



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL y GRADO
EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE
EMPRESAS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

*“Análisis de la situación de la industria del hidrógeno y mapeo de la
cadena de valor en España”*

Autor: Pablo García Fernández
Directora: María Teresa Corzo Santamaría

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título *“Análisis de la situación de la industria del hidrógeno y mapeo de la cadena de valor en España”*

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pablo García Fernández

Fecha: 29/03/2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: María Teresa Corzo Santamaría

Fecha: 29/03/2022



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL y GRADO
EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE
EMPRESAS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

*“Análisis de la situación de la industria del hidrógeno y mapeo de la
cadena de valor en España”*

Autor: Pablo García Fernández
Directora: María Teresa Corzo Santamaría

Madrid

Resumen

En el presente proyecto se analizará la situación actual de la industria del hidrógeno entrando en el detalle del estado de la misma en España. Se buscará identificar las principales tendencias subyacentes, las posibles oportunidades, las principales agentes del mercado español y se comparará la situación nacional con la europea y la global. Para ello y en primer lugar, se presentará el hidrógeno como vector energético y su cadena de valor. A continuación, se analizará el estado de la cuestión observando el entorno del mercado español mediante un resumen y una comparativa de las estrategias establecidas por las autoridades a nivel nacional y europeo y mediante el examen de una valoración independiente sobre la situación en España. Después, se utilizará una base de datos para entrar en el detalle de la situación actual de la cadena de valor a nivel global, europeo y español. Por último, se extraerán las conclusiones pertinentes.

Palabras clave: hidrógeno, cadena de valor, Hoja de Ruta, Hydrogen Investability Index, European Green Deal, Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Abstract

This project will analyse the current situation of the hydrogen industry, detailing the state of the hydrogen market in Spain. It will seek to identify the main underlying trends, the possible opportunities, the main agents in the Spanish market and will compare the national situation with the European and global scenarios. Firstly, hydrogen as an energy vector and its value chain will be presented. Next, the state of the art will be analysed by looking at the Spanish market environment through a summary and comparison of the strategies established by the authorities at national and European level and by examining an independent assessment of the situation in Spain. Afterwards, a database will be used to go into the detail of the current situation of the value chain at global, European and Spanish level. Finally, conclusions will be drawn.

Key words: Hydrogen, value chain, Hoja de Ruta, Hydrogen Investability Index, European Green Deal, Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Índice

1.	Introducción	11
2.	El hidrógeno como vector energético	12
2.1.	Cadena de valor del hidrógeno	13
	• Producción.....	14
	• Almacenamiento y transporte	15
3.	Motivación	17
4.	Metodología	18
4.1.	Metodología	18
4.2.	Revisión del estado de la cuestión	18
	• Hoja de ruta en España	18
	• Comparación con iniciativas europeas.....	18
5.	Desarrollo	23
5.1.	Introducción a la base de datos	23
5.2.	Situación actual global	25
5.3.	Situación actual en Europa.....	31
5.4.	Detalle de la situación actual en España	34
6.	Conclusiones.....	42
7.	Bibliografía.....	44

Índice de figuras

Figura 1. Etapas de la cadena de valor del hidrógeno mostradas en la Hoja de Ruta (Ministerio de Energía, 2020).	13
Figura 2. Cadena de valor considerada en la base de datos (elaboración propia).	13
Figura 3. Costes de transporte del hidrógeno en función de la distancia recorrida y el volumen transportado en \$/KG (Ministerio de Energía, 2020).	16
Figura 4. Estado actual de la inversión pública en Hidrógeno en España (€, MM, elaboración propia).	20
Figura 5. Top 10 países en el Hydrogen Investability Index de 2021 (elaboración propia).	21
Figura 6. Detalle de la puntuación de España en el Hydrogen Investability Index (elaboración propia).	22
Figura 7. Distribución de la base de datos según el tamaño de las empresas (elaboración propia).	25
Figura 8. Distribución de la base de datos según nivel de dedicación (elaboración propia).	26
Figura 9. Tamaño de las compañías según dedicación a la actividad de la cadena de valor del hidrógeno(elaboración propia).	27
Figura 10. Distribución geográfica de las empresas presentes en la base de datos.	28
Figura 11. Número de empresas por región a nivel global (elaboración propia).	28
Figura 12. Presencia geográfica según altura en la cadena de valor (elaboración propia).	29
Figura 13. Dedicación relativa de cada región a cada etapa de la cadena de valor (elaboración propia).	29
Figura 14. Total de compañías por país en Europa (elaboración propia).	31
Figura 15. Presencia geográfica según altura en la cadena de valor en Europa (elaboración propia).	32
Figura 16. Distribución de las compañías europeas según el tamaño (elaboración propia).	32
Figura 17. Distribución de las compañías europeas según nivel de dedicación (elaboración propia).	33
Figura 18. Nivel de dedicación de las compañías europeas en cada región (elaboración propia).	33
Figura 19. Distribución de las empresas españolas según nivel de dedicación (elaboración propia).	34
Figura 20. Distribución de las compañías españolas por tamaños según el nivel de dedicación a actividades del hidrógeno (elaboración propia).	34
Figura 21. Evolución del número de compañías dedicadas a actividades del Hidrógeno (elaboración propia).	37
Figura 22. Situación geográfica de las empresas españolas con dedicación al Hidrógeno (elaboración propia).	39
Figura 23. Dedicación de las compañías españolas por etapa de la cadena de valor del hidrógeno (elaboración propia).	40

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación de las estrategias española y europea para el Hidrógeno (elaboración propia).....	20
Tabla 2. Peso relativo de cada región en cada una de las etapas de la cadena de valor (elaboración propia).....	30
Tabla 3. Resumen de dedicación, año de fundación, número de empleados y tamaño de las compañías españolas (elaboración propia).	35
Tabla 4. Resumen de las etapas en la cadena de valor en las que están activas las compañías españolas (elaboración propia).....	38

1. Introducción

Es indudable que uno de los retos a los que se están enfrentando las sociedades actuales es el de alcanzar soluciones que encaminen las economías globales hacia alternativas energéticas sostenibles (Abdul Rahman, 2020), y prueba de ello es el compromiso de entidades gubernamentales nacionales y supranacionales con el desarrollo de políticas y medidas que aborden esta cuestión (Lin, 2021).

En este entorno de creciente preocupación por la sostenibilidad, en el que las energías renovables han emergido como una de las respuestas clave al problema, el hidrógeno (y más concretamente el hidrógeno verde) han ido ganando popularidad como una solución eficiente al problema natural que va ligado a la energía provenientes de recursos renovables: la variabilidad de la demanda y la dificultad (o imposibilidad) de almacenarla.

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación de la cadena de valor de la industria del hidrógeno en España, identificando a los competidores principales y poniéndola en contexto con la situación global y europea. Para ello tomará como base para su análisis la base de datos ofrecida por *infinergia*¹, que presenta una cobertura global de 911 compañías en 39 países distintos y que operan a lo largo de toda la cadena de valor, desde la producción, al almacenamiento e incluyendo distintas tecnologías.

Se llevará a cabo antes una recogida de las principales medidas establecidas a nivel europeo y nacional en relación con la industria, y finalmente se extraerán conclusiones acerca del estado actual de en Españas y de las posibles oportunidades que se hayan identificado.

¹ <https://www.enerdata.net/research/h2-database.html>

2. El hidrógeno como vector energético

El hidrógeno (H_2) es la molécula de gas más pequeña, compuesta por dos átomos de Hidrógeno (en total 2 protones y 2 electrones) (Ohno et al., 2012). Los átomos de Hidrógeno son los más común en el Universo conocido, formando parte de sustancias en la Tierra con las que estamos familiarizados como los hidrocarburos o el agua.

El hidrógeno es además lo que se conoce como un “vector energético”, lo que significa que no es en sí una fuente energética (como lo son, por ejemplo, el sol o los combustibles fósiles), pero sí es un portador de esa energía generada a partir de otras fuentes, ya que se puede utilizar para almacenarla y transportarla (Guerra C.; Rodríguez E., 2010). Así, el hidrógeno destaca entre otros vectores energéticos por diversos motivos además de la ventaja ya comentada de su alta disponibilidad.

El hidrógeno tiene un elevado valor calorífico y un contenido de energía por unidad de peso superior al de cualquier otro combustible. Lo que esto significa en definitiva es que el hidrógeno tiene una alta densidad energética, lo que permite almacenar la misma cantidad de energía en menos peso que con otros vectores. Por otro lado, la molécula de hidrógeno es ligera y relativamente estable, especialmente en comparación con las de otros vectores.

La combustión del hidrógeno es además limpia, ya que no produce emisiones contaminantes (sólo agua al entrar en contacto con el oxígeno atmosférico) como, por contra, sí lo hacen los hidrocarburos (principalmente de CO_2).

El hidrógeno es por tanto un combustible ligero y limpio, pero, que a pesar de su gran abundancia en nuestro planeta y en el Universo, es difícil de encontrar en estado puro, ya que, precisamente por su escaso peso, asciende hasta las capas más superiores de la atmósfera. Es por ello, que para obtenerlo se utilizan procesos de extracción de la sustancia en la que se encuentre, para lo que es necesario una aportación de energía.

Según la materia prima de la que se extraiga y las emisiones de CO_2 generadas para su obtención, el hidrógeno se clasifica en los siguientes tres tipos fundamentales (IEA, 2019), aunque con el tiempo se hayan añadido nuevas clasificaciones.

- **Hidrógeno verde o renovable:** aquel que haya sido generado a partir de materias primas que no impliquen la emisión de CO_2 mediante el uso de electricidad renovable. Estas materias primas pueden ser el agua (que se separa en sus moléculas componentes hidrógeno y oxígeno mediante el proceso de la electrólisis), el biogás (en un proceso llamado reformado), la biomasa (mediante conversión química).
- **Hidrógeno gris:** aquel que haya sido producido a partir de gas natural u otros hidrocarburos ligeros (como el metano o gases licuados de petróleo) mediante procesos de reformado. Se estima que a fecha de la edición de la Hoja de Ruta del Hidrógeno el 99% del hidrógeno consumido en España era de este tipo (Ministerio de Energía, 2020).
- **Hidrógeno azul:** hidrógeno obtenido de forma similar al gris, pero en cuya producción se aplican técnicas de captura, uso y almacenamiento de carbono para reducir las emisiones de dióxido de carbono.

La Unión Europea ha mostrado su compromiso en diversas ocasiones por emprender un camino hacia una economía basada en el hidrógeno verde, por lo que ha establecido su

Estrategia Europea del Hidrógeno (European Commission, 2020) en la que establece las políticas y directrices para alcanzar un escenario en que el hidrógeno renovable “desempeñe un papel en el equilibrio y en la flexibilización de un sistema eléctrico basado en energías renovables. Aquí se reconoce la esperanza del que el hidrógeno verde sea gradualmente competitivo en precio con otras formas de producción y también establece políticas para contribuir a ello.

2.1. Cadena de valor del hidrógeno

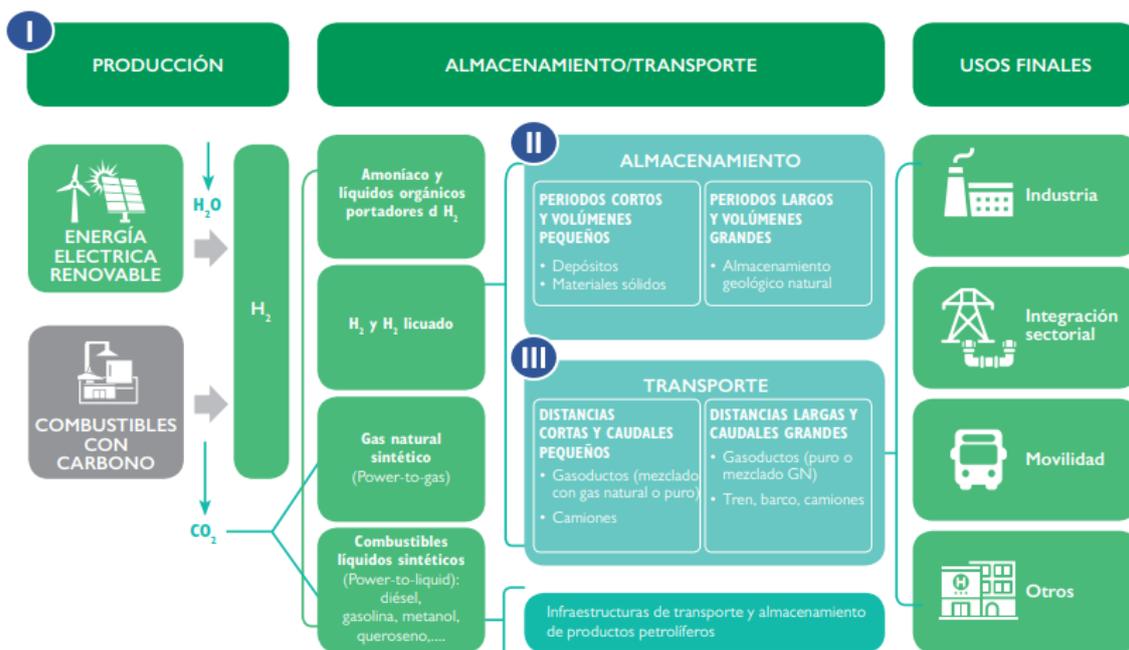


Figura 1. Etapas de la cadena de valor del hidrógeno mostradas en la Hoja de Ruta (Ministerio de Energía, 2020).

