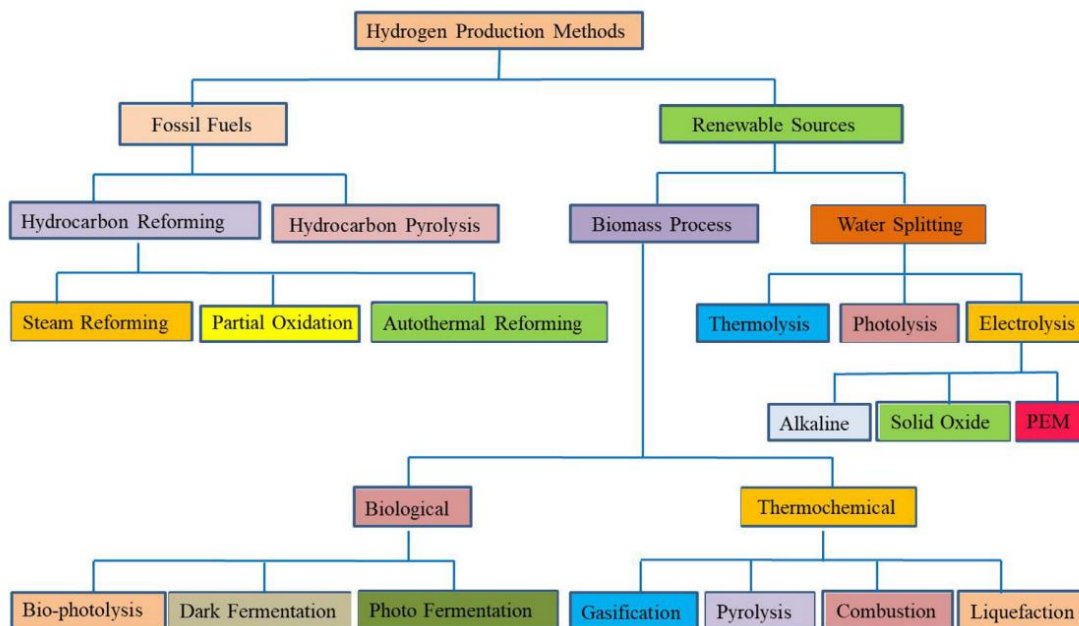


Figura 1 Diversos métodos de producción de hidrógeno. [4]

La expansión de la cantidad de fuentes renovables en el sistema de suministro se ve limitada por su naturaleza intermitente e impredecible. El aumento en la contribución de las fuentes de energía renovable, con la adaptación simultánea de la producción a la demanda, no sería factible sin el empleo de sistemas de almacenamiento de energía.[4][5]

El principal desafío para un dispositivo de almacenamiento es mantener la energía almacenada durante el tiempo necesario y, cuando se requiera, suministrarla tan pronto como sea posible. Con este propósito, varios estudios, en su esfuerzo por proporcionar una alternativa limpia y confiable a los combustibles fósiles tradicionales que gozan de esta característica particular, han dirigido su atención hacia la tecnología del hidrógeno.[6]

A diferencia de los combustibles fósiles, el hidrógeno no está fácilmente disponible en la naturaleza. Sin embargo, puede producirse a partir de cualquier fuente primaria de energía y luego utilizarse como combustible, ya sea para la combustión directa en un motor de combustión interna o en una celda de combustible, generando solo agua como subproducto.[7]

En la actualidad, aproximadamente el 96% de la producción mundial de hidrógeno proviene de combustibles fósiles no renovables en particular [8], de la reforma con vapor de metano, aproximadamente el 48% del hidrógeno se produce a partir de gas natural, el 30% proviene de aceites pesados y nafta, y el 18% se obtiene a partir del carbón.[10] Entre los diversos métodos de producción de hidrógeno, uno ecológico que permite obtener una alta pureza de hidrógeno (99.999%) es la electrólisis del agua para producir hidrógeno puro y oxígeno, conocido como electrólisis del agua.[9]

### 1.1.1 Métodos de reformado de hidrocarburos

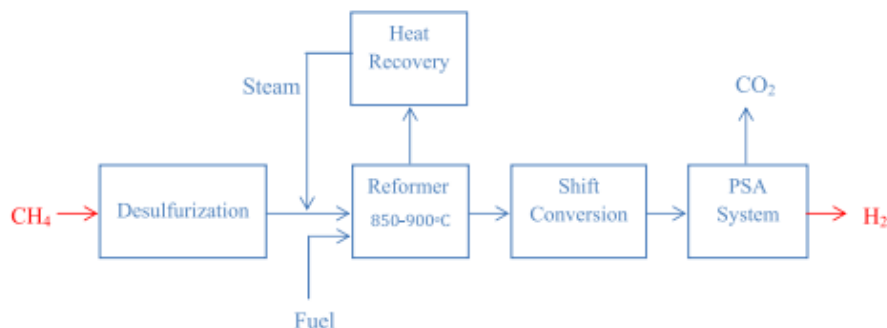


Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de reformado del metano para la generación de H<sub>2</sub> [11]

El proceso de reformado implica la conversión de hidrocarburos simples en con cadenas ramificadas o la formación de anillos[10]. Además del hidrocarburo, el reactante utilizado puede ser vapor de agua, lo que da lugar a una reacción endotérmica conocida como reformación con vapor, o oxígeno, que produce una reacción exotérmica denominada oxidación parcial. Cuando estas dos reacciones se combinan, se denomina reacción auto-térmica. Una instalación de reformado típica consta de una unidad de desulfurización, secciones de reformación y limpieza, así como unidades auxiliares como bombas, compresores, intercambiadores de calor y quemadores.

Entre los métodos de reformado más comunes se encuentra el reformado con vapor, que básicamente implica la conversión catalítica de hidrocarburos y vapor de agua en hidrógeno y óxidos de carbono. Los materiales de alimentación pueden ser diversos, desde metano y gas natural hasta otros hidrocarburos ligeros como naftas ligeras y pesadas. Si la materia prima contiene compuestos de azufre orgánico, se realiza un paso de desulfuración antes de la reformación para evitar la intoxicación del catalizador, que suele ser de níquel.

Para obtener un producto de hidrógeno purificado y evitar la formación de coque en la superficie del catalizador, se ajustan los parámetros de operación, como la temperatura, la presión y la relación vapor-carbono. Después del reformador, la mezcla de gases se somete a un paso de recuperación de calor y se introduce en un reactor WGS, donde el monóxido de carbono reacciona con vapor para producir más hidrógeno. Posteriormente, la mezcla puede pasar por un proceso de eliminación de CO<sub>2</sub> y purificación del gas, o por una adsorción por oscilación de presión (PSA) para obtener hidrógeno con una pureza cercana al 100%. Las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden reducirse significativamente mediante la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS), donde este último se captura e inyecta en yacimientos geológicos u océanos.[11]

La electrólisis del agua es uno de los métodos más eficientes para la producción de hidrógeno, ya que utiliza agua renovable y solo produce oxígeno puro como subproducto. Además, en el proceso de electrólisis se utiliza energía eléctrica de corriente continua proveniente de recursos energéticos sostenibles, como la solar, eólica y biomasa.

## Entregable E.1.1

El proceso consiste en un cátodo y un ánodo inmersos en un electrolito, y generalmente, cuando se aplica corriente eléctrica, el agua se divide y se produce hidrógeno en el cátodo, mientras que el oxígeno se desprende en el ánodo a través de la siguiente reacción.

Hasta la fecha, las tecnologías de electrólisis desarrolladas y comúnmente utilizadas son la alcalina, la de membrana de intercambio de protones (PEM) y las celdas de electrólisis de óxido sólido (SOEC).

En la electrólisis de agua PEM, el agua se divide electroquímicamente en hidrógeno y oxígeno en sus respectivos electrodos, el hidrógeno en el cátodo y el oxígeno en el ánodo. La electrólisis de agua PEM se realiza mediante el bombeo de agua hacia el ánodo, donde se divide en oxígeno (O<sub>2</sub>), protones (H<sup>+</sup>) y electrones (e<sup>-</sup>). Estos protones viajan a través de una membrana conductora de protones hacia el lado del cátodo. Los electrones salen del ánodo a través del circuito de alimentación externo, que proporciona la fuerza motriz (voltaje de la celda) para la reacción. En el lado del cátodo, los protones y electrones se recombinan para producir el hidrógeno.[12]

### **1.1.2 Producción de H<sub>2</sub> a partir de combustibles fósiles**

Existen diversas tecnologías para la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles, siendo las principales la reforma de hidrocarburos y el pirólisis de combustibles. Estos métodos son los más desarrollados y comúnmente utilizados, cubriendo casi la totalidad de la demanda de hidrógeno.

Los combustibles derivados del petróleo están limitados a reservas concentradas en regiones específicas del mundo. A la tasa actual de consumo de combustibles fósiles, se prevé que las reservas se agoten en menos de 50 años. Además, el aumento de las preocupaciones sobre las contribuciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera destaca la necesidad de una nueva forma de energía procedente de fuentes renovables y neutras en carbono, con un impacto ambiental negativo mínimo.[13]

#### **1.1.2.1 Gas natural**

Por definición, el reformado de hidrocarburos es el proceso mediante el cual el combustible de hidrocarburos se convierte en hidrógeno a través de diversas técnicas de reformado. La producción de hidrógeno tanto a partir de gas natural como de carbón presenta similitudes, ya que el combustible fósil se utiliza tanto como fuente de hidrógeno como fuente de energía para impulsar los procesos. Ya sea con gas natural o carbón, se genera un gas sintético que consiste principalmente en CO, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, junto con algo de agua o CH<sub>4</sub>, como resultado del proceso. El gas natural está compuesto principalmente por CH<sub>4</sub>, generado a través de la descomposición de sustancias orgánicas. Aunque el CH<sub>4</sub> puede ser producido mediante la digestión y biodegradación de residuos orgánicos, la mayor parte del CH<sub>4</sub> se obtiene de pozos de gas natural. El gas natural se encuentra predominantemente cerca de áreas con reservas de carbón u petróleo.

## Entregable E.1.1

El costo del hidrógeno producido mediante la reforma de gas natural con vapor es sensible al costo del gas natural. Más del 50% del hidrógeno producido se genera mediante la reforma de gas natural a gran escala, siendo esta la tecnología principal para la producción de hidrógeno en todo el mundo. La calidad del gas natural utilizado, especialmente su poder calorífico superior, la capacidad y eficiencia térmica de la planta, influyen en el costo final del hidrógeno producido.[11]

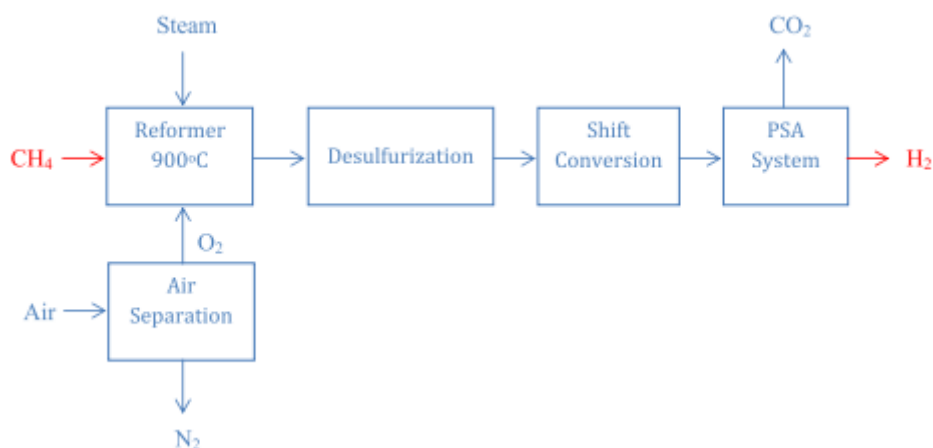


Figura 3 Diagrama de flujo del proceso de reformado autotérmico del metano

El gas de síntesis, una mezcla de hidrógeno, monóxido de carbono y una pequeña cantidad de dióxido de carbono, se crea mediante la reacción del gas natural con vapor a alta temperatura. El monóxido de carbono reacciona con agua para producir hidrógeno adicional. Este método es el más económico, eficiente y común.[14]

### 1.1.2.2 Carbón

A finales de 2013, Estados Unidos (26.6%), Rusia (17.6%) y China (12.8%) poseían las mayores reservas probadas de carbón en el mundo. Al considerar los recursos de carbón y la tasa constante de consumo de cada país, Estados Unidos tiene un suministro de carbón para 234 años, Rusia para 500 años, China para 45 años y el mundo en general para 133 años. A pesar de ser una fuente abundante, el carbón tiene casi el doble de impactos en comparación con el gas natural en términos de potencial de calentamiento global y salud humana ajustada por años de vida con discapacidad debido a las emisiones de GEI. Para minimizar la formación de contaminantes y reducir las emisiones de GEI en el proceso minero, se han empleado técnicas como la captura y almacenamiento de carbono y la gasificación del carbón, mientras que las alteraciones en las prácticas mineras han disminuido las preocupaciones ambientales.

Además, se emplea un sistema de CCS utilizando tecnología de membrana avanzada o adsorción oscilante a presión convencional para eliminar el carbono del gas. Se aplicó la técnica de generación de vapor de recuperación de calor para producir vapor y alimentar la instalación. A partir de estudios realizados, se concluyó que el costo del sistema de celda de combustible de óxido sólido es el más bajo, aunque el costo de capital de esta tecnología es elevado. El objetivo



## Entregable E.1.1

de estos estudios es comparar los precios de generación de hidrógeno a partir de carbón y determinar si tiene competencia económica con el uso de energías renovables.[15]

### 1.1.3 Producción de Hidrógeno a partir de energías renovables




	GREY HYDROGEN	BLUE HYDROGEN	GREEN HYDROGEN
Process	Reforming or gasification	Reforming or gasification with carbon capture	Electrolysis
Energy source	Fossil fuels 	Fossil fuels 	Renewable electricity 
Estimated emissions from the production process <sup>a</sup>	Reforming: 9 – 11 <sup>b</sup> Gasification: 18 – 20	0.4-4.5 <sup>c</sup>	0

Figura 4 Tipología seleccionada de códigos de colores para la producción de hidrógeno

Aunque actualmente los hidrocarburos son la principal materia prima utilizada para la producción de H<sub>2</sub>, la necesidad de aumentar la integración de tecnologías renovables se volverá inevitable. A medida que los combustibles fósiles disminuyen y el efecto invernadero atrae una mayor atención, se espera que la proporción de tecnologías renovables aumente en el futuro cercano y, a largo plazo, se espera que domine sobre las tecnologías convencionales.[11][2][13]

En la producción de H<sub>2</sub> a partir de recursos renovables, se emplean diversos procesos. A continuación, se presenta una breve descripción de algunas de estas opciones :

#### 1.1.3.1 Biomasa

La biomasa es una fuente renovable de energía primaria derivada de materiales de origen vegetal y animal, como cultivos energéticos, residuos de cultivos, madera de bosques y residuos forestales, pasto, residuos industriales, desechos animales y municipales, entre otros materiales. La biomasa proviene de materia orgánica en la que la energía solar se almacena en enlaces químicos a través de la fotosíntesis. Aunque se libera CO<sub>2</sub> cuando se utiliza biomasa para la producción de energía, la cantidad de emisión gaseosa es equivalente a la cantidad absorbida por los organismos cuando aún estaban vivos.[16]

## Entregable E.1.1

La pirólisis de biomasa es una ruta que genera gases, líquidos (como alquitrán y otros compuestos orgánicos) y sólidos (como carbón vegetal), los cuales se utilizan como fuentes alternativas de energía en tecnologías tradicionales de generación de hidrógeno.

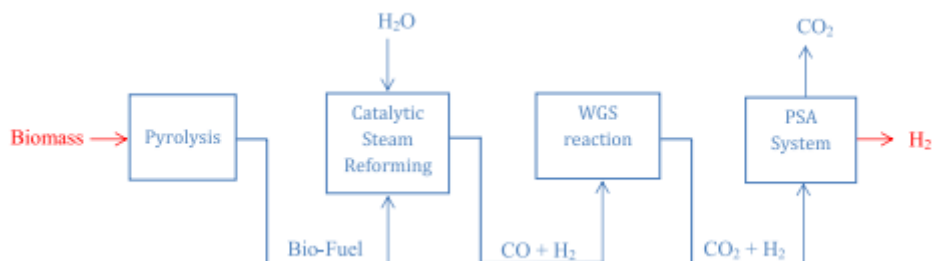


Figura 5 Diagrama de flujo del proceso de pirólisis de biomasa.

Por otro lado, la producción biológica de hidrógeno, también denominada biohidrógeno, representa un área atractiva dentro de la tecnología de procesamiento de combustibles. Los tres tipos principales de producción de hidrógeno a partir de microorganismos son las bacterias fermentativas, las bacterias anaeróbicas y las cianobacterias. El biohidrógeno obtenido mediante la fermentación de biomasa es uno de los métodos más prometedores para la producción de hidrógeno, lo que podría garantizar la viabilidad de una economía sostenible basada en el hidrógeno. Se han llevado a cabo numerosos estudios por parte de diversos investigadores en torno al concepto de "residuo cero". Por consiguiente, la tecnología destinada a la prevención y reducción de residuos se considera un desafío fundamental, en lugar de enfocarse en el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos.

