



Facultad de Económicas

El Hidrógeno Verde como fuente de energía alternativa en el sector industrial europeo

Autor: Jacobo Muñoz Cervero
Director: Carmen Fullana Belda

El Hidrógeno Verde como fuente de energía alternativa en el sector industrial europeo

Jacobo
Muñoz
Cervero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen	4
Palabras clave	5
Abstract	6
Key words	6
Acrónimos	7
Índice de tablas y gráficos	8
1 Introducción	9
1.1 Objetivo	12
1.2 Metodología	12
1.3 Estado de la cuestión	13
1.4 Partes principales del TFG	13
2 Marco teórico	15
2.1 Situación actual regulatoria de las fuentes de energía en Europa	15
2.2 Postura global europea frente al denominado “Cambio Climático”	22
2.2.1 Una UE climáticamente neutra en 2050.....	22
2.2.2 Legislación Europea sobre el Clima	24
2.2.3 Estrategia Industrial Europea	25
2.2.4 De los objetivos climáticos a la legislación de la UE	27
2.2.5 Financiación de la transición climática de la UE.....	27
2.2.6 Configuración de la acción mundial en relación con las medidas legislativas y financieras	28
3 El Hidrógeno Verde	30
3.1 Producción	33
3.2 Transporte	37
3.2.1 Condición ventajosa en España para el hidrógeno verde	39
3.2.2 Formas de transportar el hidrógeno verde	40
3.2.3 Iniciativa Europea Hydrogen Backbone para el transporte de hidrógeno en Europa	42
3.2.4 Iniciativa abierta para el hidrógeno.....	43
4 El Hidrógeno Verde como alternativa energética	45
4.1 Ventajas	45
4.2 Inconvenientes	46
4.3 Limitaciones al desarrollo y uso del hidrógeno como fuente de energía alternativa	47
4.4 ¿Tiene futuro el hidrógeno?	48
5 Conclusiones	50
6 Bibliografía	53

Resumen

Este trabajo de investigación se enfoca en analizar la viabilidad del hidrógeno verde como fuente alternativa sostenible y limpia sin efecto invernadero. Se basa en las iniciativas legislativas y financieras adoptadas por la Unión Europea en el Acuerdo de París de 2015, y tiene como objetivo reducir o eliminar las emisiones perjudiciales para el medioambiente y las personas. Considerando esta energía como una alternativa viable a los combustibles fósiles tradicionales, y jugando un papel fundamental en la transición energética global, enfocándose especialmente en España y el resto de los países de la Unión Europea.

El hidrógeno verde es una fuente de energía limpia y sostenible que ha ido ganando popularidad como alternativa a las fuentes de energía actuales. Se produce mediante un proceso que no genera emisiones contaminantes a la atmósfera, lo que lo convierte en una solución ideal para reducir el impacto del cambio climático.

La Unión Europea ha fijado la descarbonización de la Tierra como objetivo para el año 2050, y el hidrógeno verde ha sido considerado como la principal fuente de energía sostenible y limpia para alcanzar este objetivo. Las principales ventajas del hidrógeno verde son que es una energía limpia, almacenable, transportable y renovable.

Por otro lado, el hidrógeno verde es caro de producir, y el desarrollo de un suministro constante y estable de hidrógeno verde requiere una inversión financiera significativa.

La posición de las principales empresas mundiales que ya han apostado por esta fuente de energía, a partir de las iniciativas legislativas y financieras adoptadas por la Unión Europea desde el Acuerdo de París de 2015, pone aún más de relieve el potencial del hidrógeno verde como fuente de energía sostenible, limpia y con un impacto nulo en el efecto invernadero (Naciones Unidas (ONU), 2015).

Palabras clave

Hidrógeno verde, transición energética, renovables, cambio climático, combustibles fósiles.

Abstract

This research work focuses on analysing the viability of green hydrogen as a sustainable and clean alternative source with no greenhouse effect. It builds on the legislative and financial initiatives adopted by the European Union in the 2015 Paris Agreement, and aims to reduce or eliminate emissions harmful to the environment and people. Considering this energy as a viable alternative to traditional fossil fuels, and playing a fundamental role in the global energy transition, focusing especially on Spain and the rest of the countries of the European Union.

Green hydrogen is a clean and sustainable energy source that has been gaining popularity as an alternative to current energy sources. It is produced through a process that does not generate pollutant emissions into the atmosphere, making it an ideal solution to reduce the impact of climate change.