Las etapas de la cadena de valor del hidrógeno consideradas en la Hoja de Ruta no difieren de las etapas generales que pueda tener otro producto genérico y son tres: producción, almacenamiento/ transporte y usos finales. No obstante, la base de datos objeto de este proyecto considera dos etapas adicionales y no incluye empresas en el término de la cadena por considerar los diversos usos finales fuera de la misma.



Figura 2. Cadena de valor considerada en la base de datos (elaboración propia).

Las etapas consideradas en la base de datos son las mostradas en la figura anterior, incluyendo las de materiales y componentes que sirven de materias primas a la industria y las pilas de combustible. Esta pequeña divergencia en los límites de la cadena de valor es algo comprensible

teniendo en cuenta que no hay un estándar que los defina, y está sujeto a la interpretación de quien lo analice. La Asociación Española del Hidrógeno define también en su página web la cadena de valor en más detalle que en la Hoja de Ruta, aunque siguiendo las mismas etapas que en el plan nacional.

A continuación se comentarán las dos etapas de la cadena de valor más representativas para la base de datos según se presentan en la Hoja de Ruta: la producción y el almacenamiento/transporte.

• Producción

Atendiendo a las etapas establecidas en la Hoja de Ruta, la primera sería la de producción. Existen diferentes tecnologías de producción, clasificadas según la materia prima de la que extraer el hidrógeno.

Electrólisis (a partir de agua): consiste en la ruptura de la molécula de agua en sus componentes (hidrógeno y oxígeno) en estado gaseoso. Para ello se suministra una corriente eléctrica a través de una fuente conectada a dos electrodos, donde se produce la disociación de la molécula del agua. Por ser el agua una materia prima que no emite dióxido de carbono en el proceso de electrólisis, siempre que la electricidad provenga de fuentes renovables el hidrógeno generado por estas tecnologías será considerado como verde o renovable. Existen distintas tecnologías de electrolizadores, de los cuales, en la Hoja de Ruta, se destacan los siguientes (Ministerio de Energía, 2020):

- Alcalinos: Este tipo de electrolizadores utilizan una disolución alcalina, generalmente hidróxido de potasio, como electrolito que conduce los iones.
- *Proton Exchange Membrane* (PEM, por sus siglas en inglés): en este tipo de electrolizadores el electrolito es un polímero sólido conductor de protones, que evita el problema de corrosión presente en los alcalinos.
- *Anion Exchange Membrane* (AEM, por sus siglas en inglés): esta tipología, una variante de los alcalinos que utiliza una membrana de intercambio aniónico. Presenta la ventaja sobre los PEM de evitar el uso de metales preciosos y por lo tanto un coste más competitivo.
- Óxido sólido: en este caso el electrolito está elaborado con materiales cerámicos, favoreciendo un coste de producción reducido y un elevado grado de eficiencia energética. A diferencia de los anteriores, es reversible, ya que permite convertir de nuevo el hidrógeno en electricidad. Es también la tecnología menos avanzada.

Otros métodos a partir de agua: procesos que todavía no tienen mucha relevancia pero que consiguen de igual manera la disociación de la molécula de agua.

- Termólisis: método en bajo estado de madurez que consigue romper la molécula de agua al ser esta calentada por encima de 2.500°C.
- Métodos fotoelectroquímicos: en los que se aprovecha la energía de la radiación solar.

A partir de gas natural o biogás: al usar hidrocarburos como materia prima, estas tecnologías sí generan emisiones de dióxido de carbono como resultado de la producción de hidrógeno.

- Reformado con vapor o *Steam Methane Reformer* (SMR): se hace reaccionar vapor a alta temperatura y presión con los hidrocarburos en un reactor que recibe el nombre de reformador. Como resultado de la reacción se produce además un gas de síntesis compuesto por hidrógeno y monóxido de carbono. El procedimiento más habitual incluye a continuación dos etapas de Water-Gas Shift reaction (WGS, por sus siglas en inglés) y una etapa final de purificación del hidrógeno.
- Oxidación parcial o *Partial Oxidation* (POX, por sus siglas en inglés): aquí se somete al hidrocarburo a una combustión parcial con defecto de oxígeno dentro de un reformador a alta temperatura, dando lugar al gas de síntesis. Aunque más rápido, es menos eficiente que el proceso anterior.
- Reformado autotérmico o *Autothermal reforming* (AR, por sus siglas en inglés): en este proceso se combinan las dos tecnologías anteriores, ya que se añade una corriente de vapor al proceso de oxidación parcial, con la desventaja de dar lugar a niveles de eficiencia por debajo del SMR.

● Almacenamiento y transporte

De los procesos anteriores, el hidrógeno producido puede encontrarse en diversos estados. Del estado y de otros parámetros, como la distancia desde la producción al consumo, idoneidad para el uso final, el caudal producido y el de consumo entre otros, dependerá el estado y la forma de transporte y almacenamiento.

Los estados en que se puede transportar el hidrógeno se pueden clasificar en cuatro principales grupos:

- Hidrógeno como amoníaco o líquidos orgánicos (LOHC): el hidrógeno puede combinarse con otras sustancias para formar compuestos que se transportan fácilmente en estado líquido, como pueden ser el metanol (CH_3OH), los líquidos orgánicos o el amoníaco (NH_3), que destaca por no contener carbono en su molécula.
- Hidrógeno en estado gaseoso: La baja densidad del hidrógeno supone un reto a superar en su almacenamiento o transporte, especialmente a gran escala y en largas distancias, ya que resulta o bien en contenedores de gran tamaño, o bien en contenedores suficientemente fuertes como soportar la presión si se decide comprimir para reducir su volumen (incurriendo entonces en los costes energéticos pertinentes). Además de comprimido, se puede transportar en estado gaseoso a través de un gasoducto.
- Hidrógeno licuado: también se puede almacenar en estado líquido, de forma similar al gas natural licuado. No obstante, mantener el hidrógeno en este estado físico requiere de una aportación constante de energía para mantener los niveles de frío necesarios.
- Hidrógeno combinado: originando combustibles con propiedades similares a los fósiles. Se puede utilizar para sintetizar metano al hacerlo reaccionar con CO_2 o biomasa, permitiendo el posterior uso de la red gasista para su transporte, o se puede utilizar también para la producción de combustibles sintéticos que podrían ser considerados renovables según la procedencia de las otras materias primas (como el diésel sintético).

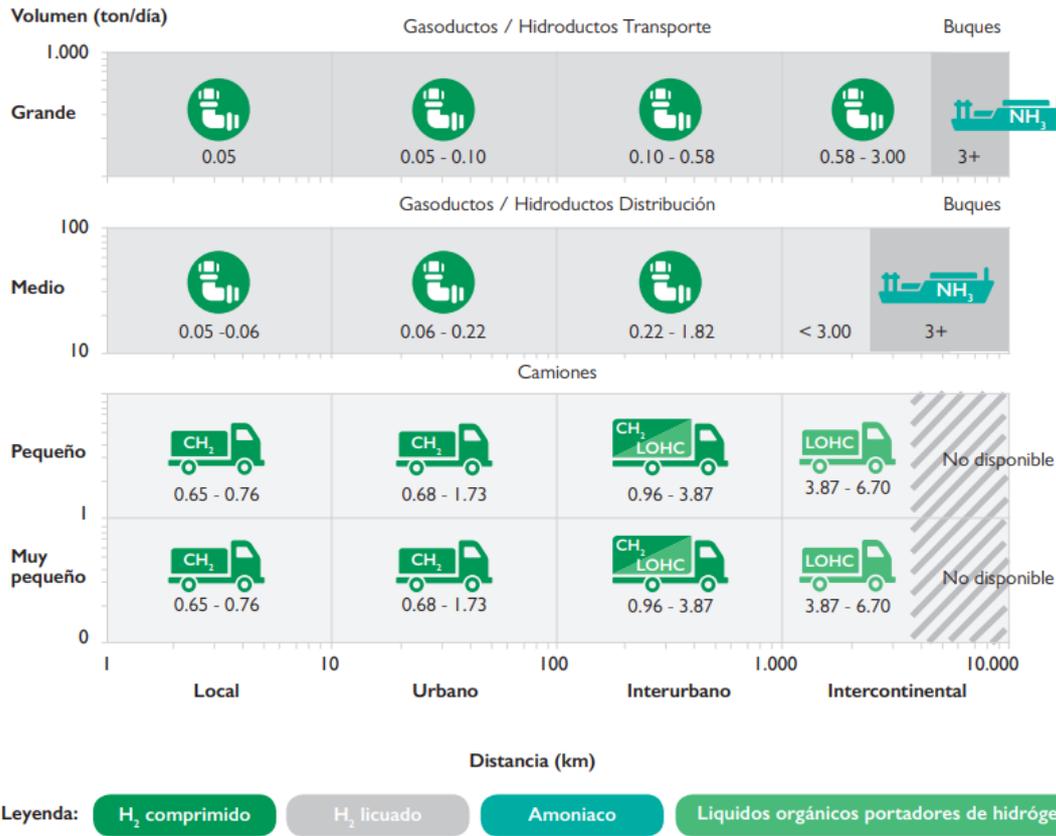


Figura 3. Costes de transporte del hidrógeno en función de la distancia recorrida y el volumen transportado en \$/KG (Ministerio de Energía, 2020).

Los métodos de transporte habituales son por carretera, por ferrocarril o por barco. El estado a transportar en cada uno dependerá de diversos parámetros, como se mencionó al comienzo de este subapartado. La figura anterior muestra la recomendación de la Hoja de Ruta del estado a transportar en función de la distancia y el volumen.

Existen diversas tecnologías para el almacenamiento del hidrógeno, pero en la Hoja de Ruta se presentan aquellas en un grado considerable de desarrollo técnico. Concretamente, para almacenamiento de poco volumen y corta duración, se plantean dos alternativas:

- Alta presión: almacenamiento del hidrógeno a presiones de entre 350-700 bar, para lo que es necesario el uso de materiales suficientemente resistentes.
- Materiales sólidos: algunos metales como el hierro o el níquel forman hidruros metálicos al entrar en contacto con el hidrógeno. Son compuestos, por tanto, que permiten absorber y posteriormente liberar hidrógeno en función de la presión y la temperatura entre otros parámetros. La principalmente es que el compuesto a almacenar es considerablemente más pesado que el hidrógeno en estado puro.

3. Motivación

La evolución de las energías renovables en Europa muestra una tendencia en auge que se ha acelerado en los últimos tiempos, especialmente a partir de la parte final de la década de 1990, cuando ya se empiezan a desarrollar políticas con un impacto real con el objetivo de imponer un cambio en el “régimen climático” internacional (Solorio & Bocquillon, 2017).

No obstante, aún a pesar de los recientes avances que han venido experimentando en su eficiencia, sigue habiendo retos relevantes a resolver para que las tecnologías renovables, como la solar o la eólica, para la gestión de redes eléctricas con predominancia de estos sistemas de generación (Saeedmanesh et al., 2018).

En este aspecto, el hidrógeno juega un papel relevante como potencial complemento a los sistemas de generación renovables por sus bondades como vector energético mencionadas en el capítulo anterior de esta memoria.

El hecho de poder aprender acerca de una de las industrias que definirá el futuro de las economías y las sociedades por su íntimo vínculo con las energías renovables (Oliveira et al., 2021), y por tanto con las macrotendencias anticíclicas relacionadas con la sostenibilidad, supone el gran factor motivante para llevar a cabo este Trabajo de Fin de Grado. El poder conocer la situación actual de un sector con un significativo potencial de crecimiento (Kovač et al., 2021) supone un complemento formativo a nivel académico, pero también a nivel personal, ya que se espera que el alcance de la transición energética tenga un impacto significativo en prácticamente todos los aspectos de la sociedad (Delafield et al., 2021).

Por otro lado, existe también la ambición de poder aportar, a escala reducida, una imagen de la situación actual de la industria en España que sirva como punto de consulta o de partida para otros proyectos en este ámbito.