La producción de biohidrógeno fermentativo a partir de diversos sustratos como residuos agrícolas, desechos de la industria alimentaria, aguas residuales y residuos sólidos municipales ha sido objeto de experimentación hasta la fecha. La cantidad de producción de hidrógeno a partir de glucosa se ve influenciada por los productos finales líquidos y las vías de fermentación. Aunque la digestión anaerobia de residuos orgánicos, incluidos los residuos agrícolas y municipales, así como el lodo de aguas residuales, ha demostrado su sostenibilidad para la producción de H<sub>2</sub>, los bajos rendimientos de hidrógeno obtenidos de la fermentación incluso de los azúcares más simples limitan la producción actual de H<sub>2</sub>. [13]

En general, la biomasa y la bioenergía ha recibido una atención particular en la matriz energética mundial debido al agotamiento de los combustibles fósiles y las preocupaciones medioambientales. Se enumeran algunas de las ventajas más importantes de la utilización de bioenergía, como [17]:

- La biomasa restaura tierras degradadas, aumentando la biodiversidad, la fertilidad del suelo y la retención de agua.
- La bioenergía contribuye a mitigar la pobreza en países en desarrollo.
- La bioenergía suministra la energía requerida en todo momento sin necesidad de instrumentos de conversión de energía complicados y procesos costosos.

## Entregable E.1.1

- La biomasa se encuentra en diversas formas, como sólida, líquida (biodiésel) y gaseosa (biogás).
- La biomasa puede considerarse sumidero de carbono porque es neutra en CO<sub>2</sub>.

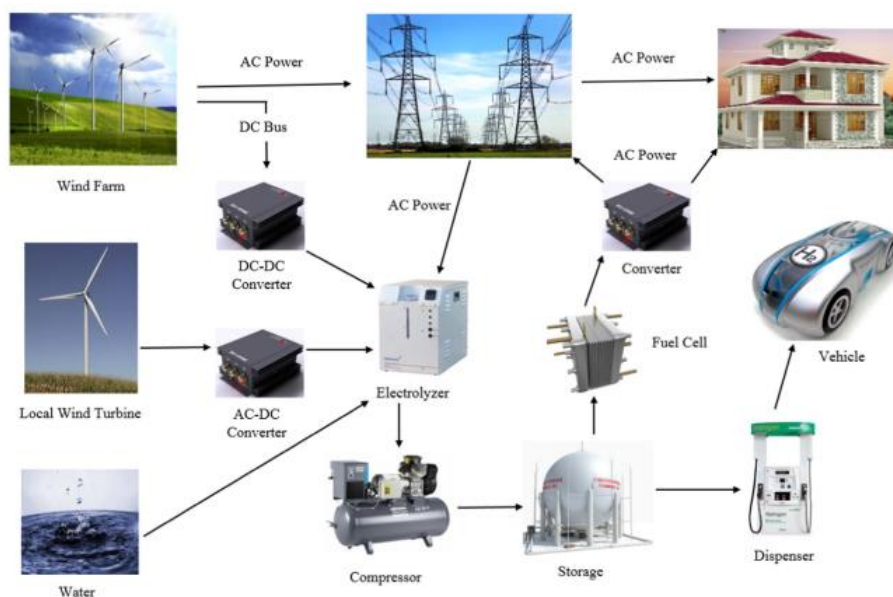
Energía eólica

Figura 6 Sistema integrado de generación de electricidad/hidrógeno a partir de energía eólica

La generación de electricidad a partir de energía eólica ilustra mínimos impactos negativos en el medio ambiente en comparación con otros recursos energéticos. De hecho, la energía eólica es una de las tecnologías más económicas entre las energías renovables en la generación de electricidad y se proyecta que esta tendencia de desarrollo continuará en el futuro. La estrategia de "viento a hidrógeno" mediante la electrólisis del agua podría ofrecer una solución a tales problemas. La electricidad excedente se almacena como hidrógeno y puede transformarse nuevamente en electricidad en momentos de bajo potencial eólico o cuando la congestión de la red lo haya detenido.

Se investigó el potencial del hidrógeno electrolítico como medio de almacenamiento para la energía eólica en el equilibrio de la red tanto para sistemas conectados a la red como para sistemas de red aislados. La sinergia de las plantas de energía eólica y los sectores de energía del hidrógeno convierte al hidrógeno en un mecanismo de amortiguación para las plantas de energía eólica para limitar las fluctuaciones en la energía eólica.[13] Además, el sistema viento a hidrógeno tiene una gran capacidad para ser aplicado en vehículos de uso ligero como combustible limpio para mitigar las crecientes tasas de GEI.[18]

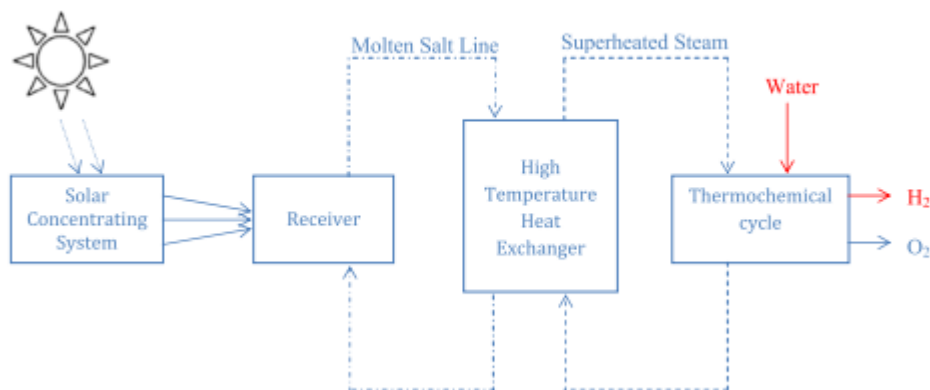
1.1.3.2 Energía Solar

Figura 7 Diagrama de flujo del proceso termoquímico de separación de agua con energía solar

La mejora en la eficiencia de los paneles solares es la principal causa del desarrollo de la energía solar en el mundo. Según las estadísticas publicadas por la Agencia Internacional de la Energía, la tendencia de crecimiento de la energía solar es mayor que la de otras energías renovables durante estos años [2]. En los sistemas de hidrógeno solar (SHS), la energía fotovoltaica (PV) divide las moléculas de H<sub>2</sub>O en H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, que se utilizan posteriormente en las celdas de combustible de hidrógeno y mediante electrolisis se produce electricidad cuando el sol no está brillando. La baja eficiencia de los SHS, así como el costoso precio de las células fotovoltaicas, son las barreras más importantes para el desarrollo comercial generalizado de la producción de hidrógeno basada en energía solar[19]. La eficiencia general de conversión de energía de los SHS se logra mediante la multiplicación de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos por la eficiencia del electrolizador. Por lo tanto, los sistemas solares térmicos ofrecen una mayor eficiencia en comparación con los sistemas fotovoltaicos. Los concentradores solares acoplados con ciclos termoquímicos de división del agua ofrecen una eficiencia de SHS más alta (hasta un 60-70%) en comparación con los SHS convencionales (sistema PV-sistema electrolizador) porque se elimina el proceso intermedio de conversión de energía solar en energía eléctrica.[13]

## 1.2 ALMACENAMIENTO DE H<sub>2</sub>



Figura 8 Recipientes estacionarios multifuncionales de hidrógeno

El almacenamiento de energía y la gestión de la potencia están adquiriendo una importancia creciente, ya que muchos países están dando mayor énfasis a la producción eléctrica a partir de fuentes renovables. A medida que la contribución de la electricidad generada a partir de fuentes renovables (viento y solar) aumenta, la inherente intermitencia en el suministro de estas tecnologías generadoras solo puede abordarse mediante un cambio significativo en el almacenamiento de energía. En términos simples, las tecnologías de almacenamiento de energía serán fundamentales en el futuro panorama de la energía limpia, asegurando un suministro seguro y continuo al consumidor desde una base de suministro más distribuida e intermitente. Esto será válido tanto para aplicaciones conectadas a la red como para aquellas fuera de ella. Dos mil millones de personas en todo el mundo (en países en desarrollo) no tienen acceso a la electricidad y no serán atendidas por una infraestructura eléctrica nacional tradicional. En su lugar, el crecimiento se producirá mediante suministro fuera de la red, para lo cual el almacenamiento es esencial, brindando considerables oportunidades para que la industria del Reino Unido satisfaga esta necesidad, financiada por el Banco Mundial. Aunque la necesidad de almacenamiento de energía será mucho mayor en el futuro, el problema de garantizar la calidad de la energía ya está presente, como se evidencia en los cortes de energía ocurridos en los últimos años en Europa y América del Norte. Se estima que la mala calidad de la energía ya provoca pérdidas de productividad del orden de los \$400 mil millones cada año en la economía de Estados Unidos.[4]

## Entregable E.1.1

Los combustibles fósiles presentan dos características importantes además de ser fuentes concentradas de energía. Actúan como almacenes de energía y son fácilmente transportables. Esto implica que los combustibles pueden ser almacenados hasta el momento en que se necesiten y transportados por ferrocarril, carretera o tubería hacia el lugar de utilización. Por otro lado, la mayoría de las fuentes de energía renovable (excepto la biomasa e hidroenergía) no pueden ser almacenadas ni transportadas directamente al lugar de uso, a menos que se conviertan primero en electricidad. La electricidad se destaca como la forma más versátil y preferida de energía para muchas aplicaciones, lo que explica la estrecha relación entre las energías renovables y la generación de electricidad. La electricidad se puede transmitir eficientemente a largas distancias y distribuir a los consumidores mediante cables, pero a menudo surge el desafío de ajustar la oferta para satisfacer la demanda. Esto impulsa la necesidad de desarrollar y aplicar sistemas para el almacenamiento eficiente de electricidad.[6]

Con el objetivo de cumplir con los objetivos de seguridad en el sistema de suministro de energía, protección ambiental y crecimiento económico de las sociedades, el almacenamiento del H<sub>2</sub> producido como combustible y portador de energía presenta, más allá de las ventajas indiscutibles, varios problemas en el desarrollo de las tecnologías necesarias para almacenamiento, transmisión y utilización. A temperatura ambiente y presión atmosférica, 1 kg de gas H<sub>2</sub> ocupa un volumen de 11 m<sup>3</sup>. Con una densidad tan baja de 0.09 kg/m<sup>3</sup>, el almacenamiento de H<sub>2</sub> se ha convertido en una de las principales barreras que restringen su uso generalizado. Los principales métodos de almacenamiento permiten almacenar el hidrógeno físicamente como gas o líquido, y en superficies o dentro de sólidos mediante adsorción y absorción, respectivamente. El almacenamiento gaseoso de hidrógeno a alta presión es actualmente el método más común y maduro, logrando altas presiones de hasta 77 MPa mediante compresores mecánicos estándar de tipo pistón. Sin embargo, la energía necesaria para la compresión es mucho mayor que 2.21 kWh/kg, proporcionando una densidad gravimétrica y volumétrica del 13% en peso y menos de 40 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente.[20]

El almacenamiento es una cuestión clave para la popularización del H<sub>2</sub> en el transporte. Actualmente, existen tanques presurizados a 350 y 700 atmósferas que permiten el almacenamiento de H<sub>2</sub> hasta porcentajes de peso de 5.5 y 11% en peso para una autonomía de 400 km. Estos tanques, contruidos con fibra de carbono, se utilizan en la flota de autobuses mencionada anteriormente y en algunos prototipos de automóviles, como el Ford Focus C-Max con ICE-H<sub>2</sub>. La energía de compresión representa alrededor del 10% del Poder Calorífico Inferior de H<sub>2</sub>, lo cual es un valor aceptable. Sin embargo, el costo de fabricación es de alrededor de \$3000/kg de H<sub>2</sub>, mientras que el objetivo del DOE para 2015 para el almacenamiento de H<sub>2</sub> en vehículos es de \$67/kg de H<sub>2</sub>. Dado que el alto costo está relacionado principalmente con el material del tanque (fibra de carbono), no se prevé que una reducción futura de costos cumpla con los requisitos establecidos. Una alternativa a estos tanques presurizados es el almacenamiento criogénico (20K) en un tanque de doble cámara aislante. Estos tanques son menos voluminosos y pueden almacenar una mayor cantidad de hidrógeno (equivalente a la compresión a 845 atmósferas), pero son más pesados y, en consecuencia, el porcentaje de peso de H<sub>2</sub> es similar al obtenido después de presurizar a 350 atmósferas (aproximadamente 5% en

## Entregable E.1.1

peso). Además, los costos de fabricación son elevados y la energía de licuefacción equivale al 30% del Poder Calorífico Inferior.[7] Es evidente que cualquier solución futura debe involucrar un tipo de almacenamiento alternativo, al menos para vehículos privados

### 1.3 DISTRIBUCIÓN, SUMINISTRO Y APLICACIÓN

Existen dos modos posibles para el transporte y distribución de H<sub>2</sub>. La primera categoría se refiere al transporte a granel mediante recipientes de almacenamiento, remolques de camiones, vagones de tanques ferroviarios y contenedores, mientras que la segunda incluye los gasoductos. La baja capacidad de carga junto con la falta de capacidad para manejar el H<sub>2</sub> a través de los medios convencionales de la primera categoría resulta en altos costos de entrega. El futuro sistema de transporte y distribución de H<sub>2</sub> podría parecerse a los gasoductos actuales de gas natural y podría concebirse como parte de un sistema de redes que incluye electricidad y gas natural [11].

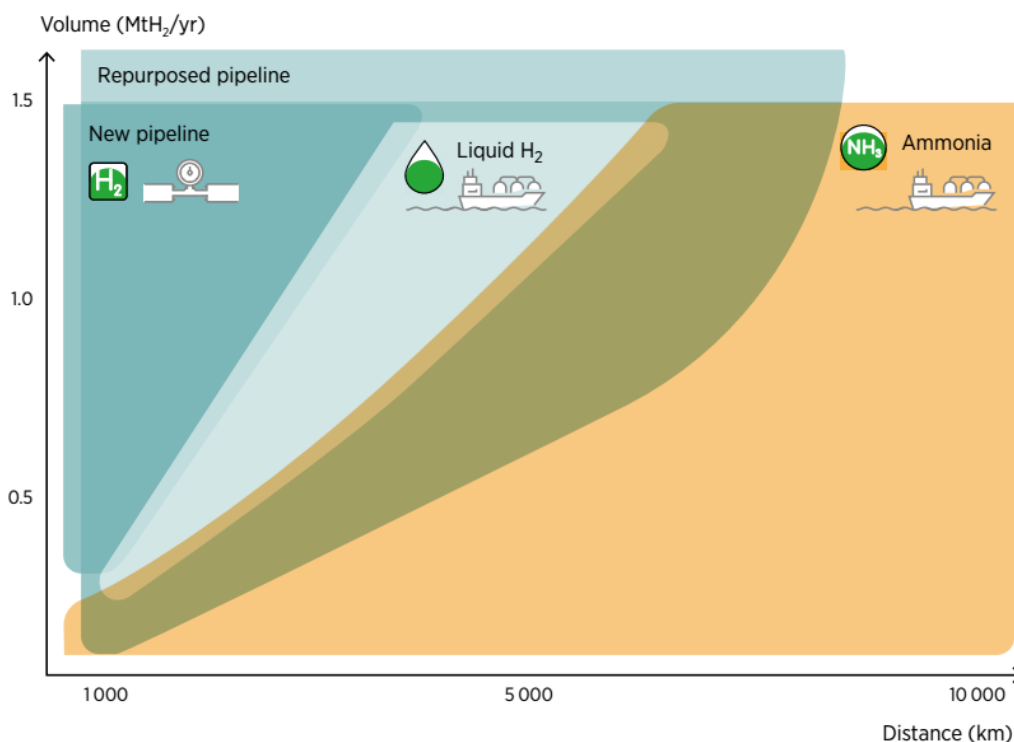


Figura 9 Rentabilidad de las opciones de transporte teniendo en cuenta el volumen y la distancia [21]

En términos de simplicidad, modularidad y protección ambiental, las celdas de combustible son de gran interés en relación con la generación de energía, calefacción y transporte. Las celdas de combustible de electrólito polimérico podrán proporcionar desde unos pocos kW hasta cientos de kW para la generación de energía y cogeneración en aplicaciones residenciales e industriales, y una eficiencia de dos a tres veces mayor que la de los vehículos convencionales, mientras que las celdas de combustible de carbonato fundido y las celdas de combustible de óxido sólido (SOFC) estarán disponibles para la generación distribuida y la cogeneración industrial, desde algunos cientos de kW hasta decenas de MW.

## Entregable E.1.1

La producción centralizada de hidrógeno en plantas de cogeneración térmica equipadas con CCS, reformadores y electrolizadores de mayor escala conducirá a la creación de una red de distribución de hidrógeno para transferirlo desde los puntos de producción hasta los puntos de consumo (estaciones de recarga y sistemas residenciales de cogeneración). Actualmente, hay aproximadamente 16,000 km de tuberías de H<sub>2</sub> en todo el mundo que suministran H<sub>2</sub> a refinerías y plantas químicas. Estas tuberías tienen un diámetro de 25-30 cm y operan a 10-20 atmósferas, aunque podrían operar a presiones de hasta 100 atmósferas. Teniendo en cuenta que las tuberías de H<sub>2</sub> deben fabricarse con materiales no porosos como el acero, su costo para un diámetro dado es aproximadamente el doble que el de las tuberías utilizadas para transportar gas natural.