The European Union has set the decarbonisation of the Earth as an objective for the year 2050, and green hydrogen has been considered as the main source of sustainable and clean energy to achieve this objective. The main advantages of green hydrogen are that it is clean energy, storable, transportable, and renewable.

On the downside, green hydrogen is expensive to produce, and the development of a constant and stable supply of green hydrogen requires significant financial investment.

The position of leading global companies that have already committed to this energy source, based on the legislative and financial initiatives adopted by the European Union since the Paris Agreement of 2015, further highlights the potential of green hydrogen as a sustainable, clean energy source with zero impact on the greenhouse effect.

Key words

Green hydrogen, energy transition, renewables, decarbonisation, fossil fuels.

Acrónimos

AEM	Electrolizadores de membrana de intercambio aniónico.
CO ₂	Dióxido de carbono (CO ₂).
DER II	Directiva de Energías Renovables revisada.
EHB	European Hydrogen Backbone.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
H ₂	Hidrógeno (H): <i>“Elemento químico de número atómico 1, el más ligero de todos y el más abundante en el universo, que, combinado con el oxígeno, forma el agua, y se utiliza como combustible y en la industria química. (Símb. H).” “El Gas de hidrógeno en su forma molecular. (Símb. H₂)” (Asale, 2023).</i>
Hub/s	<i>“El término inglés hub puede traducirse al español como intercambiador, centro logístico o punto de conexión, concentrador o nodo, según los casos” (FundéuRAE, 2022).</i>
ITER	International Thermonuclear Reactor (Reactor Termonuclear Internacional).
LOHC	Líquidos orgánicos portadores de hidrógeno comprimido.
NIF	National Ignition Facility (Instalación Nacional de Ignición).
RE100	<i>“RE100 es la iniciativa corporativa global de energía renovable que reúne a cientos de empresas grandes y ambiciosas comprometidas con la electricidad 100% renovable. Dentro de las mismas se encuentran las más influyentes del mundo que impulsan la transición hacia una electricidad 100% renovable” (Brito, 2021).</i>
SOEC	Electrolizadores de óxido sólido.
TFG	Trabajo de Fin de Grado.
TSO	Transmission System Operator (Operadores de Sistemas de Transmisión).
UE	Unión Europea.

Índice de tablas y gráficos

<i>Figura 1: Intensidad energética primaria, intensidad energética final en la industria, cuota y objetivos de energías renovables y dependencia de las importaciones netas (combustibles fósiles) en la UE 26</i>	16
<i>Figura 2: Etapas de la cadena de valor del hidrógeno</i>	32
<i>Figura 3: Características tecnoeconómicas de diferentes tecnologías de electrolizadores. Fuente: The International Energy Agency. The Future of Hydrogen, June 2019</i>	34
<i>Figura 4: HyDeal España.....</i>	40
<i>Figura 5: Producción global de hidrógeno en el Escenario de Desarrollo Sostenible, 2019-2070</i>	44

1 Introducción

Este TFG, se ha centrado en aquellos aspectos que tratan de diferenciar el hidrógeno verde como una fuente de energía sostenible, limpia y con cero impacto en el efecto invernadero, tomando como referencia la postura de empresas líderes a nivel global que ya han apostado por esta fuente de energía, sobre la base de las iniciativas legislativas y financieras adoptadas por la Unión Europea desde el Acuerdo de París de 2015 (Naciones Unidas (ONU), 2015).

El “hidrógeno verde” como fuente de energía alternativa a las actuales fuentes de energía, incluidas las consideradas como “verdes”, ha ido tomando fuerza desde varios sectores, promovidos siempre por la administración pública a partir de la toma en conciencia de lo que se ha denominado “cambio climático”, y la incidencia que este está teniendo en un planeta Tierra, con cada vez, mayor población y una mayor necesidad de presentar alternativas energéticas que supongan un menor impacto en este cambio climático (Cordero Vioque, y otros, 2021).

El hidrógeno no deja de ser un elemento químico, que se lleva utilizando tanto como materia prima para determinadas industrias, así como como combustible. Desgraciadamente -y si bien representa el número uno en la Tierra, al encontrarse prácticamente en la totalidad de la materia, representando cerca de un 80%, y siempre, en conjunción con otros elementos químicos, que permiten la formación de determinados compuestos orgánicos, siendo el mejor ejemplo, el del agua-, no puede tomarse de la naturaleza, sino que es necesario producirlo, siendo este proceso de obtención, el que lo caracteriza como “limpio”. Es decir, no cualquier medio de obtención nos lleva a que su resultado sea definido como “limpio” o “sostenible”.