4. Metodología

4.1. Metodología

En este proyecto se va a analizar una base de datos con 911 compañías presentes en 39 países y todas las etapas de la cadena de valor de la industria del hidrógeno. Con ella se van a extraer conclusiones acerca del estado actual de la industria del hidrógeno en España, identificando a los principales participantes del mercado nacional, las posibles oportunidades y se comparará con la situación en Europa y en el resto del mundo

4.2. Revisión del estado de la cuestión

- Hoja de ruta en España

En España, la postura oficial del Gobierno respecto al Hidrógeno, y más concretamente respecto al Hidrógeno renovable, está recogida en la *Hoja de Ruta del Hidrógeno* elaborada por el Ministerio para la Transformación Ecológica y el Reto Demográfico. En este documento, influenciado por las directrices e iniciativas emprendidas por la Unión Europea (está alineado con el marco establecido en la Estrategia Anual de Crecimiento Sostenible 2021, publicado por la Comisión Europea), se recogen una serie de objetivos con la ambición de posicionar a España como un “referente tecnológico en la producción y aprovechamiento del hidrógeno renovable (...) a través del impulso de la cadena de valor del Hidrógeno mediante la creación de clústers tecnológicos” (Ministerio de Energía, 2020) mediante una serie de medidas destinadas a impulsar la acción inversora.

La *Hoja de Ruta* establece además una “Visión” 2030 y 2050 en la que define el estado de la industria que se debería alcanzar en dichas fechas. Particularmente, la *Visión 2020* prevé una capacidad instalada de electrolizadores de 4GW (habiendo alcanzado como objetivo intermedio una potencia instalada de 300-600 MW en 2024) y una serie de hitos en el sector industrial, eléctrico y de movilidad para los que asume el despliegue de €8.900M a lo largo de la década de 2020. La *Visión 2050* asume una aceleración del desarrollo de la industria del Hidrógeno renovable en España, trayendo consigo la consecuencia de una sociedad descarbonizada.

Esta *Hoja de Ruta*, que nace de la participación de diversos agentes económicos, administraciones y ciudadanos que han contribuido durante el proceso de consulta previa, especialmente mediante la propuesta de diversos proyectos de innovación en distintas etapas de la cadena de valor (Ministerio de Energía, 2020), será actualizada cada tres años, evaluando y midiendo el grado de implementación de las diferentes iniciativas.

- Comparación con iniciativas europeas

Las medidas e iniciativas en España están alineadas y definidas bajo las acciones previstas en el contexto europeo. Concretamente, se establece en 2018 con la Directiva 2018/2001, la inclusión del hidrógeno renovable (EU, 2018), cuyas intenciones se reafirman en la Iniciativa del Hidrógeno lanzada en Linz en 2018, consistente una declaración en la que los 27 países miembro de la unión Europea, la Comisión Europea y otros países y organizaciones reconocen el potencial

de las tecnologías del hidrógeno sostenible como un agente principal en la descarbonización de la economía, la seguridad del suministro de energía en el largo plazo y la competitividad económica europea (“European Hydrogen Initiative Aims to Maximise Potential of Sustainable Hydrogen Technology,” 2018).

La estrategia europea para cumplir con este compromiso con el hidrógeno verde como apoyo para los objetivos mencionados arriba se define en la Estrategia Europea del Hidrógeno (Lambert, 2020) como una de las políticas a desarrollar enmarcadas en el Pacto Verde Europeo (Sikora, 2020). Esta Estrategia establece objetivos en tres horizontes temporales, con una sucesión de hitos a alcanzar.

En la primera fase (2020-2024) se contempla la instalación de, al menos, 6GW de electrolizadores en la Unión Europea y la producción de hasta 1 millón de toneladas de hidrógeno renovable. El objetivo de este esfuerzo es el logro de la descarbonización del hidrógeno ya existente para otras industrias (por ejemplo, la química) y para favorecer el uso del hidrógeno verde en futuros nuevos usos como el transporte.

En la segunda fase (2025-2030) el hidrógeno debería, según lo establecido en la Estrategia Europea, convertirse un elemento intrínseco al sistema energético integrado que la Unión Europea espera alcanzar en esta fecha. Para ello se contempla la instalación de al menos 40GW de electrolizadores con una producción de al menos 10 millones de toneladas de hidrógeno renovable en territorio de la Unión Europea.

La tercera fase (2025-2030) asume que las tecnologías de hidrógeno renovable hayan alcanzado, para el final de la etapa, su madurez y se encuentren en condiciones para desplegarse a gran escala, teniendo la capacidad de alcanzar aquellos sectores en los que la descarbonización sea más compleja y en los que otras alternativas puedan no ser factibles (técnica o económicamente).

Es relevante destacar además que la Unión Europea reconoce la importancia de los combustibles sintéticos derivados del hidrógeno renovable como una herramienta complementaria en las instalaciones de producción de hidrógeno para la captura y el almacenamiento de carbono para crear emisiones negativas.

Tabla 1. Comparación de las estrategias española y europea para el Hidrógeno (elaboración propia).

Fase (Duración)	Estrategia para el Hidrógeno de la Unión Europea	Estrategia para el Hidrógeno de España
Visión 2030	Primera (2020-2024) <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de 6GW de electrolizadores • Producción de 1MM de toneladas de hidrógeno verde en la UE 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de 300-600MW de electrolizadores
	Segunda (2025-2030) <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de 40GW de electrolizadores • Producción has 10MM de toneladas de hidrógeno renovable en la UE 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de al menos 4GW de electrolizadores • Contribución mínima de hidrógeno renovable del 25% del total de hidrógeno consumido en 2030 • Transporte: flota de 150-200 autobuses de pila de combustible en 2030 • 5.000-7.500 vehículos ligeros y pesados de pila de combustible para transporte de mercancías • 100-150 estaciones de hidrógeno de acceso público • Proyectos comerciales de hidrógeno operativos a 2030 para el almacenamiento de y/o uso de excedentes de energía renovable
Visión 2050	Tercera (2030-2050) <ul style="list-style-type: none"> • Madurez y desarrollo a gran escala de las tecnologías del hidrógeno renovable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Economía basada en la producción y aplicación del hidrógeno verde • Competitividad en la producción del hidrógeno renovable frente a otras tecnologías • Descarbonización de la Sociedad para 2050 • Mayor capacidad de gestión de las renovables • Suministro de energía de calidad, sostenible y a precios competitivos

Los objetivos establecidos en la *Hoja de Ruta* suponen que en 2030 produzca un 10% del total del Hidrógeno producido en Europa según lo establecido en la Estrategia para el Hidrógeno² aprobada por la Comisión Europea en 2020 (European Commission, 2020).



Figura 4. Estado actual de la inversión pública en Hidrógeno en España (€, MM, elaboración propia).

No obstante, a fecha de la elaboración de esta memoria, la inversión pública efectivamente asignada a proyectos de Hidrógeno es de €1.550MM (un 17,4% del total establecido para 2030) provenientes de los fondos *Next Generation EU* que, según la estimación del Gobierno español, movilizarán €2.800MM adicionales de capital privado (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico & Vicepresidencia Tercera del Gobierno de España, 2021).

El peso de la inversión en Hidrógeno de este paquete europeo de ayudas es limitado, ya que, de los fondos para la recuperación europea *NextGen EU* que han supuesto un total de €69.528MM para España, más de €6.900MM se destinan en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) a iniciativas dedicadas enmarcadas en la transición energética (un 9,2%). Esto supone que el total de €1.550MM que irán destinados a proyectos de Hidrógeno constituirán

² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS_20_1296

un 2% del total de las ayudas y un 22% de las dedicadas a la transición energética (Gobierno de España, 2021).

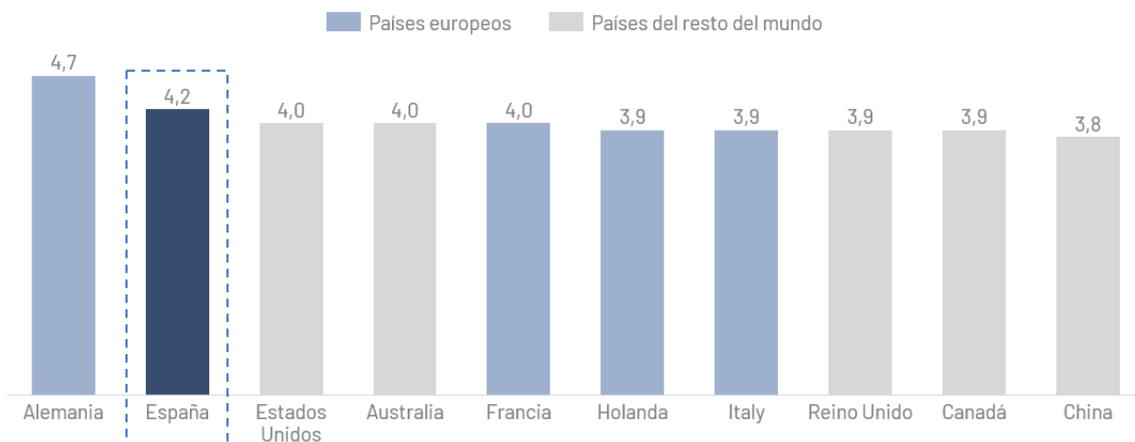


Figura 5. Top 10 países en el Hydrogen Investability Index³ de 2021 (elaboración propia).

Por otro lado, el *Hydrogen Investability Index*, sitúa a España a la cabeza de los países del mundo con mayor atractivo para la inversión en Hidrógeno. Este índice impulsado por las consultoras de infraestructura de alcance internacional Cranmore Partners y Energy State, ambas enfocadas en la sostenibilidad y la transición energética (entre otras áreas de actividad), busca establecer un marco de análisis común para los 39 países que analiza.

El índice establece una puntuación de 0 a 5 para cada país en función de 5 pilares fundamentales:

1. **Impulsores regulatorios:** la fuerza de las regulaciones tras la actividad del hidrógeno en forma de apoyo directo o indirecto a la inversión en distintas partes de la cadena de valor (peso del 30% de la valoración total)
2. **Demanda local:** el potencial de demanda local por el hidrógeno que pueda incentivar la producción en el país. Según la metodología establecida por el índice, este es un aspecto especialmente crucial en las etapas iniciales de la industria, cuando los costes de transporte continúan siendo prohibitivos por la ausencia de una infraestructura adecuada, y las iniciativas puedan ser sólo viables si se encuentran físicamente cercanas a la demanda.
3. **Transporte y almacenamiento:** el estado del arte de los países en cuanto a su infraestructura de transporte de hidrógeno y el nivel de adecuación de esta para la producción y el consumo masivos del Hidrógeno.
4. **Recursos renovables:** el coste y el potencial técnico de los recursos eólicos y solares. En Este apartado, los países con un bajo LCOE⁴ y un alto potencial técnico, gozarán de las características adecuadas para convertirse en exportadores de hidrógeno.
5. **“Invertibilidad”:** el riesgo percibido y el atractivo de inversión en proyectos de hidrógeno bajo la jurisdicción del país en cuestión.
6. **Inseguridad energética:** la inseguridad energética del país (entendida como la dependencia energética del extranjero) bajo el supuesto de que una mayor inseguridad supone un impulsor para desarrollar plantas domésticas de producción renovable, como

³ <https://www.h2-index.com/>

⁴ *Levelised Cost of Energy* (Coste nivelado de la energía), es una medida del coste actual neto promedio de generación de electricidad para una estación generadora a lo largo de su vida útil.

se ha demostrado en países como Japón o Corea del sur a pesar de los elevados costes (H2i Hydrogen Investability Index, 2021).

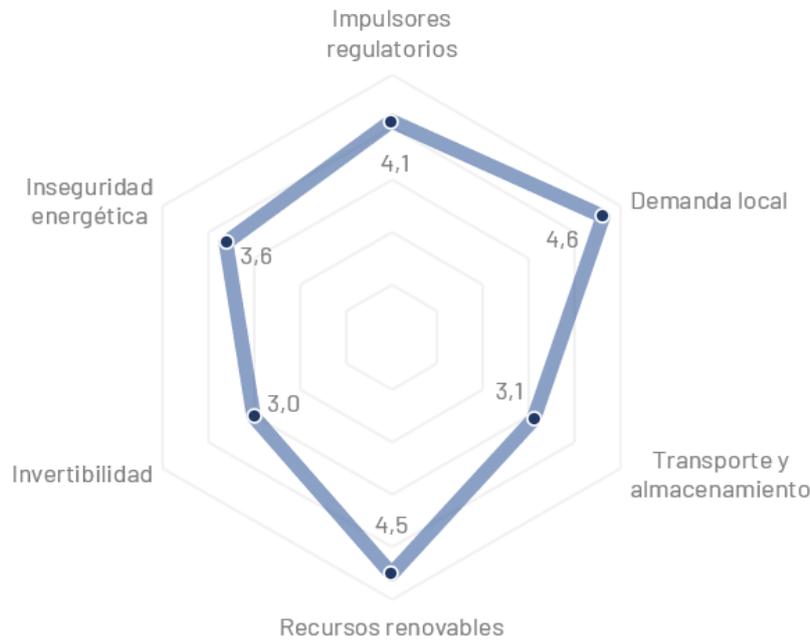


Figura 6. Detalle de la puntuación de España en el Hydrogen Investability Index (elaboración propia).