Además, dado que la densidad volumétrica del hidrógeno es una cuarta parte de la del gas natural, el costo de una tubería de H<sub>2</sub> es aproximadamente seis veces mayor que el de una tubería de gas natural. Las estimaciones de la AIE consideran que el costo de inversión para nuevas tuberías sería de \$1.4/Lge, lo que equivale a una inversión mundial de alrededor de 5000 mil millones de dólares por 1 Gton de H<sub>2</sub>. También necesitaríamos incluir aproximadamente 300 mil millones de dólares para cubrir el costo de las estaciones de recarga en una red centralizada. El costo se reduciría considerablemente si la infraestructura de gas natural pudiera adaptarse al H<sub>2</sub>. Una red descentralizada de estaciones de recarga costaría más del doble de esta estimación. Aunque se evitaría el costo de distribución, el costo de producción global de H<sub>2</sub> sería mucho mayor. Si asumimos que la creación de una red centralizada podría llevar hasta 60 años, el costo anual sería de aproximadamente 80 mil millones de dólares. Esto representa solo alrededor del 8% del gasto mundial en armamento en 2004.[7]

Tabla 1 Tipos de almacenamiento del Hidrogeno [21]

Categoría	Tipo
Almacenamiento de gas	Hidrógeno comprimido
Almacenamiento líquido	Hidrógeno líquido
Almacenamiento químico (hidruro metálico)	Hidruro de magnesio (MgH <sub>2</sub> ), hidruro de calcio (CaH <sub>2</sub> ), hidruro de sodio (NaH)
Almacenamiento físico (estructura metálica orgánica)	PCN-6, PCN, red de coordinación porosa

El almacenamiento de hidrógeno gaseoso a alta presión es actualmente el método más común y maduro, alcanzando altas presiones de hasta 77 MPa utilizando compresores mecánicos tipo pistón estándar. Sin embargo, el trabajo necesario para la compresión es mucho mayor que 2.21 kWh/kg, lo que proporciona una densidad gravimétrica y volumétrica de 13 wt% y menos de 40 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente [11].

La tecnología de hidrógeno a presión depende de la alta permeabilidad de los materiales al hidrógeno y de su estabilidad mecánica bajo presión. Actualmente, los tanques de acero pueden almacenar hidrógeno a 200–250 bar pero presentan una relación muy baja de hidrógeno



## Entregable E.1.1

almacenado por unidad de peso. La capacidad de almacenamiento aumenta con presiones más altas, pero entonces se requieren materiales más resistentes.

Para alcanzar una mayor capacidad de almacenamiento, se requieren presiones más altas en el rango de 700 bar, con los inevitables requisitos adicionales de energía auxiliar para la compresión. Actualmente se está investigando en materiales que sean adecuados para su uso en tales presiones elevadas.[5]

### 1.4 PELIGROS Y SEGURIDAD

Se requiere una evaluación sistemática para evaluar los efectos potencialmente dañinos de tecnologías y productos. La 'evaluación de tecnología' tiene como objetivo analizar y evaluar las consecuencias deseables y no deseables de las tecnologías.

La estación de recarga de hidrógeno es un área altamente riesgosa debido a la alta presión del H<sub>2</sub> comprimido y su alta inflamabilidad. Por lo tanto, se requieren medidas de seguridad para operar sin problemas estas estaciones de llenado y los vehículos que funcionan con H<sub>2</sub>. Las inspecciones de seguridad se llevarían a cabo utilizando el 'Método de Evaluación de Riesgos'. [22]

La falla mecánica repentina de dispositivos de almacenamiento de hidrógeno de alta presión o la activación del dispositivo de alivio de presión causan fugas de hidrógeno. Un chorro de hidrógeno a alta presión puede formar un fuego en chorro bajo ciertas condiciones, el cual puede impactar en objetos y emitir radiación térmica. [20]

Normalmente se instalan muros de barrera para proteger a las personas y las instalaciones de la llama del chorro de hidrógeno o de la radiación térmica. Sin embargo, este confinamiento puede aumentar el riesgo de explosión de hidrógeno y provocar una sobre-presión disruptiva. Cuando se utilizan muros de barrera para mitigar estos peligros causados por la llama del chorro de hidrógeno, es importante asegurarse de que no creen riesgos adicionales inesperados.

El hidrógeno se conoce por tener excelentes propiedades combustibles y explosivas, pero también tiene una alta tendencia a fugarse a través de contenedores o tuberías debido a su pequeño tamaño molecular. Por lo tanto, todas las aplicaciones de hidrógeno tienen problemas de seguridad que requieren un monitoreo continuo y preciso de las fugas de hidrógeno durante su transporte, almacenamiento y uso.

Una medida de seguridad es importante para el hidrógeno debido a su muy baja densidad (0.0899 kg/m<sup>3</sup>) y punto de ebullición (20.39 K), combinado con un alto coeficiente de difusión (0.61 cm<sup>2</sup>/s en aire). En cuanto a sus características de combustión, tiene una baja energía mínima de ignición (0.017 mJ), alto calor de combustión (142 kJ/g H<sub>2</sub>) y un amplio rango inflamable (4–75%), así como una alta velocidad de combustión, sensibilidad a la detonación y una temperatura de ignición de 560°C. También tiene una alta permeabilidad a través de muchos materiales, lo que exige precauciones especiales en ciertas aplicaciones. Siendo un gas inflamable incoloro, inodoro y sin sabor, el hidrógeno no puede ser detectado por los sentidos

## Entregable E.1.1

humanos, por lo que se requieren otros medios para detectar su presencia y cuantificar la concentración. [21]

A través del Programa Canadiense de Seguridad del Hidrógeno de la CTFCA, se está aplicando una sólida metodología de evaluación cuantitativa de riesgos combinada con programas experimentales para desarrollar datos de tasas de fallos, validar modelos de dispersión y consecuencias, así como desarrollar tecnología de sensores y estudios de evaluación de riesgos específicos para la aplicación, todo ello adaptado a las necesidades canadienses para facilitar la aceptación de las tecnologías del hidrógeno y el hidrógeno como combustible por parte de los interesados canadienses [23]. Algunos autores exploran la aplicación de acuerdos voluntarios prospectivos (PVA) como herramienta/proceso de política que puede ayudar a facilitar el avance hacia una economía basada en el hidrógeno a través de la previsión y la negociación. Desde esta perspectiva, examinamos el caso reciente del proyecto de Prospectiva Energética del Hidrógeno Nórdico como evidencia.[24]

## 2. ACTORES CLAVE (PRINCIPALES GRUPOS PROMOTORES E INVERSORES) EN ESPAÑA

En la siguiente sección se expone los participantes fundamentales en el ámbito del hidrógeno verde. A continuación, se presentará un resumen tabular que resaltará datos esenciales sobre estos actores, brindando una comprensión clara de su relevancia en el panorama actual de la transición hacia una energía más sostenible. En el emergente panorama de proyectos de hidrógeno verde, los actores clave incluyen una combinación de inversores y promotores tanto del ámbito público como del privado. Estos jugadores desempeñan un papel fundamental en la financiación, desarrollo y promoción de iniciativas que impulsen la producción y utilización de hidrógeno verde como una alternativa sostenible y de bajas emisiones. Tanto las entidades gubernamentales como las empresas privadas están cada vez más comprometidas con el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde, reconociendo su potencial para abordar los desafíos relacionados con la descarbonización y la transición hacia una economía más limpia y sostenible.

En el webinar organizado por el Cluster Andaluz del Hidrógeno se destacaron noticias sobre el lanzamiento del Programa de Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE), dirigido específicamente a la descarbonización de la industria manufacturera. Este clúster, como la primera asociación dedicada a la tecnología del hidrógeno como fuente energética en la región de Andalucía, desempeña un papel crucial al difundir información relevante sobre avances y proyectos relacionados con el hidrógeno verde tanto a nivel regional como internacional.[25]

### 2.1 ALIANZAS PÚBLICO-PRIVADAS EN ESPAÑA

El PERTE destinado a la descarbonización de la industria manufacturera se divide en cuatro líneas de ayuda, siendo la primera la más directamente relacionada con el impulso del hidrógeno verde como vector energético. Esta primera convocatoria cuenta con un presupuesto inicial de 1.000

## Entregable E.1.1

millones de euros, dirigido a proyectos que permitan la descarbonización de los procesos industriales. Estará especialmente dirigida a empresas intensivas en emisiones y consumos energéticos, ofreciendo financiación para proyectos de eficiencia energética y soluciones innovadoras como el hidrógeno verde.

En total, el **PERTE** para la descarbonización de la industria contará con un presupuesto de 3.100 millones de euros, con 1.400 millones en subvenciones y 1.700 millones en préstamos. Estos proyectos, gestionados directamente por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, representan un nuevo instrumento de colaboración público-privada que involucra a diferentes administraciones públicas, empresas y centros de investigación.[26]

Además, **la Asociación Española del Hidrógeno (AeH2)**, que representa a cerca de 400 socios de toda la cadena de valor del hidrógeno en España, incluyendo promotores de renovables, fabricantes de equipos y componentes, ingenierías y EPC, Oil & Gas, gases industriales, transporte y organizaciones ligadas al sector, se posiciona como la voz del sector en el país. Desde su fundación en 2002, la AeH2 trabaja para fomentar, promover e impulsar el desarrollo tecnológico e industrial de las tecnologías del hidrógeno en España, contando con las empresas, instituciones e investigadores más activos en estas áreas, convencidos del gran potencial económico de estas tecnologías y su impacto positivo en la sociedad y economía españolas.[27]

El amplio presupuesto asignado al Programa de PERTE refleja el compromiso tanto del sector público, a nivel de la Unión Europea como local, como del sector privado, con la transición hacia una economía más verde y sostenible. En línea con esta visión, existen iniciativas como el Centro Ibérico de Investigación en Almacenamiento Energético (CIIAE), que se erige como respuesta a los desafíos tecnológicos y científicos en la gestión de la energía verde. El CIIAE se posiciona como un actor clave en el impulso de soluciones innovadoras para el almacenamiento y la gestión eficiente de la energía renovable, contribuyendo así al avance hacia un futuro energético más limpio y sostenible.[28]



Figura 10 Socios promotores de la Asociación Española del Hidrogeno

La participación del sector privado es fundamental en la implementación y desarrollo de proyectos relacionados con la transición hacia una economía más sostenible. En abril de 2023, se destaca la implicación de diversas empresas en un total de 37 proyectos asociados a iniciativas pioneras y singulares, con una inversión de 150 millones de euros. Además, dentro del programa de cadena de valor, las líneas 1 y 2 cuentan con una inversión conjunta de 50 millones de euros.[29] Varias de las empresas representativas se encuentran enlistadas en la Tabla 2.

Tabla 2 Empresas, proyectos y perfil de la empresa relevantes en el sector energético específicamente en hidrogeno [30][31][29][32]

Empresas	Proyectos	Perfil
<b>Cepsa</b>	Valle andaluz del hidrógeno. Instalación de parques energéticos en San Roque (Cádiz) y Palos de la Frontera (Huelva) en 2027. Producción de energía eólica y solar para alimentar los electrificadores de hidrógeno.	Cepsa es una empresa española que opera en los sectores de refino, gas y energías renovables. Cuenta con una amplia cartera de productos y servicios, y está presente en más de 80 países.
<b>Enagás</b>	Red de transporte de hidrógeno de 3,800 kilómetros en tubos en dos ramales. Uno, valorado en 1.650 millones, se conectará a la costa cantábrica, Navarra y el área del Levante. El otro ramal, valorado en 2.275 millones, conectará los polos andaluces del hidrógeno con Puertollano y Galicia.	Enagás, S.A. es una empresa dedicada al transporte y regasificación de gas natural, con presencia en España y en los cinco continentes. Cuenta con una amplia red de infraestructuras gasistas propias y de terceros, lo que le permite ofrecer servicios de transporte, regasificación y almacenamiento de gas natural.

**Entregable E.1.1**

<p><b>Iberdrola</b></p>	<p>Además de la planta de Puertollano, inaugurada en junio del año pasado, la empresa tiene previsto invertir 2.000 millones hasta 2027 para desarrollar instalaciones adicionales de producción de hidrógeno. Uno de los proyectos planificados es la construcción de la planta 'GreenH2F' en el puerto de Palos de la Frontera (Huelva), la cual abastecerá de hidrógeno a Fertiberia. Esta instalación requerirá una inversión total estimada de unos 1.150 millones de euros, con 450 millones destinados a la primera fase, programada para concluir en 2026.</p>	<p>Iberdrola es una compañía global que opera en los sectores de generación, distribución y comercialización de energía. Está presente en los cinco continentes y cuenta con una amplia cartera de productos y servicios.</p>
<p><b>Naturgy</b></p>	<p>El proyecto denominado Catalina es impulsado por el fondo Copenhague Infrastructure Partners (CIP) en colaboración con Enagás Renovable, Naturgy y Fertiberia. Su propósito central es la producción de más de 50.000 toneladas anuales de hidrógeno verde en la primera fase del proyecto, con planes de iniciar operaciones en el año 2027. Esta iniciativa tiene como objetivo significativo la reducción de emisiones, estimándose que evitará la emisión de casi 400.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al</p>	<p>Naturgy es una multinacional energética española que opera en los sectores de generación, distribución y comercialización de energía. Está presente en los cinco continentes y cuenta con una amplia cartera de productos y servicios.</p>
<p><b>Repsol</b></p>	<p>Repsol ha puesto en marcha su primer electrolizador en el centro industrial de Petronor (Muskiz, Vizcaya). Con una inversión de 11 millones de euros, este hidrógeno renovable tiene un uso industrial en la propia refinería, reduciendo la huella de carbono de los productos.</p>	<p>Repsol es una multinacional energética española que opera en los sectores de exploración y producción de petróleo y gas, refino, gas y energías renovables. Está presente en más de 78 países y cuenta con una amplia cartera de productos y servicios.</p>
<p><b>bp</b></p>	<p>bp ha presentado hoy el Clúster del hidrógeno de la Comunidad Valenciana (HyVal) en su refinería de Castellón. Liderada por bp y basada en la colaboración público-privada, esta iniciativa se centra en el desarrollo de hasta 2 GW de capacidad de electrólisis de aquí a 2030 para producir hidrógeno verde.</p>	<p>BP es una multinacional británica que opera en los sectores de exploración y producción de petróleo y gas, refino, gas y energías renovables. Está presente en más de 70 países y cuenta con una amplia cartera de productos y servicios.</p>

## Entregable E.1.1

<b>H2 Green Steel</b>	H2 Green Steel e Iberdrola participan en la construcción de una planta de hidrógeno verde con una capacidad instalada de 1.000 MW y una inversión proyectada de 2.300 millones de euros. La futura instalación suministrará combustible limpio a un horno de reducción directa de mineral de hierro con la capacidad de generar aproximadamente 2 millones de toneladas anuales de hierro puro verde, logrando una reducción del 95% en las emisiones de CO <sub>2</sub> .	H2 Green Steel opera una planta completamente integrada, digitalizada y circular. Este enfoque innovador permite la producción de acero verde, con una reducción notable de hasta un 95 por ciento en las emisiones de CO <sub>2</sub> en comparación con los métodos tradicionales de producción de acero.
<b>Porcelanosa</b>	Iberdrola y Porcelanosa están llevando a cabo la primera solución innovadora a escala real para electrificar la producción cerámica, integrando energías renovables, hidrógeno verde y bomba de calor. El proyecto, conocido como GREENH2KER, marca el inicio de una colaboración conjunta después del reciente acuerdo entre ambas empresas para impulsar la descarbonización del proceso industrial en la producción cerámica.	Porcelanosa Grupo, un conglomerado empresarial español, se especializa en la manufactura y comercialización de pavimentos y revestimientos cerámicos y naturales, fachadas, superficies de última generación, mobiliario de cocina, sanitarios, grifería, accesorios de baño y soluciones de colocación, con un enfoque integral en temas medioambientales y de sostenibilidad.
<b>CAF</b>	En el marco del proyecto FCH2Rail, el tren de hidrógeno desarrollado por CAF ha recibido la autorización para realizar pruebas en la red ferroviaria española, habiendo completado su primer trayecto hasta la estación de Canfranc, en el Pirineo Aragonés.	CAF proporciona soluciones ferroviarias integrales a nivel global, que van más allá del suministro de trenes e incluyen estudios de viabilidad, obra civil, electrificación, señalización, mantenimiento y, en algunos casos, operación del sistema. Gracias a estos proyectos integrados basados en modelos de concesión o llave en mano, los clientes obtienen una solución única y específica, asegurando la integración y compatibilidad de todos los sistemas involucrados.

## Entregable E.1.1

<b>ACCIONA</b>	<p>ACCIONA Energía ha anunciado la firma de un acuerdo con las entidades energéticas del Gobierno de Aruba para colaborar en el desarrollo de un valle de hidrógeno verde en la isla. La colaboración implica el trabajo conjunto en el diseño, construcción y operación de una planta de hidrógeno verde alimentada por un proyecto de autoconsumo renovable.</p>	<p>ACCIONA se especializa en el desarrollo y gestión de soluciones de infraestructuras sostenibles, con un enfoque particular en energías renovables. Su actividad abarca toda la cadena de valor, desde el diseño y la construcción hasta la operación y el mantenimiento. Con una perspectiva integral, ACCIONA se dedica a impulsar soluciones de infraestructura eficientes y respetuosas con el medio ambiente a nivel mundial, destacando su compromiso con la sostenibilidad en cada etapa del proceso, desde la concepción hasta la operación continua de los proyectos</p>
----------------	--	---

### 3. ACTORES CLAVE (PRINCIPALES GRUPOS PROMOTORES E INVERSORES) EN PORTUGAL

Al igual que en España, el panorama del hidrógeno verde en Portugal está compuesto por una mezcla de actores públicos y privados que desempeñan roles fundamentales en la financiación, desarrollo y promoción de esta tecnología.

Portugal ha presentado una Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde con el objetivo de alcanzar una producción de 1 GW de hidrógeno verde para 2030. Se han puesto en marcha diversos proyectos de hidrógeno verde en Portugal, como el proyecto HyEnergy, que tiene como objetivo producir hidrógeno verde a partir de energía solar.

El sector del hidrógeno verde en Portugal está en pleno desarrollo, con un fuerte apoyo del gobierno y la participación de empresas líderes del sector energético. El gobierno portugués ha anunciado una inversión de 200 millones de euros en el desarrollo del sector del hidrógeno verde. Portugal tiene un gran potencial para convertirse en un hub de producción y exportación de hidrógeno verde. La colaboración entre los diferentes actores del sector será clave para el éxito del desarrollo del hidrógeno verde en Portugal.

Nombre	Proyectos destacados en Hidrógeno Verde	Descripción de la empresa
--------	---	---------------------------

## Entregable E.1.1

Floene	"Greenpipeline - Abarca cerca de 80 clientes, residenciales, terciarios e industriales. Los clientes abarcados comenzaron a recibir una mezcla de 2% de hidrógeno verde en la red de gas, que aumentará gradualmente hasta un máximo de 20%, en un período de 2 años, duración estimada para la realización de este proyecto piloto."	FLOENE nace a partir de Galp Gás Natural Distribuição, que cuenta con un legado de 175 años de historia. Es responsable de la gestión de 9 concesiones regionales de distribución de gas, estando presente en 106 municipios de Portugal, llevando energía a empresas, comunidades y familias de todo el país.
A REN - Gasodutos	"GreenH2Atlantic representa una inversión de 204 millones de euros y tendrá alrededor de 242 km de tuberías, de los cuales 162 km estarán en Portugal. Esta infraestructura se complementará con otros proyectos, en particular con la interconexión H2Med/BarMar (España-Francia) y con infraestructuras que conectarán las redes de hidrógeno francesas y alemanas.	Operador de la Red Nacional de Transporte de Gas es responsable del transporte entre las diversas infraestructuras y del envío de gas a alta presión a las centrales eléctricas de ciclo combinado y otros grandes consumidores industriales, así como a los puntos de entrega a las redes de distribución, desde las cuales se abastece a la mayoría de los consumidores finales.
Omexom Portugal,	El proyecto Tagus H2 consiste en la construcción de una planta de producción de hidrógeno verde de 10 MW, ubicada en la región interior de Portugal. El hidrógeno producido por la planta podrá utilizarse para su inyección en la red nacional de transporte de gas natural y para abastecer una estación de servicio de hidrógeno verde para vehículos pesados	Omexom comenzó su actividad en el año 2000, cuando 20 unidades de negocio regionales especializadas en la transmisión y transformación de electricidad en Francia adoptaron la marca Omexom. La empresa se diversificó en servicios de producción y distribución y se posicionó en toda la cadena de valor del sector energético.



## Entregable E.1.1

Efacec	Bajo el nombre GreenH2Atlantic, el proyecto de producción de hidrógeno renovable en Sines será desarrollado por un consorcio formado por 13 entidades. Se basa en un electrolizador de 100 MW compuesto por módulos escalables de 8 MW.	Efacec, fundada en 1948, es una empresa portuguesa que opera en los sectores de energía, ingeniería y movilidad. Se destaca por ofrecer soluciones completas para la generación, transmisión y distribución de energía, así como sistemas para el transporte y la industria.
Dourogas	El proyecto H2Driven, financiado por el PRR, producirá metanol verde mediante la combinación de gas de síntesis obtenido de la gasificación de biomasa e hidrógeno verde generado por electrólisis del agua con energía solar. El metanol verde se destinará a la industria y la movilidad pesada. Se espera que el proyecto esté operativo en 2025 con una producción anual de 50 kton de metanol.	Fundada en 2003, Dourogas es una empresa portuguesa del sector energético con sede en Vila Real. Se dedica a la comercialización de gas natural, gas licuado de petróleo (GLP) y energía eléctrica. Dourogas ofrece soluciones personalizadas para clientes residenciales, comerciales e industriales, con un enfoque en la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental. La empresa invierte en tecnología e innovación para garantizar la calidad de sus servicios y la satisfacción de sus clientes.
Capwatt	El proyecto H2GREENPOWER instala una unidad pionera de producción de hidrógeno verde por electrólisis de agua mediante tecnología PEM. La unidad tiene una capacidad total de 1,2 MW y produce hidrógeno verde para la red de distribución interna que alimenta el motor de cogeneración del polo empresarial del Sonae Campus, ubicado en el municipio de Maia, distrito de Porto.	Fundada en 2008, Capwatt es una empresa portuguesa con sede en Maia que se dedica al sector de las energías renovables. La empresa desarrolla, construye y opera proyectos de energía solar fotovoltaica y eólica. Capwatt ofrece soluciones completas para clientes residenciales, comerciales e industriales, ayudándoles a reducir costes y emisiones de carbono. La empresa apuesta por la tecnología y la innovación para garantizar la calidad de sus proyectos y la satisfacción de sus clientes.

## Entregable E.1.1

<p>Bondalti</p>	<p>H2Enable, integrado en las agendas movilizadoras del Plan de Recuperación y Resiliencia (PRR) de Portugal, y con una inversión estimada de 142 millones de euros hasta 2026, es un proyecto liderado por Bondalti. Otros socios como Air Liquide, la Facultad de Ingeniería de Oporto, APQuímica e HyLab colaboran en la construcción de una infraestructura para la producción de hidrógeno verde en el Complejo Químico de Estarreja.</p>	<p>Bondalti es la mayor empresa química portuguesa y líder en la producción de cloro en la Península Ibérica. También es líder europeo en ventas de anilina. Además, participa en el tratamiento de agua y está comprometida con la sostenibilidad.</p>
-----------------	--	---

### 3.1 ALIANZA PUBLICO PRIVADAS EN PORTUGAL

El desarrollo del hidrógeno verde en Portugal se distingue por una colaboración intensa entre el sector público y el privado. Esta sinergia se manifiesta en diversas alianzas estratégicas que abarcan diferentes ámbitos del sector, desde la investigación y el desarrollo hasta la producción y comercialización del hidrógeno verde.

Con un marco regulatorio favorable para el avance del sector del hidrógeno verde, Portugal promueve la inversión mediante incentivos fiscales y financieros atractivos. La estrategia nacional establece metas ambiciosas para la producción, consumo y exportación de hidrógeno verde, destacando:

- Instalación de 1 GW de capacidad de producción de hidrógeno verde para 2030.
- Reducción del 30% en las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energético para 2030.
- Creación de 10,000 empleos en el ámbito del hidrógeno verde para 2030.

Actualmente, las dos alianzas público-privadas más prominentes y relevantes son:

HyLab (EDP, GALP, BONDALTI, IST, FEUP, INEGI, INESCTEC, ITQB-NOVA, INL, LNEG, CEIIA):

- Agilizar la implementación de la producción, almacenamiento, transporte y uso del hidrógeno verde en Portugal a precios competitivos.
- Desarrollar tecnologías innovadoras que contribuyan a la transición energética global y la descarbonización.

## Entregable E.1.1

- Anticiparse seis años al equilibrio de costes entre el hidrógeno verde y el fósil, posicionando a HyLab y a la industria portuguesa como referentes en el mercado internacional del hidrógeno verde.

GreenH2Atlantic: (VESTAS, E...)

- Consorcio integrado por EDP, Galp, ENGIE, Bondalti, Martifer, Vestas Wind Systems A/S, McPhy, Efacec, ISQ, INESC-TEC, CEA, DLR y Axelera.
- Contribuir significativamente a los objetivos de sostenibilidad de la región y de Portugal a través de la creación de un 'valle de hidrógeno' en Sines, lo que a su vez aportará una contribución notable a la hoja de ruta energética de Europa.

### 4. PROYECTOS: ÉXITOS Y DESAFÍOS (PROYECTOS DEL SECTOR FINALIZADOS Y EN PROCESO DE EJECUCIÓN) EN ESPAÑA

En la sección que sigue, se abordarán varios proyectos vinculados al hidrógeno verde. Estos proyectos abarcan áreas clave como la generación, el almacenamiento y la distribución de hidrógeno, y reflejan el creciente interés y la inversión en tecnologías sostenibles para la transición energética.

#### Hidrogenara en Madrid

La reciente inauguración de una hidrogenara en Madrid a principios de febrero de 2021 marca un hito significativo en el impulso del hidrógeno verde en España. Esta estación de repostaje, diseñada para vehículos eléctricos de pila de combustible, ofrece una capacidad diaria de suministro de hasta diez kilogramos de hidrógeno a una presión de 700 bares. La hidrogenara abastece a una flota de doce vehículos Toyota Mirai, destacando su potencia máxima de 155 CV y una autonomía superior a los 500 kilómetros, con la ventaja adicional de un tiempo de repostaje de tan solo cinco minutos. Limitada inicialmente a las empresas colaboradoras del proyecto, como Toyota España, Enagás y otras entidades, esta instalación se ubica en la Avenida de Manoteras 34, siendo la primera en su clase en la Comunidad de Madrid y contribuyendo al impulso de la movilidad sostenible en España. [33]

#### 100M€ destinados a proyectos para producción de H2 renovable

En línea con los esfuerzos por promover el hidrógeno verde, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha destinado 100 millones de euros a proyectos innovadores de grandes electrolizadores para la producción de hidrógeno renovable, como parte de la Línea 3 del Programa H2 Cadena de Valor. Gestionado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), este programa ha asignado ayudas a siete proyectos en cinco comunidades autónomas, incluyendo Andalucía, donde se ubicarán tres proyectos. De especial relevancia es la asignación de fondos a iniciativas en zonas de Transición Justa y Reto Demográfico, como los entornos de antiguas centrales térmicas en Almería, A

## Entregable E.1.1

Coruña y Asturias, evidenciando el compromiso por impulsar la transición hacia una economía más sostenible y equitativa en toda España.[32]

### Proyecto del Corredor Vasco

El proyecto del Corredor Vasco del Hidrógeno (BH2C) tiene como objetivo la producción de 20.000 toneladas anuales de hidrógeno verde y cuenta con una inversión prevista de más de 1.300 millones de euros. Este esfuerzo conjunto entre el Gobierno de Euskadi y la empresa Petronor-Repsol involucra a numerosas instituciones, centros de investigación y empresas, y comprende la instalación de varias plantas de producción de hidrógeno en diferentes fases. Además, se destinarán fondos para proyectos de investigación que impulsen el uso de hidrógeno en la movilidad y la climatización de edificios. Paralelamente, el Valle de Hidrógeno en Cataluña, desarrollado por la Generalitat en colaboración con Enagás y Repsol, busca fomentar el uso de hidrógeno verde en procesos industriales y la producción a gran escala para usos químicos e industriales. Por otro lado, el Corredor del Hidrógeno del Ebro busca integrar las infraestructuras regionales relacionadas con el hidrógeno renovable en el noreste de España, incluyendo la producción, transporte y almacenamiento, así como la creación de un nuevo ecosistema industrial sostenible en la región.[34]

### Proyecto de Corredor Europeo

Al nivel europeo, H2Med ha emergido como el primer corredor de hidrógeno verde destinado a Alemania, según lo respaldado por autoridades, operadores e industrias durante el evento "H2Med, un ejemplo de cooperación energética europea", organizado por los Transmission System Operators (TSO) europeos que lideran este proyecto. En este contexto, OGE, el Transmission System Operator de Alemania, ha suscrito un memorando de entendimiento con los operadores del Sistema Gasista en España (Enagás), Francia (GRTgaz y Teréga) y Portugal (REN) con el propósito de impulsar el corredor de hidrógeno verde europeo H2Med.[35]

Además, Enagás, como empresa gestora del sistema gasista, se encuentra en un proceso de análisis durante dos meses para evaluar la viabilidad de producir, transportar y comercializar hidrógeno verde, generado a partir de fuentes renovables. Esta evaluación se llevará a cabo mediante una consulta no vinculante dirigida a productores, comercializadores y consumidores de hidrógeno, con el fin de verificar la idoneidad de proyectos concretos que puedan integrarse en su red de transporte de 3.800 kilómetros, presentada en enero. Este paso estratégico, respaldado por accionistas clave como BlackRock, Pontegadea (Amancio Ortega) y el Estado a través de la SEPI, busca asegurar la posición de Enagás en un mercado en evolución, donde el gas natural está perdiendo terreno debido a sus implicaciones contaminantes. Se pretende convertir a España en el epicentro del hidrógeno verde en Europa, en línea con el ambicioso plan del Proyecto Estratégico para la Recuperación Económica y Transformación (PERTE) de Energías Renovables, Hidrógeno Verde y Almacenamiento (ERHA), aprobado por el Gobierno en 2021, que destinará más de 6.900 millones de euros en fondos públicos para impulsar proyectos innovadores en energía verde y movilizar cerca de 9.500 millones del sector privado.[36]

**Entregable E.1.1**Proyectos de CEPSA

Cepsa ha sido galardonada con el premio a la Mejor Iniciativa de Hidrógeno de 2023 por su destacado desarrollo del Valle Andaluz del Hidrógeno Verde, considerado el proyecto más significativo presentado en Europa hasta la fecha, con una capacidad de electrólisis de 2 GW. Este reconocimiento se otorgó durante la segunda edición de La Noche de la Energía, un evento de renombre en el sector energético español, organizado por El Periódico de la Energía. El hidrógeno verde producido por Cepsa jugará un papel crucial en la descarbonización de sus actividades, así como en la industria y el transporte pesado terrestre, aéreo y marítimo. Este proyecto, respaldado por una inversión de 3.000 millones de euros, contempla la construcción de dos plantas con capacidad de 1 GW cada una, ubicadas en Palos de la Frontera (Huelva) y San Roque (Campo de Gibraltar). Cepsa ha establecido alianzas estratégicas con importantes empresas a lo largo de toda la cadena de valor del hidrógeno, como Fertiberia, EDP, Enagás Renovable y Alter Enersun, con el propósito de impulsar la sostenibilidad industrial y fomentar el desarrollo integral del sector del hidrógeno en Andalucía. Este ambicioso proyecto también posicionará a los puertos andaluces como líderes mundiales en el suministro de combustibles verdes para el transporte marítimo. Además, el acuerdo con el Puerto de Róterdam amplía su alcance internacional al desarrollar el primer corredor de hidrógeno verde que conectará el norte y el sur de Europa, enlazando los puertos de Róterdam y Algeciras.[37]

A modo de resumen, se incluirá una tabla que resalta datos clave sobre estos emprendimientos, proporcionando una visión objetiva y concisa de su importancia en el contexto actual de la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

**Tabla 3** *Tabla de resumen de los proyectos relevantes en el ámbito del hidrogeno verde en diferentes zonas.*  
[30][32][29][31]

Proyecto	Descripción	Año	Beneficiarios	Estado	Zona
<b>Transformación y Demostración de una locomotora de maniobras propulsada por Hidrógeno verde [LOC2H2] Andalucía.</b>	Esta iniciativa tiene como objetivo convertir una locomotora diésel en una locomotora propulsada por hidrógeno verde. La locomotora se utilizará para el transporte de mercancías en la región andaluza.	2023	Alstom, ADIF, Autoridad Portuaria de Sevilla, Viesca, H2B2, Fundación para el Desarrollo de Nuevas Tecnologías, Bjg Synerhy y la Universidad de Sevilla.	Adjudicados	Andalucia

## Entregable E.1.1

<b>H2Tractor</b>	Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un tractor propulsado por hidrógeno verde. El tractor se utilizará para la agricultura sostenible.	2023	Evolution Synergetique Automotive	Adjudicados	Andalucía
<b>TeStack H2</b>	Realizar estudios de viabilidad técnica y económica, diseñar y desarrollar plataformas de ensayo, realizar ensayos de celdas de electrolisis, validar el rendimiento de las plataformas de ensayo.		H2b2 Electrolysis Technologies	Adjudicados	Andalucía
<b>PLATAFORMA DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD-ARIEMA</b>	Esta plataforma de ensayo se utilizará para probar y validar la tecnología de electrólisis de Ariema Enerxia. La plataforma incluye instalaciones de ensayo de corrosión, celdas de electrolisis y sistemas de control.	2023	Ariema Enerxia	Adjudicados	Andalucía
<b>AIRA H2</b>	Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de generación y distribución de hidrógeno verde. El sistema se utilizará para abastecer de hidrógeno verde a los hogares y las empresas en la región andaluza.	2022	Atlántica, Redexis, Siderurgica Sevillana y Sailh2	Adjudicados	Andalucía
<b>GREEN H2 LOS BARRIOS</b>	Este proyecto tiene como objetivo construir una planta de electrólisis de 17,5 MW en Los Barrios (Cádiz). La planta producirá hidrógeno verde reutilizando agua de mar.	2022	EDP	Desarrollo	Andalucía