En el análisis realizado sobre la situación en España, se destaca que la principal oportunidad del país para acelerar la industria doméstica del hidrógeno, en comparación con otros países, es el bajo coste (uno de los más baratos en Europa) y la gran disponibilidad de los recursos renovables. Particularmente, el informe que lleva a cabo el índice establece que el potencial escalable de la energía solar podría ser la piedra angular para que España se estableciese como uno de los principales proveedores de hidrógeno verde de Europa.

Otro de los aspectos positivos que destaca el informe de la situación en España es la presencia de una fuerte base industrial nacional: España usa en la actualidad 500.000 toneladas de hidrógeno al año en aplicaciones industriales, fundamentalmente en la industria química - principalmente refinado y, en menor medida en la producción de fertilizantes (H2i Hydrogen Investability Index, 2021). Este aspecto es resaltado también en el análisis de la industria de 2021 llevado a cabo por el *Hydrogen Council* en colaboración con Mckinsey, en el que además de proyectar una reducción del LCOE en los próximos años, destaca que se espera que estas reducciones sean más pronunciadas en países con “recursos óptimos”, entre los que destaca explícitamente a España (Hydrogen Council & McKinsey, 2021).

Además, el índice incorpora también positivamente en su análisis de la situación española la gran cantidad de proyectos anunciados, algunos de los cuales, además, están apoyados por competidores estratégicos como Iberdrola, EDPR y Repsol.

5. Desarrollo

5.1. Introducción a la base de datos

Este proyecto tomará como base para su análisis la base de datos ofrecida por infinergia⁵, que presenta una cobertura global de 911 compañías en 39 países distintos y que operan a lo largo de toda la cadena de valor, desde la producción, al almacenamiento e incluyendo distintas tecnologías.

Además de aportar información básica de cada compañía (tamaño, año de fundación, si su actividad relacionada con el hidrógeno es la principal de su modelo de negocio o es una actividad accesoria a su núcleo de negocio, etc), la base de datos clasifica las empresas identificadas según su actividad influyan en una o varias de las 8 actividades principales de la cadena de valor del hidrógeno y sus diferentes subsegmentos.

1. Materiales y componentes
 - a. Materiales: Principales materiales usados en la manufactura de pilas de combustible y células de electrólisis. Incluye cerámicas, electrolitos, catalizadores, membranas y sistemas de revestimiento.
 - b. Componentes: Aquellos componentes usados en la manufactura de pilas de combustible y células de electrólisis. Incluye capas de difusión de gas (GDL por sus siglas en inglés), electrodos de difusión de gas (GDE por sus siglas en inglés), conjuntos de electrodos de membrana (MEA por sus siglas en inglés), placas bipolares, pilas, válvulas y tuberías.
2. Pilas de combustible
 - 2.1. Manufactura de pilas de combustible
 - a. Pilas de células de combustible: ensamblaje de células diseñadas para alcanzar una producción de energía específica.
 - b. Balance de instalaciones: Componentes de apoyo y sistemas auxiliares para la pila. Incluye humidificadores, sistema de recirculación de hidrógeno (activo o pasivo), sopladores de aire, sistemas de conversión de energía y pequeños reformadores de metanol integrados.
 - c. Sistemas: Montaje completo de la pila de combustible, incluyendo la pila y el balance de la instalación.
 - d. Integradores: Integración de la pila de combustible en el producto final⁶.
 - 2.2. Tecnologías de pilas de combustible
 - e. SOFC: Pilas de combustible de óxido sólido (SOFC por sus siglas en inglés).
 - f. PEMFC: Pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEMFC por sus siglas en inglés).
 - g. PAFC: Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC por sus siglas en inglés).
 - h. DMFC: Pilas de combustible de metanol indirecto (DMFC por sus siglas en inglés).

⁵ <https://www.enerdata.net/research/h2-database.html>

⁶ En esta base de datos no figuran empresas que sólo integren pilas de combustible sin fabricarlas, excepto las soluciones de almacenamiento a largo plazo.

- i. Otros: Aquí se incluyen distintas tecnologías menos extendidas, a saber, pilas de combustible alcalinas (AFC por sus siglas en inglés), pilas de combustible de etanol directas (DEFC por sus siglas en inglés), pilas de combustible de refrigeración directa por oxígeno líquido (DOLCFC por sus siglas en inglés) y pilas de combustible de carbonato fundido (MCFC por sus siglas en inglés).

2.3. Segmento de mercado de las pilas de combustible

- j. Portátil: Sistemas portátiles (por ejemplo, cargadores electrónicos o equipo militar) y drones.
- k. Transporte: medios de transporte (por ejemplo, coches, autobuses o trenes) e infraestructura para dicho transporte.
- l. Pequeños sistemas estacionarios: Sistemas estacionarios con una potencia inferior a 100 kW (por ejemplo, microsistema combinado de calor y electricidad para viviendas o suministro de energía para torres de telecomunicaciones).
- m. Grandes sistemas estacionarios: Sistemas estacionarios con una potencia superior a 100 kW.

3. Producción de Hidrógeno

- a. Por electrólisis: La base de datos incluye distintas tecnologías de electrolizadores, a saber, alcalinos, de membrana electrolítica (PEM por sus siglas en inglés), de celdas electrolizadoras de óxido sólido (SOEC por sus siglas en inglés) y otras tecnologías, incluyendo los electrolizadores de membrana de intercambio aniónico (AEM por sus siglas en inglés).
- b. Reformado de gas: Incluyendo la generación de hidrógeno por reformado de metanol, reformado de biogás, reformado de metano, etc.
- c. Por biomasa: Producción a partir de material animal o vegetal.
- d. Por residuos: Producción a partir de residuos (por ejemplo, plásticos o aguas residuales).
- e. Otras tecnologías: Incluyendo procesos químicos como la purificación del agua (consistente en eliminar impurezas del agua que se va a electrolizar) o la purificación del hidrógeno (sistema de purificación a la salida de la producción del hidrógeno).

4. Almacenamiento de Hidrógeno

- a. Líquido: Sistema de almacenamiento con hidrógeno en estado líquido (i.e. hidrógeno licuado).
- b. Gas: Sistema de almacenamiento con hidrógeno como gas comprimido.
- c. Sólido: sistema de almacenamiento de hidrógeno sólido (por ejemplo, hidruros metálicos).
- d. LHC/ LOC: Transportador de hidrógeno líquido/ transportador de hidrógeno orgánico líquido.
- e. Válvula de cilindro: Las válvulas permiten que el hidrógeno se introduzca o se vacíe de los cilindros. Se consideran de 4 tipos: válvula de cierre a presión, válvula de empaquetadura, válvula de junta tórica y válvula de diafragma.

5. Abastecimiento de hidrógeno

- a. Compresor: Compresor para estaciones de servicio de hidrógeno.
- b. Bomba criogénica: Bombas especiales para hidrógeno comprimido criogénico.

- c. Enfriador: Sistemas de preenfriamiento para el suministro de hidrógeno a altas presiones.
- d. Dispensador: Equipado con una manguera, una boquilla (que soporte altas presiones), una pantalla interfaz y un sistema de control.
- e. Integrador: Comprende las empresas que ofrecen una estación de servicio de hidrógeno llave en mano.

Se asume que la información mostrada en la base de datos y las conclusiones que de ella se puedan extraer son representativas de la imagen global actual (es importante destacar el punto de que la actividad económica en general está en constante evolución y que especialmente en industrias poco maduras como la del Hidrógeno cabe esperar cambios relevantes a corto plazo en su configuración) de la industria del Hidrógeno gracias al elevado número de datos. Asumiendo que las variables consideradas se distribuyen según una curva normal, y tomando como hipótesis un tamaño del universo de 100.000 compañías, se conseguiría una muestra representativa con un tamaño muestral igual o superior a 383.

5.2. Situación actual global

La base de datos cuenta con 911 compañías, con base en distintas regiones del planeta, pertenecientes a distintas alturas de la cadena de valor (definida por las actividades antes expuestas), de distintos tamaños y con distintos niveles de dedicación a la actividad de la cadena de valor del hidrógeno a la que están expuestas. Además, la base de datos distingue entre aquellas compañías que cubren totalmente una actividad (atribuyéndoles un 1) y aquellas que sólo la cubren parcialmente (con un 0,5).

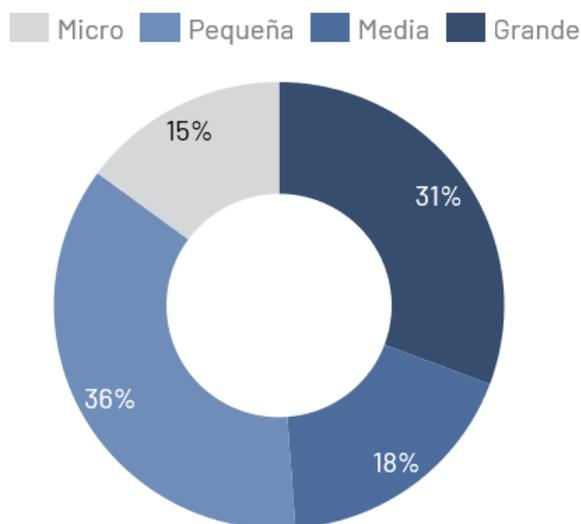


Figura 7. Distribución de la base de datos según el tamaño de las empresas (elaboración propia).

La base de datos clasifica también las compañías según su tamaño, comprendiendo cuatro tipologías distintas:

- Micro (menos de 10 empleados) – 15% de los datos analizados.
- Pequeña (de 11 a 50 empleados) – 36% de los datos analizados.
- Media (de 50 a 100 empleados) – 18% de los datos analizados.

- Grande (más de 100 empleados) – 31% de los datos analizados.

Cabe destacar en este punto que la imagen de esta clasificación, y más en una industria relativamente joven como es la del hidrógeno, está sujeta a cambios repentinos, ya que las empresas evolucionan favorablemente aumentando su tamaño o, por el contrario, fracasan y cierran.

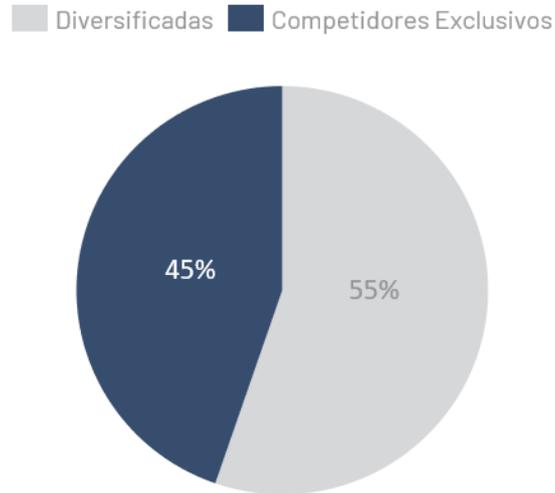


Figura 8. Distribución de la base de datos según nivel de dedicación (elaboración propia).

Las empresas analizadas se clasifican según su nivel de dedicación a las actividades mencionadas al comienzo de este capítulo, considerando dos tipologías de compañías, las “Diversificadas” (aquellas que además tienen parte de su negocio dedicado a actividades en otras industrias) y los “Competidores Exclusivos” (aquellas dedicadas exclusivamente a las actividades recogidas en la base de datos).

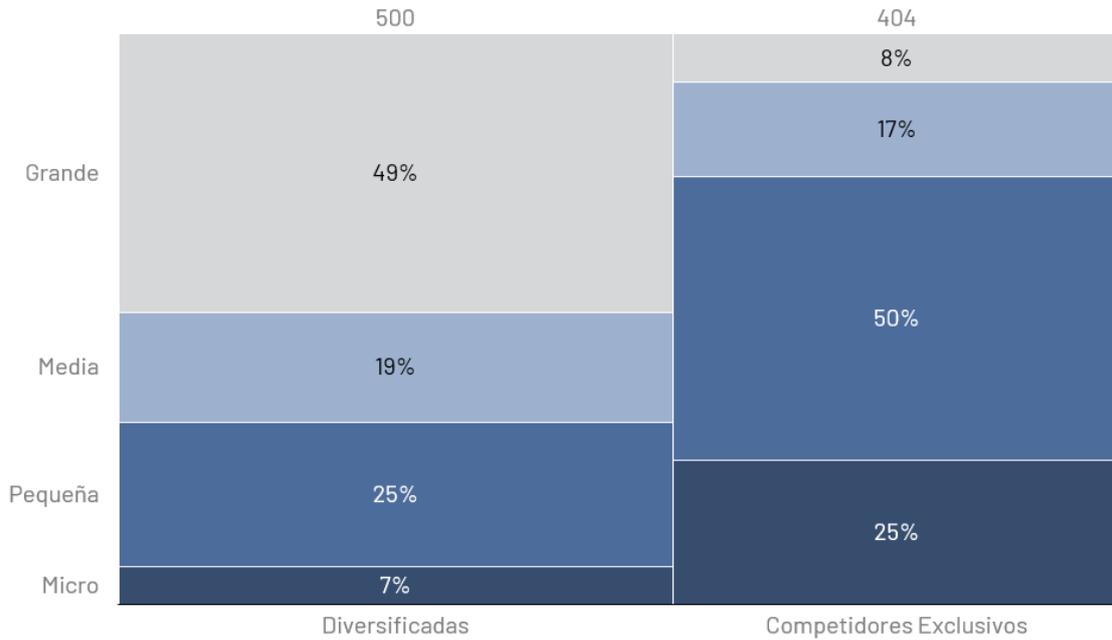


Figura 9. Tamaño de las compañías según dedicación a la actividad de la cadena de valor del hidrógeno⁷(elaboración propia).