## Entregable E.1.1

<b>Implantación de 17,5MW de hidrogeno renovable en el Parque Energético de San Roque</b>	Instalar una planta de producción de hidrógeno renovable de 17.5MW en el Parque Energético de San Roque. La planta utilizará agua reciclada de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) para producir hidrógeno mediante electrólisis. El hidrógeno se utilizará para abastecer de combustible a vehículos y otros usos.	2022	CEPSA	Desarrollo	Andalucia
<b>GREEN HYCHEMICAL HUELVA</b>	Este proyecto tiene como objetivo construir una nueva planta de metanol verde en Huelva. La planta producirá metanol verde a partir de hidrógeno verde.	2022	Energias Renovables Shirokuro S. L	Desarrollo	Andalucia
<b>PROYECTO NASCAR</b>	Este proyecto tiene como objetivo producir hidrógeno verde para generar energía eléctrica limpia. El hidrógeno se utilizará para generar energía eléctrica para abastecer a los hogares y las empresas en la región andaluza.	2022	Innde CTAER	Desarrollo	Andalucia
<b>Corredor Vasco del Hidrógeno (BH2C)</b>	Este proyecto tiene como objetivo crear un ecosistema del hidrógeno en el País Vasco. El proyecto incluye la construcción de una planta de electrólisis, una red de distribución de hidrógeno y una serie de proyectos piloto.	2022	Gobierno de Euskadi, Petronor-Repsol	Terminado	Bizkaia

Entregable E.1.1

<p><b>Vall de L’Hidrogen Catalunya</b></p>	<p>Este proyecto tiene como objetivo impulsar el conocimiento, la producción e implantación del hidrógeno en Cataluña. El proyecto incluye la construcción de una planta de electrólisis, una red de distribución de hidrógeno y una serie de proyectos piloto.</p>	<p>2020</p>	<p>Universitat Rovira i Virgili, Enagás, Repsol</p>	<p>Terminado</p>	<p>Cataluña</p>
--	---	-------------	---	------------------	-----------------

Por otro lado, en la ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HIDRÓGENO, podemos encontrar un MAPA INTERACTIVO que muestra los proyectos de hidrógeno (planificados o en activo) que tienen nuestros socios en España. Actualmente solo salen reflejados los proyectos de demostración con un TRL 7 o superior. En futuras actualizaciones se añadirán proyectos con TRL inferiores.[38]

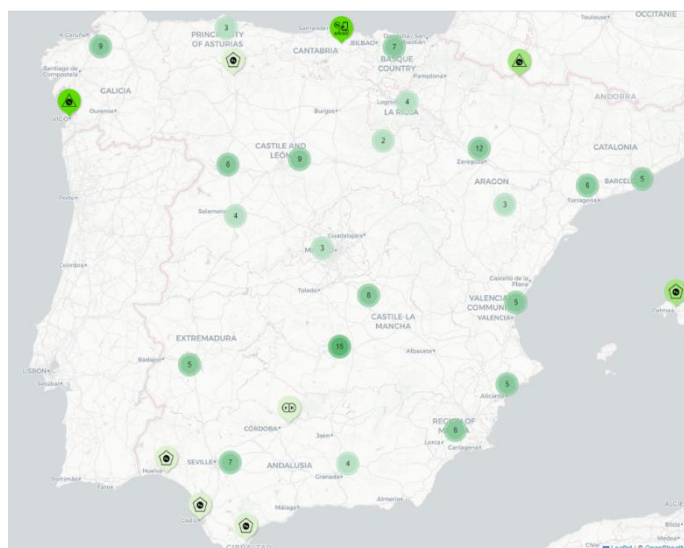


Figura 11 Mapa de proyectos de H2 de la Asociación Española de H2

## 5. PROYECTOS: ÉXITOS Y DESAFÍOS (PROYECTOS DEL SECTOR FINALIZADOS Y EN PROCESO DE EJECUCIÓN) EN PORTUGAL

En esta sección, se presenta una lista de los principales proyectos de hidrógeno en curso y finalizados en Portugal. El objetivo es proporcionar una visión general del estado actual del desarrollo del hidrógeno en el país.



## Entregable E.1.1

A continuación, se presenta un análisis de tres proyectos emblemáticos en este ámbito: Greenpipeline, H2Enable y H2Driven, destacando sus características y su contribución al desarrollo de la industria del hidrógeno verde.

### Greenpipeline

Greenpipeline se presenta como un proyecto innovador en el municipio de Seixal, Portugal. Con el objetivo de impulsar la descarbonización y la sostenibilidad energética, este proyecto tiene como meta principal la inyección de hidrógeno verde en la red de distribución de gas natural existente.

### H2Enable

Con base en el Complejo Químico de Estarreja, la Agenda H2Enable busca acelerar e transformar la cadena de valor del hidrógeno verde en Portugal. Este proyecto, impulsado por Bondalti, Air Liquide, la Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, el Laboratório Colaborativo HyLab y la APQuímica, se centra en tres áreas clave:

Desarrollo de tecnologías innovadoras para la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno verde a menor costo y mayor eficiencia.

Inversión Productiva: Construcción de una fábrica de hidrógeno verde a gran escala en Estarreja, satisfaciendo la demanda de diversos sectores económicos.

Promoción y Difusión: Ampliación del conocimiento sobre el hidrógeno verde y sus beneficios, fomentando su adopción por empresas y consumidores.

H2Enable contribuirá a la descarbonización de la economía portuguesa, generando nuevos empleos, reforzando la competitividad del país y posicionándolo como un líder global en la producción y utilización de hidrógeno verde.

### H2Driven

H2Driven es un proyecto emblemático que tiene como objetivo demostrar la viabilidad del hidrógeno verde como combustible para el transporte pesado. Contempla la implementación de una flota de camiones pesados que funcionan con hidrógeno verde. H2Driven demostrará la eficiencia y la sostenibilidad del hidrógeno verde en el transporte de larga distancia, abriendo el camino para su adopción a gran escala en este sector.

La siguiente tabla proporciona una descripción más detallada de cada proyecto, incluyendo sus objetivos, participantes y estado actual

Proyecto	Descripción	Año	Beneficiarios	Estado	Zona
----------	-------------	-----	---------------	--------	------

## Entregable E.1.1

<b>Greenpipeline</b>	Este Proyecto tiene como objetivo introducir hidrógeno verde en la red de gas natural.	2021	FLOENE, GESTENE, ISQ,PNF	Desarrollo	Seixal
<b>GreenH2Atlantic</b>	Demostrar la viabilidad técnica y económica de la producción, transporte y utilización de hidrógeno verde a gran escala: Abrir camino para la descarbonización del sector energético.	2023	REN; EnaGás, EDP, Tereos, McPhhy, Hy2Gen, CNIM, IST	Candidatura	Sul Europe
<b>Tagus H2</b>	Crear una nueva cadena de valor para el hidrógeno verde: Estimular el desarrollo de la industria del hidrógeno verde en la Región Centro de Portugal.		OMEXON Portugal, Universide de COimbra, EDP renovaveis,	Desarrollo	Região Centro Portugal
<b>H2Driven</b>	El Proyecto, que contempla todo el ciclo de vida, desde la investigación, ingeniería, construcción, logística y comercialización de toda la producción de electricidad renovable, H2 y metanol renovable, incluye la construcción de una Unidad Industrial, que deberá estar concluida hasta finales de 2025 y entrar en operación en 2026.	2023	EFACEC, CAPWatt, Universidade do Porto, UEVORA,IPP,D ourogas,	Desarrollo	Portugal
<b>H2Enable</b>	Construcción de una fábrica de hidrógeno verde de gran escala fundamental para el país, así como de las correspondientes infraestructuras de soporte, que permitirán que el hidrógeno verde allí producido llegue a un número elevado de usuarios y consumidores, en varios sectores económicos.	2023	Bondalti, Universidade do Porto, Associação HYLAB	Desarrollo	Estarreja

## Entregable E.1.1

<b>H2GREENPOWER</b>	El presente proyecto tiene como objetivo la reducción del consumo de combustibles fósiles a través de la instalación de una unidad pionera de producción de hidrógeno verde por electrólisis de agua por tecnología PEM con capacidad total de 1,2 MW. La unidad producirá hidrógeno verde para ser inyectado en la red de distribución interna que alimenta el motor de cogeneración del polo empresarial del Sonae Campus, ubicado en el municipio de Maia, distrito de Porto	2021	CAPWatt	Finalizado	Maia
---------------------	---	------	---------	------------	------

## 6. MARCO NORMATIVO

El marco de la política energética y climática en España está determinado por la Unión Europea (UE), en respuesta a los requerimientos del Acuerdo de París para abordar la crisis climática. La UE ratificó el Acuerdo en octubre de 2016, seguido por España en 2017. La Comisión Europea presentó el "paquete de invierno" en 2016 para promover la energía limpia en toda Europa. Este marco normativo y político busca cumplir con los objetivos vinculantes para la UE en 2030, que incluyen la reducción de emisiones, el aumento de las energías renovables, la mejora de la eficiencia energética y la interconexión eléctrica entre los Estados miembros. Además, la Comisión Europea ha establecido una visión estratégica a largo plazo para alcanzar una economía climáticamente neutra en 2050. El PNIEC en España prioriza la eficiencia energética como principio fundamental, con el objetivo de alcanzar una mejora significativa en este aspecto para 2030, lo que beneficiará a la economía española en su conjunto.[39]

El hidrógeno renovable es una solución fundamental y sostenible para la descarbonización de la economía. Es parte de la estrategia para lograr la neutralidad climática en 2050 y promover la innovación en las cadenas de valor industriales tanto en España como en la Unión Europea, así como para desarrollar una economía verde de alto valor añadido.

El hidrógeno renovable tiene un gran potencial como vector energético en áreas donde su uso es la opción más eficiente para la descarbonización, como en la industria intensiva en hidrógeno, procesos de alta temperatura, transporte pesado de larga distancia, transporte marítimo, transporte ferroviario o aviación. Además, su capacidad como vector energético lo convierte en una herramienta valiosa para el almacenamiento energético y la integración sectorial.

## Entregable E.1.1

En el contexto de la Unión Europea, las políticas y objetivos están alineados con acciones destinadas a promover el uso del hidrógeno renovable como parte fundamental de la estrategia de descarbonización y desarrollo económico sostenible. Destacan iniciativas como la inclusión del hidrógeno renovable en la Directiva 2018/2001, así como la Iniciativa del Hidrógeno lanzada en 2018, que resaltan su potencial para la descarbonización y la competitividad económica europea.

El Pacto Verde Europeo también contempla varias estrategias y mecanismos de financiación para impulsar el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno renovable. En la primera fase (2020-2024), se prevé la instalación de al menos 6 GW de electrolizadores en la UE y la producción de hasta 1 millón de toneladas de hidrógeno renovable. Esto incluye su uso en sectores como la industria química y el transporte pesado, con la instalación de electrolizadores cerca de centros de demanda y su alimentación con fuentes locales de electricidad renovable.

En la segunda fase (2025-2030), se espera que el hidrógeno renovable se integre aún más en el sistema energético, con el objetivo de instalar al menos 40 GW de electrolizadores y producir hasta 10 millones de toneladas de hidrógeno renovable en la UE. Se espera que el hidrógeno renovable sea competitivo en precio y se utilice en una variedad de sectores, incluyendo la fabricación de acero y aplicaciones de transporte.

Finalmente, en la tercera fase (2030-2050), se espera que las tecnologías de hidrógeno renovable alcancen la madurez y se desplieguen a gran escala en sectores difíciles de descarbonizar. Se espera que una cuarta parte de la electricidad renovable se utilice para la



Figura 12 Pacto verde europeo [38]

## Entregable E.1.1

producción de hidrógeno renovable en 2050, y se prevé su uso en una amplia gama de sectores, desde la aviación hasta el sector industrial y de la edificación.

En el ámbito nacional, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) incluye medidas específicas para promover los gases renovables. Estas medidas hacen referencia a diferentes tipos de gases renovables, como el biogás, el biometano y el hidrógeno de origen renovable, y se fomentará su penetración mediante la aprobación de planes específicos. Además, se destaca el papel del hidrógeno en la gestión de los vertidos renovables del sistema eléctrico, dentro de la medida de gestión de demanda, almacenamiento y flexibilidad.

Por otro lado, la Estrategia a Largo Plazo para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra en 2050 establece el camino para alcanzar la neutralidad climática en el año 2050. Esto implicará transformaciones profundas en la estructura del sistema energético, incluyendo el almacenamiento de energía eléctrica y la integración sectorial inteligente, con el objetivo de reducir las emisiones de GEI en al menos un 90% en 2050 respecto al año de referencia 1990.

En el ámbito nacional, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) incluye medidas específicas para promover los gases renovables. Estas medidas hacen referencia a diferentes tipos de gases renovables, como el biogás, el biometano y el hidrógeno de origen renovable, y se fomentará su penetración mediante la aprobación de planes específicos. Además, se destaca el papel del hidrógeno en la gestión de los vertidos renovables del sistema eléctrico, dentro de la medida de gestión de demanda, almacenamiento y flexibilidad.

Por otro lado, la Estrategia a Largo Plazo para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra en 2050 establece el camino para alcanzar la neutralidad climática en el año 2050. Esto implicará transformaciones profundas en la estructura del sistema energético, incluyendo el almacenamiento de energía eléctrica y la integración sectorial inteligente, con el objetivo de reducir las emisiones de GEI en al menos un 90% en 2050 respecto al año de referencia 1990.[40]

### 6.1 MARCO LEGAL Y REGULATORIO EN ESPAÑA

El Reglamento Delegado 2023/1184, complementario a la Directiva (UE) 2018/2001, establece una metodología detallada para la producción de combustibles renovables de origen no biológico (RFNBOs) líquidos y gaseosos para el transporte en la Unión Europea. Reconociendo la diversidad de fuentes de producción de RFNBOs, se enfoca en el uso de electricidad tanto de conexión directa como de la red. Recientes modificaciones a la Directiva (UE) 2018/2001 han aumentado la ambición de los objetivos de energías renovables en el sector del transporte e introducido nuevos objetivos para la industria. Esto incluye disposiciones específicas para el hidrógeno renovable, ampliando la definición de RFNBOs y estableciendo requisitos adicionales para su producción.[41]

La producción de hidrógeno actualmente se considera una actividad industrial, clasificada dentro de la industria química para la producción de un gas inorgánico. Sin embargo, la

## Entregable E.1.1

legislación existente no hace distinciones regulatorias basadas en el método de producción, la cantidad producida o el uso previsto del hidrógeno, lo que no refleja su potencial como vector energético. En consecuencia, la producción de hidrógeno, independientemente de cómo se genere, está sujeta a la Autorización Ambiental Integrada con Evaluación de Impacto Ambiental, diseñada originalmente para industrias químicas de gran escala. En este contexto, se detallan los procedimientos y regulaciones aplicables a la producción de hidrógeno mediante electrólisis en plantas de generación renovable, considerando también los condicionantes asociados al desarrollo de tales instalaciones en el marco de la generación eléctrica, como lo establecido en la Ley 1/2021 de simplificación administrativa. [42]

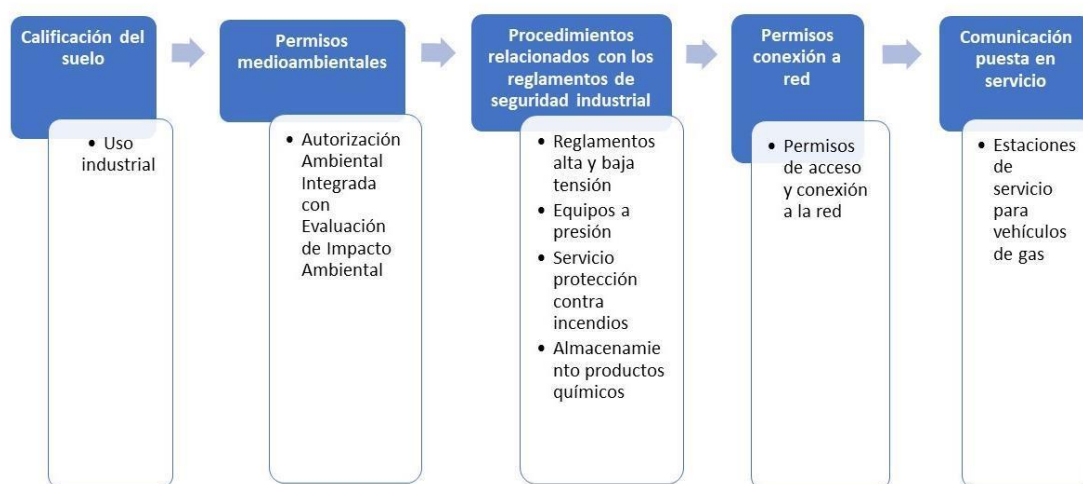


Figura 13 Esquema de trámites y procedimientos asociados a una hidrogenera con producción de hidrógeno in situ

## 6.2 MARCO LEGAL Y REGULATORIO EN PORTUGAL

El hidrógeno emerge como un vector energético clave en la estrategia de descarbonización de la economía portuguesa, ofreciendo potencial para diversificar las fuentes de energía, reforzar la seguridad energética y fomentar la creación de empleo. El establecimiento de una cadena de valor sólida para el hidrógeno requiere un marco legal y regulatorio robusto que asegure la seguridad, la sostenibilidad y la competitividad del sector.