La distribución de los tamaños de las empresas según su nivel de dedicación a las actividades de esta industria es coherente con lo que cabe esperar de un mercado todavía en desarrollo y relativamente incipiente.

La mayoría de las empresas grandes (que, en líneas generales, se pueden aproximar por empresas establecidas, que han conseguido consolidar su posición en el mercado) son competidores diversificados, presumiblemente compañías tradicionales en sectores energéticos que se han ido abriendo al Hidrógeno por las dinámicas favorables del mercado y para satisfacer las necesidades cambiantes de sus clientes.

Por otro lado, entre los competidores exclusivos se puede apreciar un mayor peso de empresas de menos de 50 empleados, lo que sugiere su, todavía, falta de madurez ya que estas empresas recientes todavía no habrán podido establecer una posición fuerte en el mercado. Estas hipótesis se testearán más adelante con las firmas españolas para comprender el detalle de la situación actual en el mercado nacional.

⁷ No se tiene información respecto a la combinación de tamaño de la compañía y dedicación a la actividad de un total de 7 compañías.

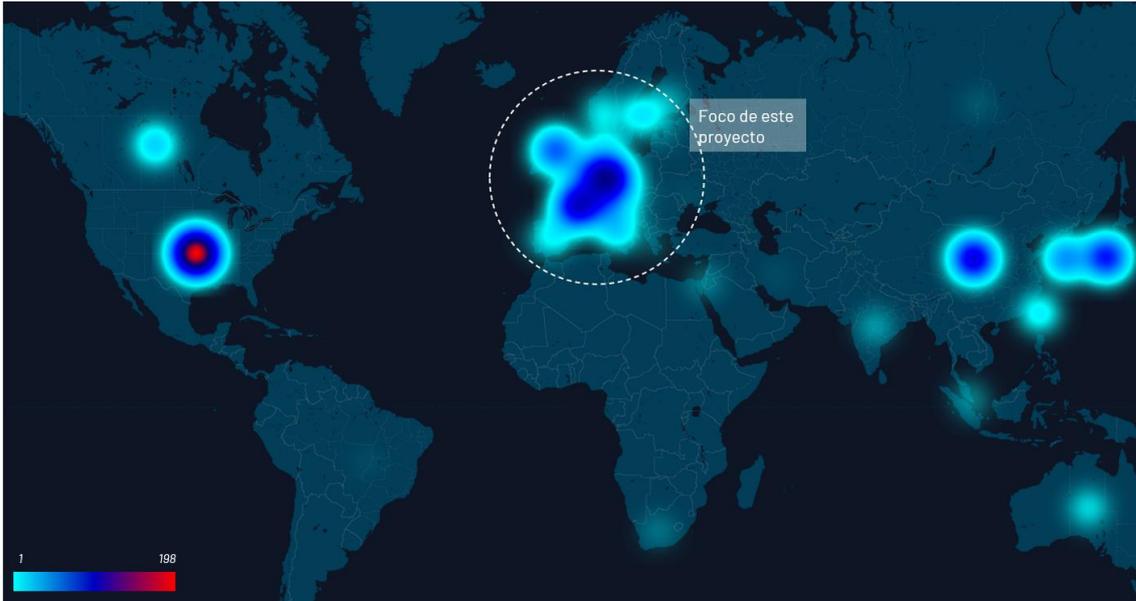


Figura 10. Distribución geográfica de las empresas presentas en la base de datos.

Se observa una actividad concentrada en Norte América, Europa y Asia complementada por pequeños focos de actividad en algunas zonas del pacífico y del sur de África fundamentalmente. Este desarrollo en forma de algo que geográficamente se asemeja a núcleos productivos o *clústers* puede responder a varias razones (Waits, 2000), entre ellas: las diferentes estrategias energéticas que puedan tener las distintas regiones (o las potencias influyentes presentes en ellas), las sinergias y la complementariedad de la industria con otras actividades económicas desarrolladas en la región, la presencia de las tecnologías y recursos necesarios o el impulso a través de incentivo desde los organismos públicos.

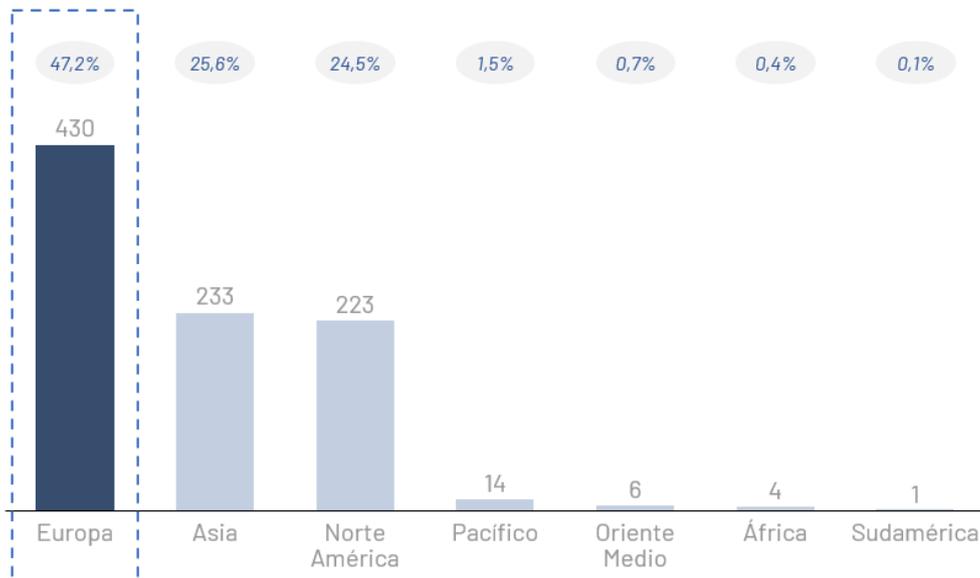


Figura 11. Número de empresas por región a nivel global (elaboración propia).

Atendiendo a la base de datos, y como ya se ha mencionado, la industria del hidrógeno se concentra principalmente en 3 regiones: Europa, Asia y Norte América en orden descendente. De las regiones en las que se clasifican las empresas presentes en la base de datos, Europa

destaca por ser la más activa en esta industria, muy por delante de Asia y Norte América, con un total de 430 empresas que supone casi la mitad del total de los datos (47,2%). Este proyecto pondrá el foco precisamente en Europa y entrará en el detalle de la situación concreta en España.

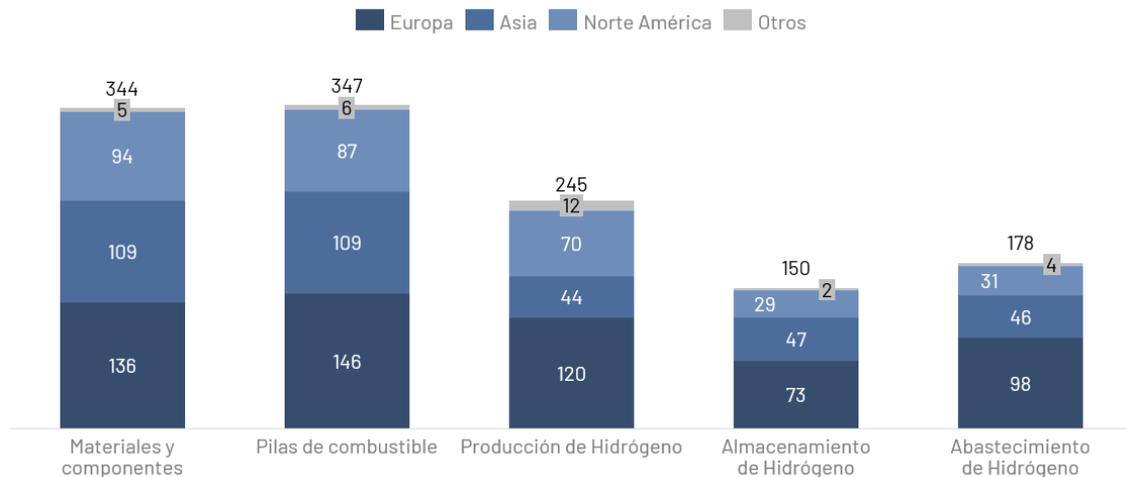


Figura 12. Presencia geográfica según altura en la cadena de valor (elaboración propia).

Analizando la cadena de valor global de esta industria, se aprecia que la mayoría de las empresas consideradas están concentradas al principio, dando una idea de dónde puede haber oportunidades a futuro. Precisamente parte de los retos a futuro que afronta el Hidrógeno en su camino como una alternativa energética viable (y en los que se ha avanzado mucho en los últimos años) pasa por alcanzar soluciones técnicas rentables tanto económica como energéticamente, para poder almacenar y distribuir el Hidrógeno. Este “riesgo” mayor puede explicar la menor actividad en las etapas finales de la cadena de valor.

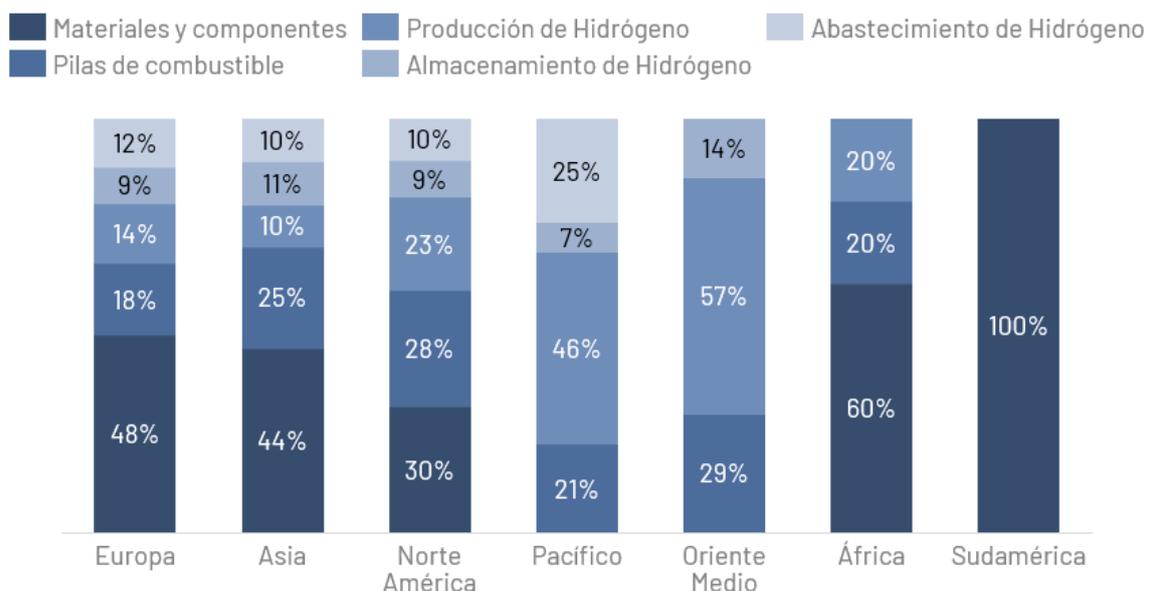


Figura 13. Dedicación relativa de cada región a cada etapa de la cadena de valor (elaboración propia).

Se puede confirmar además la relevancia del papel de las empresas europeas transversalmente a lo largo de la cadena valor, que suponen más de un 40% del total global en cada una de las etapas analizadas (tabla que sigue). Destaca también que un 57% de las compañías de Oriente Medio y un 46% de las empresas del Pacífico son activas en la producción de Hidrógeno (como se muestra en la figura anterior), un peso relativo superior al de las regiones que lideran la industria: 22,5% para Norte América, 14,4% para Europa, 10% para Asia.

Tabla 2. Peso relativo de cada región en cada una de las etapas de la cadena de valor (elaboración propia).