- En Portugal, las principales normativas y reglamentos que rigen el sector del hidrógeno se resumen en la siguiente lista de decretos y piezas legislativas:
- Decreto-Lei nº 105/2023: Establece el régimen jurídico de la producción, transporte, distribución y utilización del hidrógeno.
- Portaria nº 150/2023: Regula el licenciamiento de las instalaciones de producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno.
- Norma NP 4467:2023: Define los requisitos de seguridad para las instalaciones de producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno.
- Lei nº 58/2019: Establece el régimen jurídico de la movilidad eléctrica, implicando también al sector del hidrógeno.

## Entregable E.1.1

- Directiva (UE) 2018/2001: Fomenta la utilización de energías renovables, lo que incluye al hidrógeno producido de fuentes renovables.
- Reglamento (UE) 2018/842: Establece los requisitos técnicos para los sistemas de gas natural e hidrógeno, promoviendo la integración de este último en la infraestructura energética europea.

Este marco legal y regulatorio proporciona la base necesaria para el desarrollo seguro y eficiente del hidrógeno como pilar de la transición energética en Portugal.

## 7. ESTRATEGIAS GUBERNAMENTALES ESPAÑA (ESTRATEGIAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES PÚBLICAS PARA EL SECTOR)

En esta sección, se abordarán aspectos relacionados con las políticas y estrategias adoptadas por las diversas administraciones públicas en España en el ámbito del hidrógeno. Se iniciará con un análisis general de las directrices establecidas a nivel europeo para luego examinar su implementación y adaptación en el contexto español. Se destacarán especialmente las estrategias implementadas en el sur de España, donde se llevará a cabo un análisis detallado de las acciones y medidas específicas adoptadas en esta región. Esta sección ofrecerá una visión completa de cómo las políticas gubernamentales están contribuyendo a la transición hacia una economía basada en el hidrógeno en España, con un enfoque específico en el sur del país.

### 7.1 POLÍTICAS GUBERNAMENTALES (ESTRATEGIA EUROPEA)

La Comisión Europea reconoce la necesidad de acelerar la descarbonización del sector energético para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones en 2030 y alcanzar la neutralidad climática en 2050. En este contexto, los combustibles gaseosos renovables, como el hidrógeno, emergen como vectores energéticos clave, especialmente en sectores donde la electrificación directa no es viable. El rápido desarrollo tecnológico en torno al hidrógeno renovable se considera prioritario para la próxima década, ya que puede impulsar la competitividad de la UE y reducir su dependencia externa. La Comisión ha adoptado una estrategia detallada que establece objetivos claros para la producción y utilización del hidrógeno en diferentes fases, junto con un plan de inversión tanto público como privado para alcanzar estos objetivos.

Además, la Comisión Europea ha establecido una serie de medidas para garantizar la plena implementación de la Estrategia del Hidrógeno, destacando acciones clave como la revisión del reglamento de redes transeuropeas de energía, la publicación de un paquete de descarbonización del sector del gas y la modificación de la Directiva de infraestructura de combustibles alternativos. Además, se ha creado la Alianza del Hidrógeno Limpio como un instrumento clave para facilitar la agenda de inversiones. Se han anunciado convocatorias específicas de ayudas para la construcción de grandes electrolizadores e integración del hidrógeno en infraestructuras clave como puertos o aeropuertos. Estas medidas, algunas ya en

## Entregable E.1.1

marcha y otras en proceso de implementación, buscan acelerar el despliegue del hidrógeno renovable para reducir la dependencia energética exterior de la UE y avanzar hacia un sistema

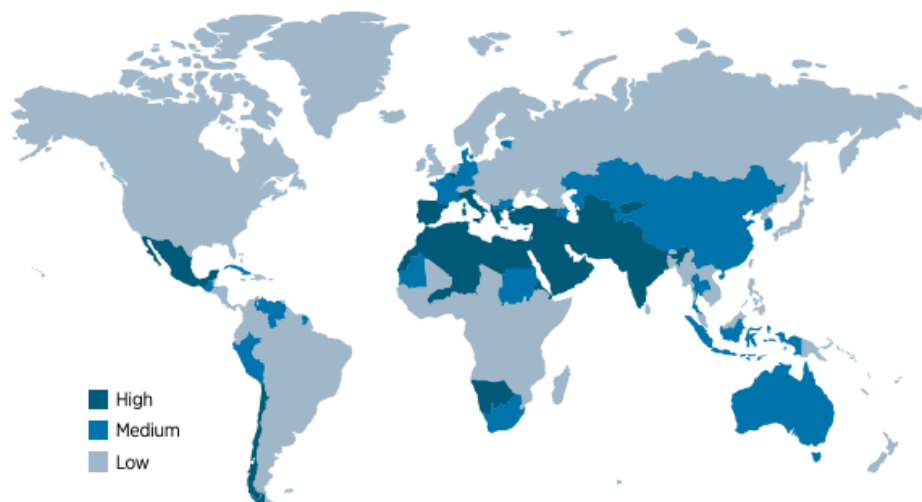


Figura 14 Mapa de desarrollo de estrategias nacionales sobre hidrógeno [40]

energético más sostenible y resistente. El Plan REPowerEU, impulsado en respuesta a la invasión rusa de Ucrania y las preocupaciones sobre la seguridad energética, establece objetivos ambiciosos para la producción y el uso del hidrógeno renovable en la UE, así como la expansión de la capacidad de producción de electrolizadores y la planificación de infraestructuras de hidrógeno a nivel europeo. [40]

En abril de 2021, Países Bajos dio a conocer su 'Government Strategy on Hydrogen' como parte de su compromiso con la reducción de emisiones establecido en el Acuerdo Nacional sobre el Clima. Esta estrategia se centra en desarrollar el "hidrógeno bajo en carbono", identificando áreas como el polo petroquímico de Rotterdam y la infraestructura portuaria para la producción y almacenamiento de hidrógeno. Las políticas propuestas abordan la legislación, la reducción de costos y el crecimiento del sector del "hidrógeno verde", la sostenibilidad del consumo final y las políticas de apoyo. Alemania, por su parte, aprobó su 'National Hydrogen Strategy' en junio de 2020, con un enfoque renovable y ambiciosos objetivos para 2030, incluyendo la instalación de 5 GW de electrólisis y la producción de 14 TWh de hidrógeno renovable anualmente. Estos planes reflejan un impulso significativo hacia el uso del hidrógeno como una alternativa clave en la transición energética.

Francia, en septiembre de 2020, presentó su 'Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France', con el objetivo de producir hidrógeno a través de electrólisis a partir de fuentes de energía bajas o nulas en carbono. La estrategia establece ambiciosos objetivos para 2030, incluyendo la instalación de 6,5 GW de capacidad de electrólisis y grandes inversiones públicas. Italia, por su parte, dio a conocer su borrador de 'Strategia Nazionale Idrogeno' en noviembre de 2020, con enfoque en la instalación de electrolizadores y la penetración del hidrógeno en el mix energético, especialmente en el transporte y la red gasista. Hungría se convirtió en el primer país de Europa del Este en presentar una estrategia nacional



## Entregable E.1.1

de hidrógeno, combinando la producción de "hidrógeno cero emisiones" con el "hidrógeno azul". Por otro lado, República Checa y Polonia también han desarrollado estrategias con objetivos ambiciosos para la producción y uso del hidrógeno hasta 2030. Estos planes reflejan un impulso significativo en toda Europa hacia la adopción de tecnologías de hidrógeno como parte de la transición energética. [40]

### 7.2 POLÍTICAS GUBERNAMENTALES (ESTRATEGIA NACIONAL ESPAÑOLA)

En esta sección, se explorará la estrategia nacional de España en relación con el hidrógeno, centrándose en el impulso del hidrógeno renovable para posicionar al país como líder tecnológico en su producción y utilización.



Tabla 4 Infografía hoja de ruta H<sub>2</sub> renovable

La Hoja de Ruta presentada tiene como objetivo clave la reducción de emisiones contaminantes y GEI mediante el desarrollo del hidrógeno renovable en España, con el propósito de posicionar al país como líder tecnológico en su producción y aprovechamiento. En este contexto, se examinará el actual consumo de hidrógeno en España, mayormente de tipo gris, utilizado en industrias como la refinera y la química, y se analizará cómo se lleva a cabo su producción en las instalaciones de consumo. Esta sección proporcionará una visión integral de la estrategia nacional española para el hidrógeno, destacando sus objetivos, medidas y desafíos en el camino hacia una economía más sostenible y basada en energías renovables.

En España, el consumo anual de hidrógeno ronda las 500.000 toneladas, mayormente de tipo gris y utilizado en industrias como la fabricación de amoníaco y refinerías, concentradas en ciudades como Huelva, Cartagena, Puertollano y Tarragona. Este panorama destaca el potencial de descarbonización en la industria mediante la transición al hidrógeno renovable. Actualmente,

**Entregable E.1.1**

la producción de hidrógeno se considera una actividad industrial, sujeta a estrictas evaluaciones de impacto ambiental, independientemente de la fuente empleada. Como estrategias gubernamentales, se plantean medidas como:

Tabla 5 Resumen de las medidas y líneas de acción estratégicas para el hidrógeno verde en España [40]

Medida	Descripción	Líneas de acción	Tipo de acción
<b>Medida 1</b>	Modificar la clasificación de la producción de hidrógeno renovable in situ en las estaciones de servicio para distinguirla de la producción a partir de procesos industriales.	Instrumentos Regulatorios	Simplificar la administración y eliminar barreras regulatorias para la producción de hidrógeno.
<b>Medida 2</b>	Analizar y simplificar los procedimientos para la tramitación de la operación y ejecución de instalaciones de producción de hidrógeno verde a pequeña escala.	Instrumentos Regulatorios	Simplificar la administración y eliminar barreras regulatorias para la producción de hidrógeno.
<b>Medida 3</b>	Promover el desarrollo de medidas regulatorias que faciliten el despliegue de líneas directas de electricidad y hidrodutos para el transporte de hidrógeno renovable.	Instrumentos Regulatorios	Simplificar la administración y eliminar barreras regulatorias para la producción de hidrógeno.
<b>Medida 4</b>	Establecer un sistema de Garantías de Origen de hidrógeno renovable en colaboración con las instituciones europeas para ofrecer señales de precio claras a los consumidores.	Instrumentos Regulatorios	Crear un sistema de Garantías de Origen.
<b>Medida 5</b>	Incluir incentivos fiscales verdes para promover el hidrógeno renovable y desincentivar el de origen no trazable.	Instrumentos Regulatorios	Favorecer la competitividad del hidrógeno renovable
<b>Medida 6</b>	Crear un sistema estadístico nacional que registre el consumo y la producción de hidrógeno en España, categorizándolos por tipos y sectores de uso.	Instrumentos Sectoriales	Monitorización de la producción y consumo de hidrógeno
<b>Medida 7</b>	Analizar la posibilidad de fijar metas de integración de hidrógeno renovable entre 2025 y 2030, conforme a los lineamientos de la Estrategia Europea del Hidrógeno, en sectores donde la electrificación no es óptima y no hay alternativas sostenibles viables.	Instrumentos Sectoriales	Impulso a la aplicación del hidrógeno renovable en la industria
<b>Medida 8</b>	Crear mecanismos financieros para respaldar a las industrias españolas que consumen grandes cantidades de	Instrumentos Sectoriales	Impulso a la aplicación del hidrógeno

## Entregable E.1.1

	hidrógeno en la adaptación de sus procesos e infraestructuras para utilizar hidrógeno renovable de forma continua.		renovable en la industria
<b>Medida 9</b>	Desarrollar estrategias de descarbonización a largo plazo a nivel nacional centradas en el uso de hidrógeno renovable en sectores que son difíciles de electrificar, mediante un diálogo específico con cada sector involucrado.	Instrumentos Sectoriales	Impulso a la aplicación del hidrógeno renovable en la industria
<b>Medida 10</b>	Identificar los actuales centros de consumo de hidrógeno y promover la formación de "valles o clústeres de hidrógeno", incentivando la creación de Mesas del Hidrógeno Industrial en colaboración con comunidades autónomas, administraciones locales, consumidores y promotores de proyectos, para impulsar el desarrollo de proyectos piloto en España.	Instrumentos Sectoriales	Impulso a la aplicación del hidrógeno renovable en la industria
<b>Medida 11</b>	Impulsar el uso de hidrógeno renovable en el transporte mediante la transposición de la Directiva de Energías Renovables II (DER II).	Instrumentos Sectoriales	Impulso a la aplicación del hidrógeno renovable en el transporte
<b>Medida 12</b>	Participar en foros internacionales para promover el establecimiento de una metodología estandarizada para medir el consumo de vehículos pesados impulsados por hidrógeno, contribuyendo así al desarrollo y adopción global de esta tecnología.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre
<b>Medida 13</b>	Implementar planes de incentivos que fomenten la adquisición de vehículos y la expansión de infraestructuras, incluyendo bonificaciones fiscales, cuotas de compras mínimas para entidades públicas mediante criterios de compra pública innovadora, y promoviendo la adquisición de flotas cautivas como las de policía, autobuses y taxis.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre
<b>Medida 14</b>	Brindar apoyo a la industria automotriz española para impulsar la fabricación de vehículos eléctricos de pila de combustible que utilicen hidrógeno como combustible, generando un efecto positivo en la industria de equipos y componentes para la automoción.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre

## Entregable E.1.1

<b>Medida 15</b>	Impulsar la realización de estudios y pruebas de factibilidad para reemplazar los trenes diésel con trenes de pila de combustible de hidrógeno, especialmente en líneas ferroviarias parcialmente o no electrificadas, en concordancia con lo propuesto en la Estrategia Europea del Hidrógeno.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre
<b>Medida 16</b>	Establecer medidas para desarrollar una infraestructura nacional de repostaje de hidrógeno para el transporte ferroviario.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre
<b>Medida 17</b>	Crear una legislación específica para las hidrogeneras que defina los requisitos administrativos, los permisos necesarios y la gestión requerida para su construcción y operación.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre
<b>Medida 18</b>	Integrar la instalación de hidrogeneras como parte de las acciones subvencionables en los próximos Planes MOVES u otros programas similares, priorizando la construcción de hidrogeneras estratégicas que impulsen la adopción gradual del hidrógeno en flotas logísticas.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre
<b>Medida 19</b>	Modificar la regulación para equiparar la clasificación de las hidrogeneras con la de las estaciones de servicio convencionales en términos de requisitos de suelo, permitiendo la instalación de surtidores de hidrógeno en las estaciones de servicio existentes.	Instrumentos Sectoriales	Transporte terrestre
<b>Medida 20</b>	Establecer normativas claras y simplificadas para la homologación y certificación de buques marítimos con tecnologías de hidrógeno, alineadas con los estándares europeos, con el objetivo de facilitar y unificar los procesos de aprobación.	Instrumentos Sectoriales	Transporte marítimo
<b>Medida 21</b>	Desarrollar medidas para establecer una infraestructura nacional de repostaje de hidrógeno en los puertos, con el fin de impulsar la adopción de esta tecnología en el transporte marítimo y promover la transición hacia un sistema energético más sostenible en el sector portuario.	Instrumentos Sectoriales	Transporte marítimo
<b>Medida 22</b>	Implementar iniciativas que promuevan y respalden la adopción de tecnologías de emisión cero en las áreas costeras y los	Instrumentos Sectoriales	Transporte marítimo

## Entregable E.1.1

	puertos de España, como parte de una estrategia integral para reducir la huella ambiental y avanzar hacia un transporte marítimo más sostenible.		
<b>Medida 23</b>	Asignar fondos de la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa (SGIPYME) al sector naval con el fin de promover la adopción de tecnología de hidrógeno en la construcción de buques en España, mediante proyectos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en colaboración con los astilleros.	Instrumentos Sectoriales	Transporte marítimo
<b>Medida 24</b>	Impulsar la creación de instalaciones de fabricación de queroseno sintético mediante hidrógeno renovable o biocombustibles avanzados para reducir las emisiones de carbono en la aviación.	Instrumentos Sectoriales	Transporte aéreo
<b>Medida 25</b>	Evaluar los requisitos y ajustes requeridos para la adaptación de aeronaves que utilicen combustibles sintéticos derivados de hidrógeno renovable o biocombustibles avanzados.	Instrumentos Sectoriales	Transporte aéreo
<b>Medida 26</b>	Incluir criterios ambientales en los pliegos técnicos de los contratos de los proveedores de servicios de handling para operaciones en aeropuertos.	Instrumentos Sectoriales	Transporte aéreo
<b>Medida 27</b>	Crear un marco legal específico para regular las plantas de energía Power to X (P2X) y las instalaciones de electrólisis.	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos
<b>Medida 28</b>	Establecer directrices claras y específicas que definan cómo los electrolizadores pueden contribuir a los servicios de ajuste requeridos para asegurar un suministro eléctrico adecuado, junto con las bases legales que respalden su participación en estos servicios.	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos
<b>Medida 29</b>	Flexibilizar las regulaciones para permitir el uso más amplio de hidrógeno verde en los motores de plantas de generación y cogeneración, con el fin de mejorar la seguridad y fiabilidad del suministro en el sistema eléctrico.	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos
<b>Medida 30</b>	Evaluar y actualizar los aspectos técnicos, regulatorios y de calidad de los gases requeridos para la inyección y utilización del hidrógeno en la red de gas natural, con particular atención en la utilización de infraestructuras existentes para el	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos

## Entregable E.1.1

	transporte y almacenamiento exclusivo de hidrógeno renovable.		
<b>Medida 31</b>	Evaluar la necesidad de adaptar los dispositivos industriales y de generación eléctrica que utilizan gas para garantizar su funcionamiento seguro con concentraciones más elevadas de hidrógeno renovable, al mismo tiempo que se revisan los requisitos técnicos y regulatorios pertinentes.	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos
<b>Medida 32</b>	Realizar un análisis prospectivo de las necesidades de adaptación de equipos de gas para uso doméstico, como calderas y calentadores, con el objetivo de facilitar la integración progresiva del hidrógeno renovable.	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos
<b>Medida 33</b>	Evaluar las implicaciones para los vehículos de gas natural derivadas del uso de una mezcla enriquecida con hidrógeno (HGNC).	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos
<b>Medida 34</b>	Evaluar la factibilidad de producir hidrógeno renovable utilizando residuos.	Instrumentos Sectoriales	Integración de los vectores energéticos
<b>Medida 35</b>	Establecer un centro de información centralizado, gestionado por el IDAE, para difundir el conocimiento sobre las tecnologías del hidrógeno renovable y sus aplicaciones.	Instrumentos Transversales	Campañas informativas y aptitudes profesionales sectoriales
<b>Medida 36</b>	Actualizar los perfiles y procedimientos de inspección técnica para abordar aspectos relacionados con las tecnologías del hidrógeno, incluyendo capacitación para bomberos, asistentes en carretera y técnicos de talleres, junto con la elaboración de guías y manuales específicos para estas labores.	Instrumentos Transversales	Campañas informativas y aptitudes profesionales sectoriales
<b>Medida 37</b>	Promover la integración de tecnologías de hidrógeno en los planes de estudio de titulaciones relacionadas en universidades y ciclos formativos de grado medio y superior, además de evaluar la pertinencia de la creación de titulaciones específicas dedicadas al conocimiento y desarrollo del sector del hidrógeno en colaboración con las autoridades educativas competentes.	Instrumentos Transversales	Campañas informativas y aptitudes profesionales sectoriales
<b>Medida 38</b>	Impulsar la participación activa de España en congresos y foros internacionales y nacionales relacionados con el sector del	Instrumentos Transversales	Campañas informativas y aptitudes

## Entregable E.1.1

	hidrógeno para fortalecer su posicionamiento y liderazgo en la comunidad internacional.		profesionales sectoriales
<b>Medida 39</b>	Llevar a cabo un análisis prospectivo de la producción, logística y consumo de hidrógeno en España hasta el año 2030 y 2050, diferenciando entre las diversas formas de producción, con el objetivo de comprender y planificar el desarrollo futuro de esta industria de manera efectiva.	Instrumentos Transversales	Potencial de producción y consumo de hidrógeno renovable en España e impacto socioeconómico
<b>Medida 40</b>	Realizar un análisis de impacto socioeconómico de la implementación de la Visión 2030, evaluando su contribución al valor añadido nacional, la creación de empleo y el avance del conocimiento en el sector del hidrógeno.	Instrumentos Transversales	Potencial de producción y consumo de hidrógeno renovable en España e impacto socioeconómico
<b>Medida 41</b>	Impulsar la creación de nuevos centros de producción de hidrógeno renovable en zonas rurales para abordar la despoblación y cumplir con los objetivos demográficos, especialmente enfocados en regiones de transición justa.	Instrumentos Transversales	Potencial de producción y consumo de hidrógeno renovable en España e impacto socioeconómico
<b>Medida 42</b>	Promover la inclusión de un criterio de priorización para las zonas de Transición Justa en los mecanismos de apoyo al hidrógeno, garantizando la prudencia, proporcionalidad y eficiencia económica en su integración.	Instrumentos Transversales	Potencial de producción y consumo de hidrógeno renovable en España e impacto socioeconómico
<b>Medida 43</b>	Buscar sinergias entre las infraestructuras energéticas de las zonas de Transición Justa y las líneas de actuación de la Hoja de Ruta de Hidrógeno.	Instrumentos Transversales	Potencial de producción y consumo de hidrógeno renovable en España e impacto socioeconómico
<b>Medida 44</b>	Fomentar la producción de hidrógeno a partir de biogás sostenible en situaciones donde sea más eficiente tanto desde el punto de vista medioambiental como económico que el hidrógeno renovable generado por electrólisis, especialmente cuando el biogás provenga de residuos sin objetivos de reciclado, como los residuos agrarios e industriales.	Instrumentos Transversales	Potencial de producción y consumo de hidrógeno renovable en España e impacto socioeconómico

## Entregable E.1.1

<b>Medida 45</b>	Evaluar la efectividad de las medidas implementadas y proponer nuevas acciones y estrategias. Estas iniciativas se llevarán a cabo en colaboración con todas las administraciones y organismos públicos de investigación en hidrógeno, a través de los foros establecidos para la cooperación y coordinación, como las Conferencias Sectoriales.	Instrumentos Transversales	Actualización y renovación de la Hoja de Ruta como un proceso continuo
<b>Medida 46</b>	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.	Instrumentos Transversales	Actualización y renovación de la Hoja de Ruta como un proceso continuo
<b>Medida 47</b>	Incentivar el diálogo con Portugal, Francia y otros países de la UE para impulsar la cooperación regional en el campo del hidrógeno renovable, mediante mecanismos europeos como el Connecting Europe Facility (CEF), con el objetivo de posicionar la Península Ibérica en la producción del hidrógeno renovable y facilitar el suministro de futuros excedentes a otros Estados miembros de la UE.	Instrumentos Transversales	Refuerzo del posicionamiento de España en el mercado internacional del hidrógeno
<b>Medida 48</b>	Garantizar y fomentar la participación de empresas e instituciones españolas en los principales foros sobre hidrógeno a nivel europeo e internacional.	Instrumentos Transversales	Refuerzo del posicionamiento de España en el mercado internacional del hidrógeno
<b>Medida 49</b>	Promover la participación de las empresas españolas en los Comités Internacionales de Normalización relacionados con el hidrógeno renovable.	Instrumentos Transversales	Refuerzo del posicionamiento de España en el mercado internacional del hidrógeno
<b>Medida 50</b>	Ofrecer asesoramiento y respaldo institucional a los proyectos españoles relacionados con el hidrógeno renovable que busquen acceder a financiación a través de los mecanismos europeos.	Instrumentos Transversales	Refuerzo del posicionamiento de España en el mercado internacional del hidrógeno
<b>Medida 51</b>	Promover el desarrollo interno de electrolizadores de alta potencia (100 MW), mejorando su eficiencia y rentabilidad, y estimulando su producción	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del



## Entregable E.1.1

	en serie y la adopción de materiales innovadores.		hidrógeno renovable
<b>Medida 52</b>	Establecer una línea de financiamiento dedicada específicamente a proyectos de la cadena de valor del hidrógeno renovable en los próximos Planes Estatales de Investigación Científica y Técnica e Innovación.	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 53</b>	Impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico empresarial en la economía del hidrógeno renovable mediante el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), promoviendo proyectos y facilitando la internacionalización de la innovación	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 54</b>	Fortalecer el Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2) como centro público de investigación, desarrollo e innovación de referencia en el campo del hidrógeno.	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 55</b>	Promover la investigación, el desarrollo y la innovación en tecnologías de reciclaje de electrolizadores, pilas de combustible y otros sistemas y componentes utilizados en la cadena de valor del hidrógeno.	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 56</b>	Promover el avance de tecnologías para la producción de calor mediante hidrógeno, abarcando la cogeneración y la cogeneración a través de pilas de combustible.	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 57</b>	Abogar en la Unión Europea por la creación de líneas de financiación dedicadas exclusivamente a la investigación, desarrollo e innovación de las tecnologías relacionadas con la cadena de valor del hidrógeno renovable.	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 58</b>	Facilitar la demostración de tecnologías innovadoras basadas en el hidrógeno renovable mediante convocatorias dentro del Fondo de Innovación del Régimen de Comercio de Emisiones y la Clean Hydrogen Alliance, en línea con la Estrategia Europea del Hidrógeno.	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 59</b>	Impulsar a medio plazo la creación de un Centro de Excelencia dedicado a la	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías

## Entregable E.1.1

	investigación en almacenamiento energético, con enfoque especial en el almacenamiento mediante hidrógeno renovable, conforme a lo establecido en la Estrategia de Almacenamiento.		de la cadena de valor del hidrógeno renovable
<b>Medida 60</b>	Evaluar el potencial de las turbinas de hidrógeno para su uso en el transporte aéreo con el fin de reducir las emisiones de NOx derivadas del uso de combustibles convencionales.	Impulso a la I+D+i	Apoyo a la I+D+i de las tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno renovable

El marco estratégico nacional se sustenta en tres pilares fundamentales que guían las políticas y acciones destinadas a promover el hidrógeno verde:

- El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)

Los PNIEC presentados por cada Estado miembro serán utilizados por la Comisión para evaluar el cumplimiento conjunto y tomar medidas correctivas si es necesario. El Reglamento establece un proceso iterativo entre la Comisión y los Estados miembros para finalizar los Planes en 2019 y su posterior implementación, con un calendario de actualización cada cinco años y la presentación de informes de progreso cada dos años, el primero de los cuales debe estar listo antes del 15 de marzo de 2023. Además, se garantiza la continuidad del Plan más allá de 2030 mediante la elaboración de una Estrategia de Bajas Emisiones a Largo Plazo. Se prioriza el desarrollo de combustibles renovables para el sector del transporte, especialmente para la aviación, movilidad, industria y edificios, con acciones como el desarrollo de biocarburantes avanzados y la producción de hidrógeno renovable para almacenamiento estacionario a largo plazo. [39]

- La Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética

La Ley de Cambio Climático y Transición Energética de España prioriza tecnologías renovables como la hidroeléctrica y nuevas como la inteligencia artificial para avanzar hacia una economía verde y sostenible. Establece medidas para evitar la dispersión de minerales radiactivos y garantizar la coherencia entre las ayudas públicas y los objetivos de mitigación del cambio climático. Con el fin de cumplir los objetivos de energías renovables, las nuevas concesiones para la generación de energía eléctrica en el dominio público hidráulico darán prioridad a la integración de tecnologías renovables en el sistema eléctrico. Se promoverán especialmente las centrales hidroeléctricas reversibles, siempre que respeten los objetivos ambientales y sean compatibles con la gestión eficiente del recurso. Además, se fomentan los gases renovables como el biogás, el biometano y el hidrógeno, y se establecen medidas para reducir las emisiones en el transporte aéreo, marítimo y por carretera mediante la integración de energías renovables y la promoción de biocombustibles sostenibles.

## Entregable E.1.1

### - La Estrategia a Largo Plazo para la descarbonización (ELP)

Esta estrategia traza el camino para alcanzar el objetivo de neutralidad climática en el año 2050, dentro del cual el hidrógeno juega un papel de relevancia. El Marco Estratégico de Energía y Clima establecido por el MITECO de España en noviembre de 2020 resalta la necesidad de planificar estrategias a largo plazo, con una visión de al menos 30 años, para lograr una economía competitiva y climáticamente neutra en 2050. En cuanto al hidrógeno, se destaca la importancia del desarrollo de la electrólisis a partir de fuentes renovables, aprovechando momentos de exceso de generación energética, conocidos como "vertidos". Se subraya la necesidad de investigación e innovación en toda la cadena de producción, almacenamiento y uso del hidrógeno. Se enfatiza que el hidrógeno limpio es una tecnología emergente que requiere una coordinación integral en la cadena de valor, destacando la iniciativa de la Comisión Europea de establecer una nueva Alianza Europea por un Hidrógeno Limpio para reunir inversores, gobiernos, instituciones e industria.[43]

### 7.3 INCENTIVOS Y SUBVENCIONES EN ESPAÑA

Los incentivos y subvenciones en España son instrumentos clave para fomentar el desarrollo económico, la innovación y la sostenibilidad, especialmente en el ámbito del hidrógeno verde. Estas políticas, tanto a nivel nacional como regional, tienen como objetivo principal estimular la inversión, impulsar la competitividad empresarial y promover la adopción de tecnologías limpias y renovables. [44] [45][46][47][48][49]. En la siguiente tabla se exponen varios programas:

Tabla 6 Tabla resumen de las convocatorias europeas y nacionales. [43]

Incentivo y/o Subvencion	Descripción	Alcance
<b>Proyectos de Interés Común (PCI)</b>	Los PCI son infraestructuras energéticas transfronterizas clave que contribuyen a la construcción de un mercado interior de la energía más integrado y resiliente en la Unión Europea (UE). Para obtener el sello de PCI, un proyecto debe tener un impacto significativo en los mercados energéticos y en la integración del mercado en al menos dos países de la UE. Además, debe fomentar la competencia en los mercados energéticos, mejorar la seguridad energética mediante la diversificación de fuentes y contribuir a los objetivos climáticos y energéticos de la UE mediante la integración de energías renovables.	Europeo
<b>Proyectos de Interés Mutuo (PMI)</b>	Los PMI se plantean como un instrumento adicional para extender el alcance del Reglamento TEN-E a terceros países, más allá de los Proyectos de Interés Común (PCI), que contribuyen al desarrollo de corredores y	Europeo

Entregable E.1.1

	áreas prioritarias de infraestructura energética.	
<b>Connecting Europe Facility (CEF)</b>	CEF for Energy es una herramienta financiera fundamental de la UE para avanzar en el "Pacto Verde Europeo" y facilitar el cumplimiento de los objetivos de descarbonización para 2030 y 2050. Este mecanismo respalda el desarrollo de redes transeuropeas de alto rendimiento, sostenibles y eficientemente interconectadas en los sectores del transporte, la energía y los servicios digitales.	Europeo
<b>The Innovation Fund</b>	Este fondo es un destacado programa de financiación a nivel mundial para la demostración de tecnologías innovadoras de baja emisión de carbono. A través de subvenciones, apoya proyectos dirigidos a la implementación comercial de tecnologías innovadoras, incluido el hidrógeno renovable, con el fin de introducir soluciones industriales para descarbonizar Europa y respaldar su transición hacia la neutralidad climática.	Europeo
<b>European Hydrogen Bank</b>	Este Banco desempeña un papel crucial en la coordinación y transparencia del mercado del hidrógeno, aumentando así la confianza en el sector. Se espera que realice diversas funciones, como el desarrollo de referencias de precios, la recopilación de información sobre la oferta, la demanda y los precios del hidrógeno renovable, así como la identificación de posibles compradores a través de Manifestaciones de Interés, y el seguimiento de acuerdos internacionales. Además, se prevé que coordine la financiación existente y pueda explorar la posibilidad de agrupar dicha financiación, incluso para proyectos en terceros países.	Europeo
<b>Primera convocatoria del Programa de incentivos a proyectos pioneros y singulares de hidrógeno renovable</b>	Los Proyectos Pioneros y Singulares comprenden iniciativas integrales que abarcan la producción, distribución y uso del hidrógeno en una misma área geográfica. Estos proyectos se centran en aplicaciones comerciales que integran diversas etapas de la cadena de valor, priorizando la implementación sobre avances tecnológicos.	España
<b>Segunda convocatoria del programa de incentivos a</b>	Los Proyectos Pioneros y Singulares se refieren a proyectos completos que	España

## Entregable E.1.1

**proyectos pioneros y singulares de hidrógeno renovable (Programa H2 PIONEROS) en el Marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU**

involucran la producción, distribución y uso del hidrógeno en una misma área geográfica. Solo se considerarán para incentivos aquellas acciones destinadas a implementar aplicaciones comerciales que destaquen por la integración de las diferentes etapas de la cadena de valor en un solo proyecto, más que por avances tecnológicos específicos.

**Programa de incentivos 1: capacidades, avances tecnológicos e implantación de líneas de ensayo y/o fabricación**

Los proyectos del programa de capacidades, avances tecnológicos e implantación de líneas de ensayo y/o fabricación pueden abordar distintos aspectos de la cadena tecnológica del hidrógeno renovable, desde su producción hasta su uso final. Las actividades subvencionables incluyen la creación de centros de fabricación de equipos relacionados con la cadena de valor del hidrógeno renovable, tales como instalaciones y equipos para la producción de hidrógeno mediante electrólisis, el acondicionamiento y transporte del hidrógeno, así como pilas de combustible y componentes para la combustión directa de hidrógeno. También se apoya la mejora de capacidades en I+D+i, incluyendo instalaciones de ensayo de componentes y sistemas relacionados con la producción, distribución y uso del hidrógeno renovable, así como ensayos y validación de sistemas de compresión, almacenamiento y dispensado de hidrógeno en hidrogeneras o estaciones de distribución.

España

**Programa de incentivos 2: diseño, demostración y validación de movilidad propulsada por hidrógeno**

Las actuaciones incentivables en innovación tecnológica tienen como objetivo impulsar prototipos y avanzar en la madurez de los diseños. Estos proyectos pueden enfocarse en innovaciones relacionadas con diversos equipos susceptibles de ser integrados en vehículos, así como en la demostración de nuevos vehículos eléctricos de hidrógeno innovadores en sus respectivos sectores de uso. Entre las actuaciones incentivables se incluyen vehículos terrestres de mercancías pesadas, embarcaciones marítimas y fluviales, material rodante ferroviario, maquinaria de handling, aeronaves

España

## Entregable E.1.1

	tripuladas o no tripuladas, y servicios auxiliares en entornos aeroportuarios.	
<b>Programa de incentivos 3: grandes demostradores de electrólisis y proyectos innovadores de producción de hidrógeno renovable</b>	Los proyectos demostradores de electrólisis a gran escala, con una potencia superior a 20 MW, son incentivados para abordar los desafíos asociados con la I+D y la industrialización de electrolizadores para producir hidrógeno renovable, así como para el despliegue de soluciones y su completa integración en contextos industriales. Las acciones subvencionables incluyen el desarrollo y fabricación de un gran electrolizador, que represente un avance respecto al estado actual de la tecnología, principalmente en términos de fabricación y diseño que impacten en sus prestaciones y rendimiento.	España
<b>Programa de incentivos 4: retos de investigación básica-fundamental, pilotos innovadores y la formación en tecnologías habilitadoras clave</b>	Dentro de este programa, se promueven proyectos de innovación en toda la cadena de valor del hidrógeno renovable, desde la generación hasta el almacenamiento, transporte, distribución y aplicaciones finales. Las acciones subvencionables abarcan avances en electrolizadores de mayores prestaciones en tecnologías menos maduras, como la AEM y la SOEC, así como el desarrollo de sistemas para la producción de hidrógeno mediante bio-procesos y fotosíntesis artificial. Se incentivan también avances en materiales, nuevas pilas de combustible y sistemas de almacenamiento innovadores para el hidrógeno, siempre que representen un avance significativo más allá del estado actual de la tecnología.	España
<b>Segunda convocatoria del programa de incentivos 4: retos de investigación básica-fundamental, pilotos innovadores y la formación en tecnologías habilitadoras clave</b>	Dentro de este programa se fomentan proyectos innovadores que abarcan toda la cadena de valor del hidrógeno renovable, desde la generación hasta el almacenamiento, transporte, distribución y aplicaciones finales. Las acciones subvencionables incluyen avances en tecnologías menos maduras, como los electrolizadores AEM y SOEC, así como el desarrollo de sistemas para producir hidrógeno renovable mediante bio-procesos y fotosíntesis artificial. Se promueven también avances en materiales, nuevas pilas de combustible y sistemas de	España

## Entregable E.1.1

---

almacenamiento innovadores para el hidrógeno, siempre que representen un progreso significativo más allá del estado actual de la tecnología.

---

### 8. ESTRATEGIAS GUBERNAMENTALES EN PORTUGAL

En el contexto de Portugal, en 2019 se elaboró el documento RNC2050 (Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050), en el que se establecen las principales directrices para alcanzar los objetivos propuestos. Se destacan los objetivos de reducir las emisiones de GEI entre un 45% y un 55% para 2030, y entre un 65% y un 75% para 2040, en comparación con los niveles de 2005. En 2020, se desarrolló el PNEC 2030 (Plano Nacional Energia e Clima 2030), que establece objetivos para la descarbonización del país. Basándose en el trabajo realizado en el PNEC 2030, ese mismo año se redactó también la Estrategia Nacional para el Hidrógeno (EN-H<sub>2</sub>), en la que se definen los principales objetivos relacionados con la integración del hidrógeno renovable en la economía portuguesa. Además, se han implementado mecanismos en los varios programas de desarrollo regional que están fundamentos en los anteriores.

#### 8.1 POLÍTICAS GUBERNAMENTALES EN PORTUGAL(ESTRATEGIA NACIONAL)

Portugal implementó la Estrategia Nacional de Hidrógeno (EN-H<sub>2</sub>), detallada en la Resolución del Consejo de Ministros n.º 63/2020, con el propósito de apoyar la descarbonización nacional y de la Unión Europea. Esta estrategia tiene como objetivo integrar el hidrógeno en la economía, buscando una transición energética sostenible y ofreciendo estabilidad al sector energético. Se pretende impulsar la oferta y la demanda de hidrógeno en diversos sectores, estableciendo las bases para una economía del hidrógeno efectiva en Portugal, contribuyendo a la descarbonización de la red de gas natural y de los sectores de transporte e industria hasta 2050.

La estrategia establece metas ambiciosas hasta 2030, incluyendo la capacidad instalada de producción de hidrógeno, la cantidad de vehículos a hidrógeno, y la instalación de estaciones de abastecimiento de hidrógeno, además de 2 GW a 2,5 GW de capacidad en electrolizadores.

El gobierno promueve una política industrial centrada en el hidrógeno y los gases renovables, orientando inversiones públicas y privadas en producción, almacenamiento, transporte y consumo de estos gases. Las acciones propuestas incluyen desarrollar legislación y regulaciones adecuadas, incentivar proyectos basados en cadenas de valor prioritarias, fomentar proyectos innovadores, optimizar activos existentes, fortalecer competencias nacionales en investigación e innovación, y el análisis de un proyecto industrial de hidrógeno en Sines que abarca toda la cadena de valor, junto con la creación de un Laboratorio Colaborativo para el Hidrógeno

#### 8.2 INCENTIVOS Y SUBVENCIONES EN PORTUGAL

El Gobierno portugués reconoce el potencial del hidrógeno como un vector energético clave para la descarbonización de la economía y el cumplimiento de las ambiciosas metas de 2050 para emisiones netas cero. En este contexto, se han lanzado diversos programas y medidas de

## Entregable E.1.1

incentivo para promover la inversión y el desarrollo en toda la cadena de valor del hidrógeno, desde la producción hasta la distribución y la utilización final.

Principales Apoyos:

**Programa Nacional para el Hidrógeno (PNH):** El PNH define la estrategia nacional para el desarrollo del hidrógeno, incluyendo metas, inversiones y medidas de apoyo. El programa prevé una inversión total de €7 mil millones hasta 2030.

**Fondos Europeos:** Portugal tiene acceso a diversos fondos europeos que pueden ser utilizados para financiar proyectos relacionados con el hidrógeno, como el Programa Horizonte Europa y el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia a través de “Fundo Ambiental”.

**Incentivos Fiscales:** Existen diversos incentivos fiscales disponibles para empresas que invierten en hidrógeno, incluyendo exenciones fiscales para la producción, deducciones para investigación y desarrollo y reducciones en el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA).

**Apoyo a la Investigación y Desarrollo:** El Gobierno apoya la investigación y desarrollo en tecnologías de hidrógeno a través de diversos programas, como el Programa FCT INNOVATE y el Programa Portugal 2020 y 2030.

**Formación y Capacitación:** El Gobierno está invirtiendo en la formación y capacitación de profesionales en áreas relacionadas con el hidrógeno, con el objetivo de crear una mano de obra calificada para el sector.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Kazim and T. N. Veziroglu, “Utilization of solar-hydrogen energy in the UAE to maintain its share in the world energy market for the 21st century,” *Renew. Energy*, vol. 24, no. 2, pp. 259–274, 2001, doi: 10.1016/S0960-1481(00)00199-3.
- [2] S. E. Hosseini, A. M. Andwari, M. A. Wahid, and G. Bagheri, “A review on green energy potentials in Iran,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 533–545, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.07.015.
- [3] R. A. Hites, “Persistent organic pollutants in the Great Lakes: An overview,” *Handb. Environ. Chem. Vol. 5 Water Pollut.*, vol. 5 N, no. November 2005, pp. 1–12, 2006, doi: 10.1007/698\_5\_038.
- [4] P. J. Hall and E. J. Bain, “Energy-storage technologies and electricity generation,” *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4352–4355, 2008, doi: 10.1016/j.enpol.2008.09.037.
- [5] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas, and V. Efthimiou, “Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 6–7, pp. 1513–1522, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.028.
- [6] R. M. Dell and D. A. J. Rand, “Energy storage - A key technology for global energy



## Entregable E.1.1

- sustainability,” *J. Power Sources*, vol. 100, no. 1–2, pp. 2–17, 2001, doi: 10.1016/S0378-7753(01)00894-1.
- [7] G. Marbán and T. Valdés-Solís, “Towards the hydrogen economy?,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 12, pp. 1625–1637, 2007, doi: 10.1016/j.ijhydene.2006.12.017.
- [8] B. Lee *et al.*, “Economic feasibility studies of high pressure PEM water electrolysis for distributed H<sub>2</sub> refueling stations,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 162, no. February, pp. 139–144, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.02.041.
- [9] F. M. Sapountzi, J. M. Gracia, C. J. (Kee. J. Weststrate, H. O. A. Fredriksson, and J. W. (Hans. Niemantsverdriet, “Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen and synthesis gas,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 58, pp. 1–35, 2017, doi: 10.1016/j.pecs.2016.09.001.
- [10] G. PCC, “reformando - PCC Group Product Portal,” 2022. <https://www.products.pcc.eu/es/academy/reformando/>
- [11] P. Nikolaidis and A. Poullikkas, “A comparative overview of hydrogen production processes,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 597–611, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.044.
- [12] S. Shiva Kumar and V. Himabindu, “Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review,” *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 442–454, 2019, doi: 10.1016/j.mset.2019.03.002.
- [13] S. E. Hosseini and M. A. Wahid, “Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 57, pp. 850–866, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.112.
- [14] U. S. D. of Energy’s, “Alternative Fuels Data Center: Hydrogen Production and Distribution.” 2019. [Online]. Available: [https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen\\_production.html](https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_production.html)
- [15] D. G. G. Tomlinson, “HYDROGEN FROM COAL,” no. JULY, 2002.
- [16] A. Flamos, P. G. Georgallis, H. Doukas, and J. Psarras, “Using biomass to achieve European Union energy targets-a review of biomass status, potential, and supporting policies,” *Int. J. Green Energy*, vol. 8, no. 4, pp. 411–428, 2011, doi: 10.1080/15435075.2011.576292.
- [17] R. H. Charlier, “Renewable Energy. A Global Review of Technologies, Policies and Markets,” *Int. J. Environ. Stud.*, vol. 66, no. 6, pp. 798–798, 2009, doi: 10.1080/00207230600720456.
- [18] K. Wallington, T. J., Grahn, M., Anderson, J. E., Mueller, S. A., Williander, M. I., & Lindgren, “Low-CO<sub>2</sub> Electricity and Hydrogen : A Help or Hindrance for Electric and Hydrogen Vehicles ?,” vol. 44, no. 7, pp. 2702–2708, 2010.
- [19] N. A. Kelly, T. L. Gibson, M. Cai, J. A. Spearot, and D. B. Ouwkerk, “Development of a renewable hydrogen economy : Optimization of existing technologies,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 3, pp. 892–899, 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.11.062.

**Entregable E.1.1**

- [20] J. Zheng, X. Liu, P. Xu, P. Liu, Y. Zhao, and J. Yang, "Development of high pressure gaseous hydrogen storage technologies," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 1048–1057, 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.02.125.
- [21] S. Dutta, "A review on production, storage of hydrogen and its utilization as an energy resource," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 20, no. 4, pp. 1148–1156, 2014, doi: 10.1016/j.jiec.2013.07.037.
- [22] ISO, "Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards," vol. 2014, 2014.
- [23] I. Macintyre, A. V Tchouvelev, D. R. Hay, J. Wong, J. Grant, and P. Benard, "Canadian hydrogen safety program," vol. 32, pp. 2134–2143, 2007, doi: 10.1016/j.ijhydene.2007.04.017.
- [24] J. Könnölä, T. Unruh, G. C., & Carrillo-Hermosilla, "Toward prospective voluntary agreements : reflections from a hydrogen foresight project," vol. 15, pp. 259–265, 2007, doi: 10.1016/j.jclepro.2006.02.002.
- [25] (Clúster Andaluz del Hidrógeno), "Sobre nosotros – Asociación Andaluza de Hidrógeno," *¿Qué es el clúster?* 2024. [Online]. Available: <https://hidrogenoandalucia.org/sobre-nosotros>
- [26] J. (Energía E. E. Garcia, "Por 1.000 millones. La primera convocatoria para descarbonización de la industria se lanzaría en enero del 2024," 2023. [Online]. Available: <https://energiaestrategica.es/la-primera-convocatoria-para-descarbonizacion-de-la-industria-podria-lanzarse-en-enero-del-2024/>
- [27]. (Ariema Energía y Medioambiente S.L.), "Quiénes somos - Asociación Española del Hidrógeno - ? AeH2." 2024. [Online]. Available: <https://www.aeh2.org/la-aeH2/>
- [28] (Centro Ibérico de Investigación en Almacenamiento Energético), "Empresas – CIAE." 2024. [Online]. Available: <https://ciae.org/empresas-ciae/>
- [29] J. (Energía E. E. Garcia, "Por 200 millones €. Todas las empresas detrás de los 37 proyectos de hidrógeno adjudicados." 2023. [Online]. Available: <https://energiaestrategica.es/todas-las-empresas-detras-de-los-37-proyectos-de-hidrogeno-adjudicados/>
- [30] G. Milena, "Los 11 adjudicatarios de la convocatoria para la Cadena de Valor del Hidrógeno - Energía Estratégica España - Noticias sobre energías renovables del mercado ibérico." 2023. [Online]. Available: <https://energiaestrategica.es/los-11-adjudicatarios-de-la-convocatoria-para-cadena-de-valor-del-hidrogeno/>
- [31] M. Giorgi, "Uno por uno, los proyectos de hidrógeno adjudicados por 487 MW de electrólisis - Energía Estratégica España - Noticias sobre energías renovables del mercado ibérico." 2022. [Online]. Available: <https://energiaestrategica.es/29-empresas-consiguieron-ayudas-por-e-250-millones-para-impulsar-el-hidrogeno-en-espana/>
- [32] P. S. Molina, "Todos los adjudicatarios de las ayudas a proyectos de grandes electrolizadores – pv magazine España." 2023. [Online]. Available: <https://www.pv-magazine.es/2023/06/06/todos-los-adjudicatarios-de-las-ayudas-a-proyectos-de->

## Entregable E.1.1

grandes-electrolizadores/

- [33] D. (TECPA I. y medio ambiente) Nuevo, “Qué es una hidrogenera en España | Formación de ingenieros.” 2022. [Online]. Available: <https://www.tecpa.es/hidrogenera/>
- [34] S. Alcalde, “Estos son los principales proyectos para producir hidrógeno verde en España.” 2022. [Online]. Available: [https://www.nationalgeographic.com.es/economia-circular/estos-son-principales-proyectos-para-producir-hidrogeno-verde-espana\\_18710](https://www.nationalgeographic.com.es/economia-circular/estos-son-principales-proyectos-para-producir-hidrogeno-verde-espana_18710)
- [35] ENAGAS, “H2Med se posiciona como el primer corredor de hidrógeno verde para Alemania | Estrategias de Inversión.” 2023. [Online]. Available: <https://www.estrategiasdeinversion.com/actualidad/noticias/empresas/h2med-se-posiciona-como-el-primer-corredor-de-n-655923>
- [36] S. Carcar, “Enagás dibuja el futuro del hidrógeno verde | Negocios | EL PAÍS.” 2023. [Online]. Available: <https://elpais.com/economia/negocios/2023-09-25/enagas-dibuja-el-futuro-del-hidrogeno-verde.html#>
- [37] EuropaSur, “El Valle Andaluz del Hidrógeno Verde de Cepsa, premiado como mejor iniciativa de 2023.” 2022. [Online]. Available: [https://www.europasur.es/campo-de-gibraltar/Valle-Andaluz-Hidrogeno-Verde-Cepsa\\_0\\_1832217245.html](https://www.europasur.es/campo-de-gibraltar/Valle-Andaluz-Hidrogeno-Verde-Cepsa_0_1832217245.html)
- [38]. (Ariema Energía y Medioambiente S.L.), “Censo de proyectos de hidrógeno - Asociación Española del Hidrógeno.” 2024. [Online]. Available: <https://www.aeh2.org/censo-de-proyectos-de-hidrogeno/>
- [39] MITERD, “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030,” *Minist. para la Transic. Ecológica y el Reto Demográfico, Gob. España*, p. 25, 2020, [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
- [40] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “Hoja de Ruta del Hidrógeno. Una apuesta por el hidrógeno renovable.,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2020.
- [41] (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), “Políticas y legislación.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/hidrogeno/politicas-legislacion.html>
- [42] AeH2, “Estudio sobre el tratamiento regulatorio de los proyectos que incorporan tecnologías del hidrógeno,” 2023.
- [43] MITECO, “Estrategia De Descarbonización a Largo Plazo 2050,” *Miteco*, p. 73, 2020, [Online]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/documentoelp\\_tcm30-516109.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/documentoelp_tcm30-516109.pdf)
- [44]. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), “Manual de Procedimiento para la Autorización de Proyectos Energéticos de Interés Común en España,” 2023.
- [45]. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), “Programas H2 CADENA DE VALOR.” 2024. [Online]. Available: <https://sede.idae.gob.es/lang/modulo/?refbol=tramites-servicios&refsec=cadena->

**Entregable E.1.1**

valor-hidrogeno-renovable

- [46]. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), “Proyectos de Interés Común (PCI) y Proyectos de Interés Mutuo (PMI) en el marco del Reglamento TEN-E revisado.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/hidrogeno/proyectos-interes-comun-pci-y-proyectos-de-interes-mutuo-pmi-marco-reglamento-ten-e-revisado.html>
- [47]. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), “Connecting Europe Facility (CEF) for Energy.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/hidrogeno/convocatorias/connecting-europe-facility--cef--for-energy.html>
- [48]. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), “The Innovation Fund.” 2024. [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/hidrogeno/convocatorias/the-innovation-fund.html>
- [49]. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), “European Hydrogen Bank.” 2024. [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/hidrogeno/european-hydrogen-bank.html>