	Materiales y componentes	Pilas de combustible	Producción de Hidrógeno	Almacenamiento de hidrógeno	Abastecimiento de Hidrógeno
Norte América	19,2%	13,6%	25,0%	28,4%	18,8%
Europa	51,6%	57,3%	42,0%	48,9%	48,7%
Asia	27,4%	28,4%	31,3%	18,0%	31,2%
Oriente Medio	0,4%	0,0%	0,6%	1,6%	0,7%
Sudamérica	0,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Pacífico	0,9%	0,0%	0,9%	2,7%	0,7%
África	0,3%	0,4%	0,3%	0,4%	0,0%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

5.3. Situación actual en Europa

El subconjunto de compañías presentes en la región europea cuenta con un total de 430 compañías distribuidas en 24 países distintos.

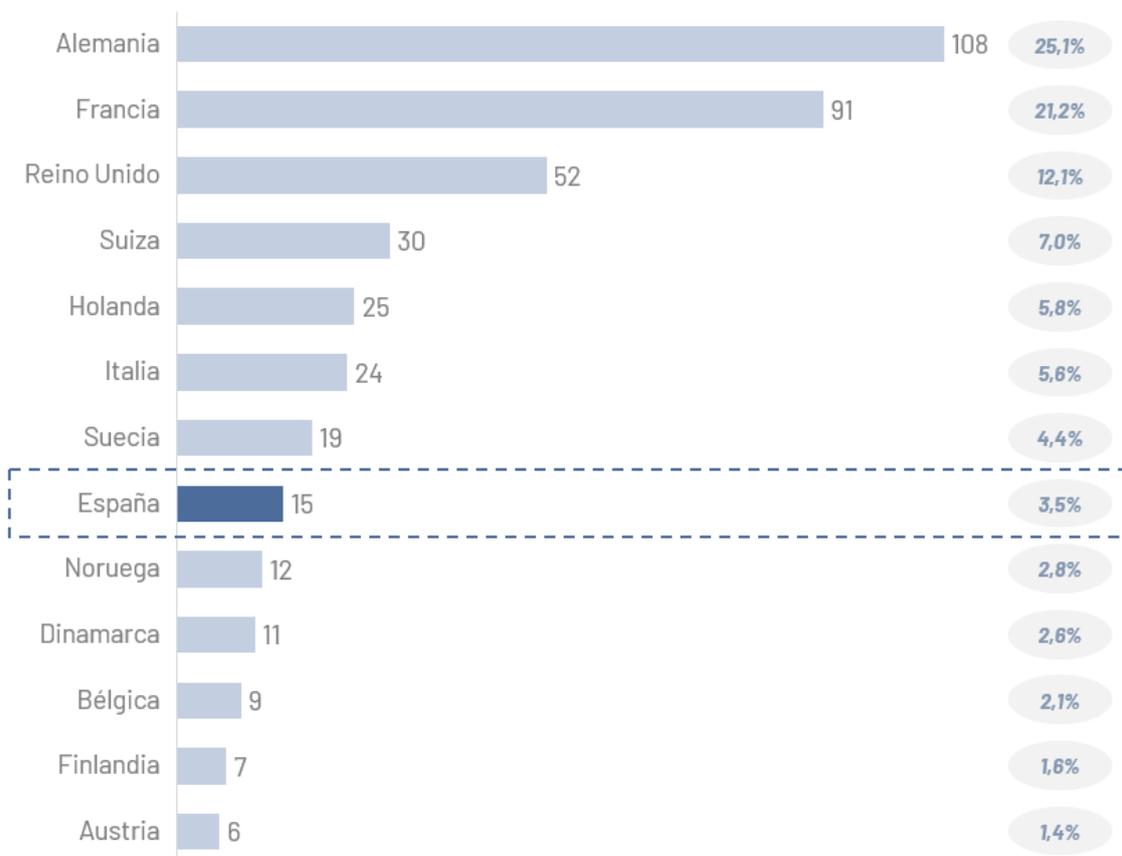


Figura 14. Total de compañías por país en Europa⁸ (elaboración propia).

Alemania destaca entre los países europeos analizados en la base de datos como el que acoge más compañías dedicadas a actividades del hidrógeno, con un total de 108 empresas que suponen un 25% del total de compañías de la región. Destacan también por detrás de Alemania en un segundo plano Francia y Reino Unido con 91 y 52 compañías respectivamente.

⁸ No se incluyen países con 3 o menos compañías (un total de 11, entre los que se incluye Portugal o Grecia), que acumulan un total de 21 compañías (4,9% del total de empresas en la región).

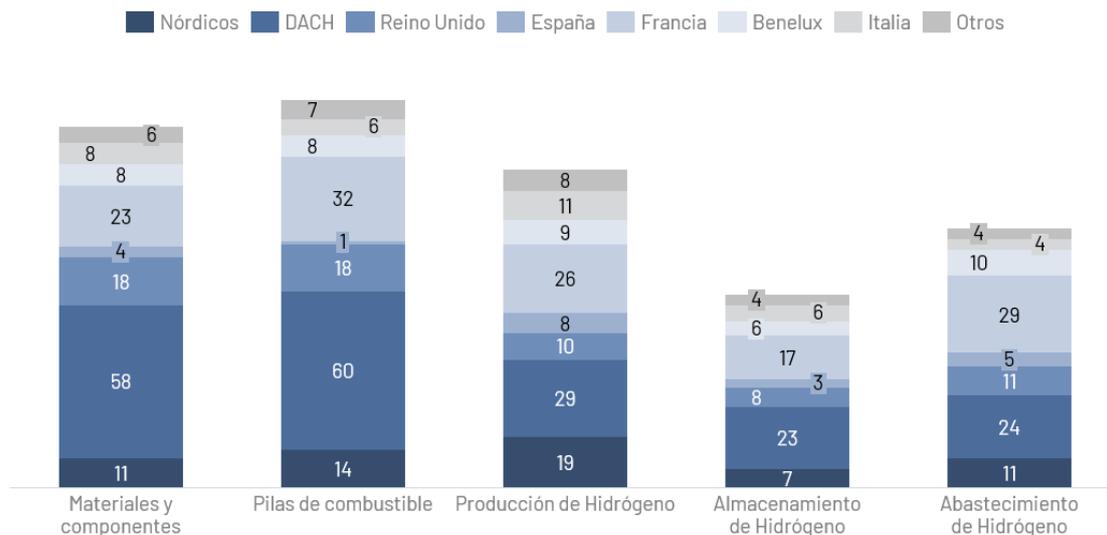


Figura 15. Presencia geográfica según altura en la cadena de valor en Europa⁹ (elaboración propia).

En gráfico anterior, en el que se han agrupado algunos países en las regiones a las que pertenecen (Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia se han agrupado como países Nórdicos; Alemania, Austria y Suiza se han agrupado en la región de DACH; Bélgica, Holanda y Luxemburgo se han agrupado en la región de Benelux), se aprecia la que los principales actores en Europa están presentes sobre todo en las etapas iniciales de la cadena de valor: materiales y componentes, pilas de combustible y producción de hidrógeno

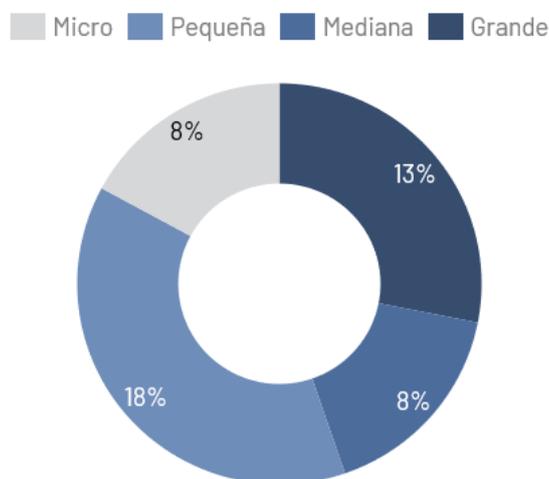


Figura 16. Distribución de las compañías europeas según el tamaño (elaboración propia).

El tamaño de las compañías europea se concentra principalmente en dos categorías: grandes (más de 100 empleados) y pequeñas (de 10 a 50 empleados), lo que está en línea con la dinámica mostrada por la base de datos a nivel global. Una explicación posible es que esas dos etapas sean en las que las compañías pertenecientes a la cadena de valor del hidrógeno incluidas en la base de datos se mantienen más tiempo. Según esto, el salto para alcanzar los más de 10

⁹ Se han agrupado algunos países en las regiones a las que pertenecen.

empleados para entrar en la categoría de pequeña y el salto a los más de 100 para entrar en la categoría de las grandes, son más fáciles que los necesarios para entrar en las otras categorías. Es razonable que en la zona micro haya menos presencia porque las empresas rápido salen de esta categoría, bien porque han crecido, bien porque han fracasado. Por otro lado, una vez entran en la categoría de pequeñas, entran en un espacio más competido que hace que esta categoría ejerza de cuello de botella. La competición aumenta al alcanzar la categoría de grande, y con ya más de 50 empleados las empresas han de afrontar otros riesgos (estratégicos, financieros, comerciales u operativos entre otros) que puede ejercer de nuevo como criba.



Figura 17. Distribución de las compañías europeas según nivel de dedicación (elaboración propia).

Respecto al nivel de dedicación de las empresas europeas, se aprecia una ligera superioridad de empresas diversificadas sobre los competidores dedicados exclusivamente a actividades del hidrógeno.

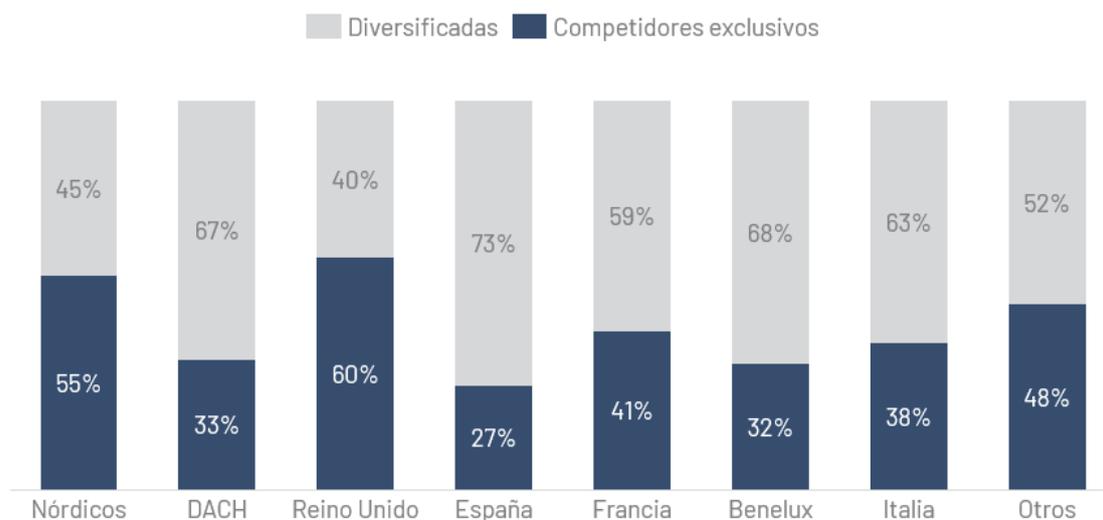


Figura 18. Nivel de dedicación de las compañías europeas en cada región (elaboración propia).

Ese nivel de dedicación varía según las distintas áreas geográficas. Entre ellas destacan los países nórdicos y Reino Unido como las zonas en las que se invierte la dinámica y existe una

predominancia de competidores exclusivos sobre las empresas diversificadas. España además destaca como el país con menos peso relativo de empresas exclusivamente dedicadas a actividades de la cadena de valor del hidrógeno.

5.4. Detalle de la situación actual en España

En total, la base de datos cuenta con 15 empresas basadas en España, de las que tan sólo 4 (26,7%) son competidores exclusivos.

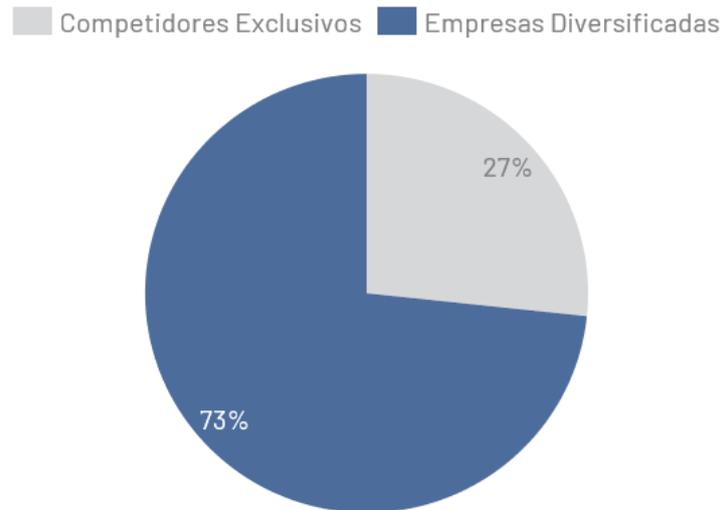


Figura 19. Distribución de las empresas españolas según nivel de dedicación (elaboración propia).

Atendiendo al tamaño, además, se puede concluir que estos competidores exclusivos son aún compañías sin consolidar (ninguna cuenta con más de 200 empleados) y con un tamaño todavía modesto. Esto está en línea con la distribución por tamaños de los competidores diversificados.

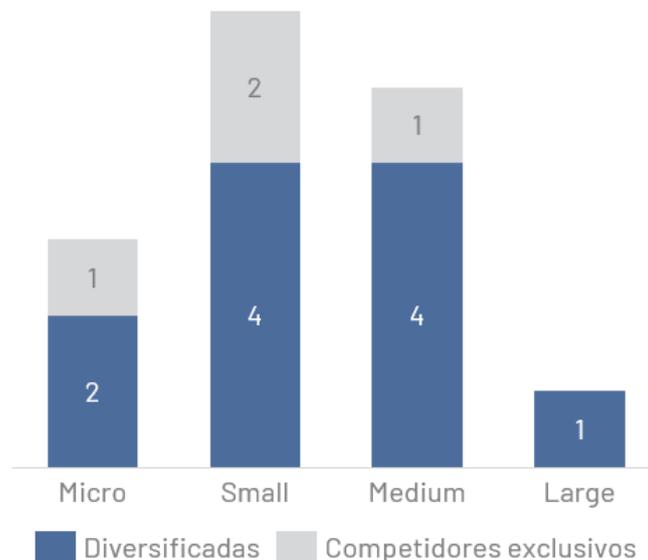


Figura 20. Distribución de las compañías españolas por tamaños según el nivel de dedicación a actividades del hidrógeno (elaboración propia).

Las compañías presentes en la base de datos son la mostradas a continuación. Todas cuentas con una página web en la que muestran sus actividades, productos o servicios.

Tabla 3. Resumen de dedicación, año de fundación, número de empleados y tamaño de las compañías españolas (elaboración propia).

Nombre	Dedicación	Año de fundación	Empleados	Tamaño
Venair	Diversified	1986	50-200	Medium
Abengoa Innovación	Diversified	2003	10-50	Small
Calvera	Diversified	1954	51-200	Medium
Ibercat	Diversified	2011	<10	Micro
Carbotainer	Diversified	2013	11-50	Small
Ajusa	Diversified	2002	50-100	Medium
Biogas Fuel Cell	Diversified	2003	11-50	Small
Hera Holding (incl. Albhyon)	Diversified	1997	n.d.	Medium
H2B2	Pure player	2016	> 20	Small
Clantech	Diversified	2006	<10	Micro
Greene Waste to Energy	Diversified	2011	10-30	Small
H2 Site	Pure player	2019	<10	Micro
H2Greem	Pure player	2020	20-50	Small
Iberlyzer	Pure player	2020	150	Medium
Naturgy	Diversified	1843	11.800	Large

A continuación, se resume brevemente la actividad de cada una de ellas y de la actividad que desempeñan en función a lo anunciado por las propias compañías.

- **Venair** (<https://www.venair.com/es/sobre-nosotros/>): compañía especializada en el diseño y la elaboración de elastómeros que cuenta con 3 plantas de fabricación y presencia comercial en Europa, América, África y Asia. La empresa da soporte a fabricantes e ingenieros con tubos de silicona a medida, y ahora da apoyo también en este ámbito a la industria del hidrógeno.
- **Abengoa Innovación** (<https://www.abengoa.com/web/es/negocio/index.html>): la división de Hidrógeno del área de Innovación de Abengoa está dedicada al desarrollo de tecnologías y soluciones de hidrógeno y pilas de combustible. Los principales esfuerzos de este brazo se dedican al diseño y desarrollo de soluciones para la producción de hidrógeno y la generación de energía mediante su uso en pilas de combustible.
- **Calvera** (<https://www.calvera.es/calvera/>): este grupo integra holísticamente los procesos para la fabricación de los equipos de transporte y almacenamiento de gas comprimido a alta presión (350 y 700 bar), a saber: ingeniería, diseño y cálculos, fabricación completa y homologación internacional.
- **Ibercat** (<http://www.ibercat.eu/es/>): empresa especializada en la venta de materiales para la instrumentación y control en procesos industriales en sectores de química, petroquímica, nuclear o manufactura entre otros.
- **Carbotainer** (<https://www.carbotainer.es/carbotainer.php>): esta empresa propone una solución innovadora en el mercado de gases comprimidos con una tecnología

propietaria que le permite fabricar cilindros de fibra de carbono para el envasado de gases de alta presión más ligeros que los tradicionales de acero, con la misma resistencia y un coste similar.

- **Ajusa** (<https://ajusath.es/>): empresa pionera en economía del hidrógeno nacida con la finalidad de desarrollar sistemas de energía propulsados por este gas. Para ello, la compañía lleva a cabo distintos proyectos de investigación y desarrollo que generan electricidad con combustibles alternativos y cuenta con un amplio catálogo de productos en que se incluyen sistemas de potencia, pilas de combustible y componentes de pilas.
- **Bioagás Fuell Cell**: empresa especializada en la transformación de productos orgánicos en biogás. Actualmente la compañía se encuentra en estado de liquidación.
- **Hera Holding** (http://www.heraholding.com/i+d_proyectos.html): el grupo Hera se centra el residuo como un recurso de gran potencial de reutilización y revalorización para la obtención de nuevos materiales, energía o espacio entre otros. Entre sus actividades, lidera el proyecto VaBHyoGaz, en el que colabora con la entidad pública francesa de gestión de residuos Tryfil, para la producción de hidrógeno vehicular a partir de biogás.
- **H2B2** (<https://www.h2b2.es/the-company/>): esta empresa proporciona innovación, diseño, ingeniería y operación y mantenimiento de sistemas modulares de producción de hidrógeno electrolíticos y estaciones de llenado de hidrógeno. La compañía también ofrece a terceros servicios de diseño, construcción, mantenimiento y producción de hidrógeno para grandes plantas, con soluciones específicas para el cliente en cuanto a la venta y el almacenamiento del hidrógeno.
- **Clantech** (<https://clantech.es/>): ingeniería especializada en el diseño de plantas de generación de gases *in situ*, concretamente de hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Entre las actividades a las que se dedica esta empresa se encuentra la producción de hidrógeno como Vector Energético asociado a energías renovables y las estaciones de servicio de hidrógeno para vehículos eléctricos con pila de combustible.
- **Greene Waste to Energy** (<https://greene.es/empresa/>): la compañía ha desarrollado una tecnología que permite eliminar los residuos, utilizándolos para generar energía limpia (eléctrica y térmica), biocombustibles y otros productos de alto valor añadido. Concretamente, la empresa emplea reactores separados adaptados a cada uno de los subprocesos principales para la conversión a syngas (también conocido como gas de síntesis, es un combustible gaseoso obtenido compuesto por cantidades variables de monóxido de carbono e hidrógeno).
- **H2 Site** (<https://www.h2site.eu/es/>): oferta de soluciones de producción *in situ* de hidrógeno, mediante una tecnología propietaria soportada por varias patentes, para reducir los costes de transporte y compresión y las pérdidas asociadas a los procesos de compresión/descompresión para el transporte.
- **H2 Greem** (<http://project3619458.tilda.ws/thecompany>): empresa enfocada en el desarrollo de sistemas de producción de Hidrógeno, desde la fase de diseño, construcción e integración, hasta las necesidades de operación y mantenimiento, facilitando el financiamiento para asegurar la viabilidad y el éxito de cada proyecto.

Particularmente, H2 Greem está dedicada al desarrollo y la fabricación de generadores de hidrógeno basados en la tecnología PEM, que, según la empresa, ofrece mayor potencial de desarrollo frente a otras tecnologías tradicionales de electrólisis.

- **Iberlyzer** (<https://iberlyzer.site/>): compañía creada por Iberdrola junto a Nel Hydrogen Electrolyser (el fabricante líder de electrolizadores a nivel mundial con base en Noruega y operaciones en más de 80 países) para impulsar la producción de hidrógeno verde mediante electrolizadores de gran tamaño. Iberdrola ha decidido recientemente dejar el proyecto finalmente quedado en manos de la empresa estadounidense Cummins (Noceda, 2021).
- **Naturgy** (https://www.naturgy.com/en/innovation/our_projects): la empresa energética española ha establecido el hidrógeno entre sus líneas estratégicas de innovación centradas en la sostenibilidad energética. En este marco, ha lanzado en colaboración con Enagás la mayor planta de hidrógeno verde en España, que tiene el objetivo de producir hasta, aproximadamente, 9.000 toneladas de hidrógeno renovable al año con el objetivo de cubrir la demanda local y el objetivo a largo plazo de posibilitar una futura exportación hacia el noroeste de Europa.



Figura 21. Evolución del número de compañías dedicadas a actividades del Hidrógeno (elaboración propia).

Parece lógico que las compañías presentes en la base de datos con más longevidad sean o bien competidores clásicos del industria energética en España (como Naturgy, sucesora de Gas Natural, cuyos orígenes se remontan además al de la Sociedad Catalana para el Alumbrado Gas en la década de 1840) o empresas proveedores de servicios y productos complementarios a la industria del Hidrógeno (como es el ejemplo de Venair) que tradicionalmente han vendido a otros clientes industriales y que, con el crecimiento actual de la industria del hidrógeno adaptan sus soluciones para poder captar clientes también en este sector. Ambas casuísticas corresponden con la clasificación de empresas diversificadas, y como se ha mencionado anteriormente, es algo entendible en una industria todavía incipiente a pesar de alto crecimiento que está mostrando.

La presencia de los clasificados como competidores exclusivos en nuestro país se reduce a los años más recientes, mostrando, primero la poca madurez de la industria en España y segundo el comienzo de implementación de ayudas por parte de las autoridades públicas, que junto con la mejora de las técnicas mejoran la rentabilidad de estas actividades y atraen a nuevos competidores al mercado. En la propia base de datos se encuentra el ejemplo más claro de esto: uno de los cuatro competidores exclusivos (H2Site) nace precisamente para dar solución a la barrera que suponía hace no muchos años (y que en cierto modo sigue existiendo) el elevado coste de transporte y las pérdidas producidas en los procesos de compresión y descompresión del hidrógeno. El avance de las tecnologías en las distintas etapas de la cadena de valor es probablemente uno de los factores que facilitan el crecimiento de la industria y la aparición de empresas de nicho dedicadas a estas concretas soluciones.

La industria española muestra una clara tendencia alcista según los datos de la base de datos, con el número de nuevos competidores viéndose acelerado en los últimos años, proponemos que precisamente por el mayor atractivo actual del mercado. No obstante, es importante recordar primero que esta es una industria muy activa y con un dinamismo constante (con muchos proyectos e iniciativas activos actualmente que hacen que el panorama competitivo esté en constante evolución), y, segundo, que la base de datos no está actualizada al momento en que se elabora este proyecto.

Tabla 4. Resumen de las etapas en la cadena de valor en las que están activas las compañías españolas (elaboración propia).

Nombre	Materiales y componentes	Pilas de combustible	Producción de Hidrógeno	Almacenamiento de Hidrógeno	Abastecimiento de Hidrógeno
Venair	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abengoa Innovación	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Calvera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ibercat	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carbotainer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ajusa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Biogas Fuel Cell	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hera Holding (incl. Albhyon)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H2B2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clantech	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Greene Waste to Energy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H2 Site	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H2Greem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Iberlyzer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Naturgy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Las empresas españolas partícipes de la cadena de valor de la industria del hidrógeno presentes en la base de datos analizadas están distribuidas geográficamente, sobre todo, en 2 grandes clústers, Madrid y Sevilla, ambos con un 20% de las empresas (3 en total cada uno) y en otros 3 clústers más pequeños, Barcelona, Bilbao y Zaragoza, los tres con un 13% de las empresas (2 en total cada uno). El resto de la actividad relativa al hidrógeno en España (20% restante correspondiente a 3 empresas) está repartida por el territorio peninsular español entre Gijón, Albacete, y Elche.



Figura 22. Situación geográfica de las empresas españolas con dedicación al Hidrógeno (elaboración propia).

Este tipo de concentración por núcleos productivos es uno de los objetivos concebidos en la Hoja de Ruta del Hidrógeno que dirige las acciones públicas respecto a la industria en España y que se ha comentado previamente en este trabajo. Concretamente, la medida 10, incluida entre los instrumentos sectoriales para el impulso a la aplicación renovable en la industria, establece “Identificar los polos de consumo de hidrógeno en la actualidad, fomentando e incentivando la creación de “valle o clústers de hidrógeno”. Se promoverá la constitución de Mesas del Hidrógeno Industrial junto a comunidades autónomas, administraciones locales, consumidores de hidrógeno y promotores de proyectos de producción de hidrógeno renovable, fomentando el desarrollo de proyectos piloto” (Ministerio de Energía, 2020).

Además, en la hoja de ruta se recomienda la creación de estas “Mesas de Hidrógeno Industrial” en los actuales polos petroquímicos de Huelva, SanRoque-Los Barrios, Cartagena, Sagunto, Tarragona, Bilbao, Avilés-Gijón, A Coruña y Puertollano. Se puede apreciar que algunos de los principales clústers que se pueden extraer de la base de datos no están incluidos en las recomendaciones establecidas en la Hoja de Ruta (como Madrid o Barcelona). Esto responde en parte a que la situación que dibuja la base de datos se corresponde con la actual, y no con la, según la perspectiva planteada en la Hoja de Ruta, sería la óptima para la consecución de los objetivos establecidos en la Visión 2030 y la Visión 2050. La situación actual es un resultado, fundamentalmente, del legado de las compañías diversificadas que han tenido suficiente envergadura como para expandir sus líneas de negocio al hidrógeno (como se ha descrito

anteriormente en esta memoria) y que se sitúan en las que han sido tradicionalmente las principales áreas económicas de España.

Por otro lado, y como es normal, las autoridades públicas buscan establecer a través de las medidas que toman implementar las políticas que defienden. En este caso, y como se define en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (donde se reafirma la Hoja de Ruta del Hidrógeno), se busca que estas medidas “reduzcan la desigualdad y las brechas sociales y territoriales” (Gobierno de España, 2021), justificando el impulso de la actividad del hidrógeno en zonas en las que todavía no está presente, pero que tienen potencial por la presencia de industrias adyacentes que usan el hidrógeno como materia prima.

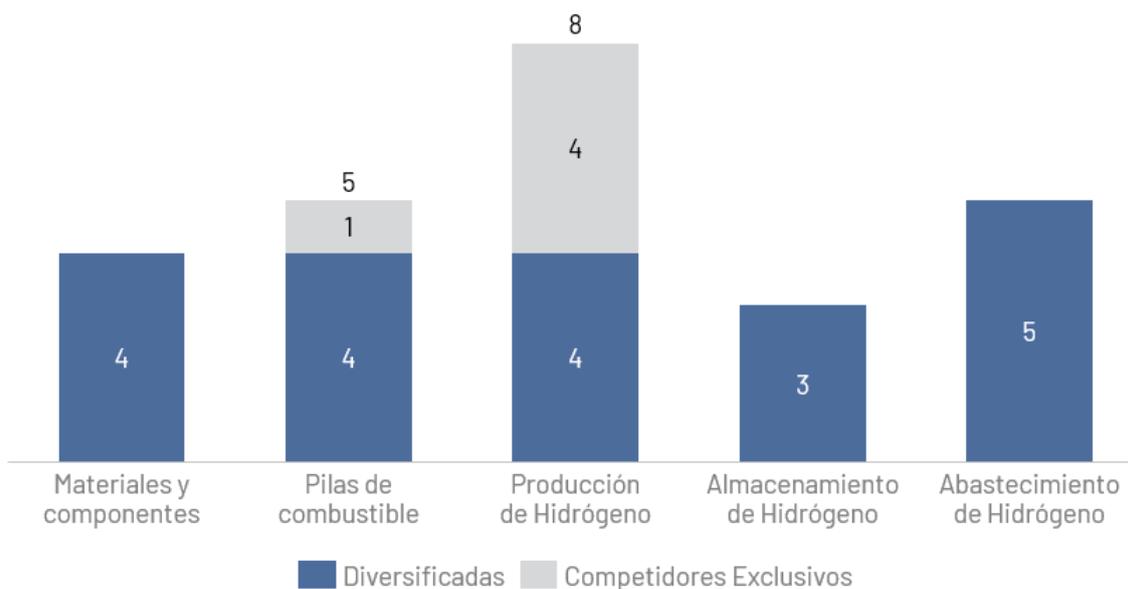


Figura 23. Dedicación de las compañías españolas por etapa de la cadena de valor del hidrógeno (elaboración propia).

Parece claro, por la calidad del recurso renovable solar y eólico, que España está bien posicionado dentro de la Unión Europea para tomar un papel relevante en la producción de hidrógeno verde a nivel comunitario. A esto apunta también el hecho de que los nuevos competidores que están surgiendo se están enfocando en actividades esta etapa de la cadena de valor, como así lo muestra la figura anterior.

Esto podría suponer una oportunidad para nuevos entrantes en el comienzo de la cadena de valor para poder dar servicios a estas nuevas compañías enfocadas en las etapas de generación. De la misma forma, el aumento de la competición en la producción del hidrógeno favorecerá el desarrollo de tecnologías más eficientes, mejores prácticas y, en consecuencia, una reducción de los costes para las siguientes etapas de la cadena de valor, por lo que existirán también ahí nuevas oportunidades.

Por otro lado, si la industria de hidrógeno española consigue capitalizar esta oportunidad y posicionarse como un país exportador de hidrógeno renovable, objetivo que se recoge además en la Hoja de Ruta (Ministerio de Energía, 2020), deberá sobreponerse al reto de los todavía elevados costes de transporte, como analizan diversos autores (Ball & Wietschel, 2009; Heywood, 2010; Tseng et al., 2005), ya que, por su situación en el extremo más occidental de la

Unión, el gas exportado deberá recorrer distancias significativas hasta alcanzar sus potenciales destinos.

6. Conclusiones

En primer lugar, se ha recogido la situación actual y los principales puntos de las estrategias para el Hidrógeno de España y Europa, comparando los objetivos establecidos en los distintos horizontes temporales. En este aspecto, y teniendo en cuenta el análisis independiente de *Hydrogen Investability Index*, España está posicionada como el segundo mejor país para invertir en esta industria, es comprensible la ambición de los objetivos establecidos en la Hoja de Ruta para producir un 10% del total del hidrógeno producido en Europa.

Volviendo de nuevo al índice que compara el potencial que tendría una inversión en hidrógeno según los distintos países, podría esperarse incluso que España aspirase a un tener un papel incluso con más relevante dentro de la Unión Europea, ya que es el único competidor del mundo, según el análisis, cercano a Alemania, y cuenta con una ventaja natural por la calidad del recurso renovable tanto eólico como solar.

Como se muestra en la imagen global mostrada por la base de datos, Europa es actualmente el principal agente del mundo en la cadena de valor del hidrógeno, con casi la mitad de todas las compañías del mundo activas en esta industria y estando presente en la cadena de valor.

Por tanto, la oportunidad para las empresas españolas (especialmente las productoras, pero también las que se dediquen a actividades adyacentes en la cadena de valor y se sitúen físicamente próximas a las plantas de producción para reducir los costes de transporte/almacenamiento, que como se ha comentado a lo largo de este proyecto siguen siendo significativos) dedicadas a actividades de hidrógeno es relevante, principalmente debido al impulso de las autoridades públicas nacionales y europeas y la calidad y abundancia de las materias primas.

Otra oportunidad que se sumo a los vientos de cola mencionados en el apartado anterior es el hecho de que la industria española es todavía poco madura. España es el país de Europa con menos competidores dedicados exclusivamente a actividades del hidrógeno, aunque cuenta con una fuerte presencia de grandes empresas consolidadas en el sector energético que están diversificando sus actividades hacia proyectos de hidrógeno. El mercado nacional, presenta la oportunidad de ganar la ventaja del *first-mover*.

Es importante resaltar que la base de datos muestra una imagen estática de la industria, y por ser esta todavía incipiente, se espera que cambie significativamente y en el corto plazo. Existen en España al menos 13 proyectos actualmente en curso (Ministerio de Energía, 2020), lo que supondría casi duplicar la actividad en términos de participantes.

Se espera que esta memoria, entendida como el producto final de este proyecto, pueda servir como punto de partida para comprender de forma rápida las dinámicas de la industria del hidrógeno en España pueda dar una imagen de sus principales agentes. Entre las posibles futuras líneas de investigación, se propone la actualización de la imagen aquí proyectada que permita comparar la evolución de la industria.

Por otro lado, dada la situación energética que experimenta el mundo, y más concretamente Europa, a raíz del conflicto iniciado con la invasión Rusia de Ucrania, se podría esperar que las naciones europeas y la Unión en su conjunto replanteen sus prioridades estratégicas y energéticas. Sería interesante analizar el papel que pueda jugar el hidrógeno para asegurar la

seguridad e independencia energéticas, a la vez que se mantienen las políticas de sostenibilidad y descarbonización a través del fomento de energías renovables.

7. Bibliografía

- Abdul Rahman, H. (2020). Environmental Sustainability Awareness in Selected Countries. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 10(15). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v10-i15/8235>
- Ball, M., & Wietschel, M. (2009). The future of hydrogen - opportunities and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.11.014>
- Delafield, G., Donnison, C., Roddis, P., Arvanitopoulos, T., Sfyridis, A., Dunnett, S., Ball, T., & Logan, K. G. (2021). Conceptual framework for balancing society and nature in net-zero energy transitions. *Environmental Science and Policy*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.021>
- EU. (2018). Renewable energy directive (EU) 2018/2001. *Official Journal of the European Union*.
- European Commission. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe EN. In *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS* (Vol. 53, Issue 9).
- European Hydrogen Initiative aims to maximise potential of sustainable hydrogen technology. (2018). *Fuel Cells Bulletin*, 2018(9). [https://doi.org/10.1016/s1464-2859\(18\)30309-2](https://doi.org/10.1016/s1464-2859(18)30309-2)
- Gobierno de España. (2021). *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*.
- Guerra C.; Rodríguez E. (2010). El hidrógeno: vector energético del futuro. *Energía & Minas: Revista*.
- H2i Hydrogen Investability Index. (2021). *Emerging Hydrogen Superpowers*.
- Heywood, J. B. (2010). The hydrogen economy: opportunities and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(4). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.12.060>
- Hydrogen Council, & McKinsey. (2021). *Hydrogen Insights: A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness*. www.hydrogencouncil.com.
- IEA. (2019). The Future of Hydrogen (Executive Summary). *The Future of Hydrogen*, June.
- Kovač, A., Paranos, M., & Marciuš, D. (2021). Hydrogen in energy transition: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(16). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.256>
- Lambert, M. (2020). EU Hydrogen Strategy - A case for urgent action towards implementation. *Oxford Energy Comment*, July.
- Lin, B. C. ang. (2021). Institutional Failure and Sustainability Policy. *Journal of Economic Issues*, 55(2). <https://doi.org/10.1080/00213624.2021.1918499>
- Ministerio de Energía, G. de E. (2020). Hoja de ruta del Hidrógeno. *Marco Estratégico de Energía y Clima*, 53(9).

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, & Vicepresidencia Tercera del Gobierno de España. (2021). *El Gobierno aprueba el PERTE de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento, que movilizará una inversión superior a 16.300 millones de euros*. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-el-perte-de-energ%C3%ADas-renovables-hidr%C3%B3geno-renovable-y-almacenamiento-que-movilizar%C3%A1-una-inversi%C3%B3n-superior-a-16.300-millones/tcm:30-534032>
- Noceda, M. Á. (2021, May 24). Cummins se alía con Iberdrola para construir una planta de electrolizadores de hidrógeno verde en Guadalajara. *El País*.
- Ohno, K., Ito, M., Ichihara, M., & Ito, M. (2012). Molecular hydrogen as an emerging therapeutic medical gas for neurodegenerative and other diseases. In *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. <https://doi.org/10.1155/2012/353152>
- Oliveira, A. M., Beswick, R. R., & Yan, Y. (2021). A green hydrogen economy for a renewable energy society. In *Current Opinion in Chemical Engineering* (Vol. 33). <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100701>
- Saeedmanesh, A., mac Kinnon, M. A., & Brouwer, J. (2018). Hydrogen is essential for sustainability. In *Current Opinion in Electrochemistry* (Vol. 12, pp. 166–181). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2018.11.009>
- Sikora, A. (2020). European Green Deal – legal and financial challenges of the climate change. *ERA Forum*. <https://doi.org/10.1007/s12027-020-00637-3>
- Solorio, I., & Bocquillon, P. (2017). EU renewable energy policy: a brief overview of its history and evolution. In *A Guide to EU Renewable Energy Policy*. <https://doi.org/10.4337/9781783471560.00011>
- Tseng, P., Lee, J., & Friley, P. (2005). A hydrogen economy: Opportunities and challenges. *Energy*, 30(14). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.07.015>
- Waits, M. J. (2000). The added value of the industry cluster approach to economic analysis, strategy development, and service delivery. *Economic Development Quarterly*, 14(1). <https://doi.org/10.1177/089124240001400106>