Así, y si nos referimos al hidrógeno verde, estamos hablando de un hidrógeno en cuyo proceso de obtención, no se han generado emisiones contaminantes a la atmósfera, tratando entonces de limitar o minimizar el impacto en el ya referido y globalmente conocido como “cambio climático”.

Los agentes públicos (en este caso, la Unión Europea), a través de diversas directrices, legislación y medidas financieras, se han marcado como objetivo para el año 2050 la descarbonización de la Tierra, siendo que el hidrógeno verde se ha considerado como la principal fuente de energía sostenible y limpia para alcanzar dicho objetivo, dentro de lo que, también globalmente, se ha denominado “transición energética” entendiéndola como el proceso, a lo largo de los años, de fuentes de energía contaminantes a la atmósfera, hacia fuentes de energía con cero impacto en esta, minimizando y reduciendo así las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (López García, 2020).

Si bien el hidrógeno verde apunta a convertirse en uno de los primeros factores esenciales para llevar a cabo esa transición energética, no todas las economías mundiales están por la labor de llevar a cabo ese proceso de transición energética. Hay mucho dinero en juego, y este proceso es relativamente costoso, de ahí que muchas economías prefieran seguir operando con las energías convencionales, mucho más económicas en la actualidad, pero también, mucho más contaminantes (Iberdrola, 2021).

Este proceso de transición, en cualquier caso, no es sencillo ni barato. De ahí que desde la Unión Europea, por ejemplo, se estén creando fondos financieros y paquetes de ayudas para que los estados miembros puedan acometer este con el menor coste para su bolsillo. Estos planes financieros no solo permiten dotar económicamente a proyectos específicos de producción de hidrógeno verde, sino también utilizan medidas de ahorro fiscal.

Como quiera que sea, las principales ventajas que el hidrógeno verde puede ofrecer es que se trata de una energía limpia (solo genera agua como residuo), es almacenable (comprimido en tanques específicos), es transportable (se trata de un compuesto muy ligero) y renovable (proviene de la naturaleza y resulta inagotable) (Iberdrola, 2021).

Como contrapunto (no todo pueden ser ventajas), el hidrógeno verde es muy caro de producir. Ahora bien, la bajada tan significativa en los precios relativos a las denominadas energías “renovables”, va a permitir una producción con un coste cada vez más competitivo. Como ejemplo, tenemos a las otras energías

“limpias” como son la eólica y la solar, donde se ha visto una disminución en su coste de fabricación que supera el 50% en el último decenio. En el caso de la solar, esta caída de precio es mucho más que simbólica, en tanto que la electricidad requerida en el proceso de obtención del hidrógeno verde mediante el proceso de electrólisis también vea reducido proporcionalmente su coste (de la Cal, Bengoetxea, Gacría Lupiola, & Uncetabarrenechea Larrabe, 2010).

Quizás, la mayor dificultad de cara al desarrollo de una fuente de abastecimiento constante y estable de hidrógeno verde sea la financiera. Es cierto que desde la Unión Europea se están creando fondos para llevar a cabo todo este proceso de transformación, pero, y solo como ejemplo, se habla que a nivel global, será necesario disponer de unos 300.000 millones de US\$ tanto para la investigación (todavía sigue siendo un proceso caro y técnicamente susceptible de enormes mejoras para reducir el coste de producción), como para la creación de infraestructuras (Fernández Mungía, 2021).

Sin embargo, conforme a lo que marca la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), el coste de las actuales instalaciones de hidrógeno, cuyo desarrollo tecnológico tiene aún mucho recorrido, puede disminuir entre un 40% y un 80% a largo plazo, lo que hace prever que para empezar a rentabilizar el proceso de obtención de energía de hidrógeno verde, sería comenzando desde 2030 (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2022).

Si las mejores previsiones se llevan cabo, la demanda para el año 2050 puede conseguir las 700 millones de toneladas (según BloombergNEF). Esto, no solo supondría un alto coste de inversión, sino también una potencial oportunidad financiera (Observatorio de las Energías Renovables, 2020).

Es cierto que el hidrógeno verde cuenta con algunos detractores, que consideran que su coste de producción nunca va a resultar rentable, y de hecho, algunos fondos de inversión del todo relevantes a nivel global, han preferido apostar por el biometano como fuente de energía limpia y sostenible. Pero también es cierto, que el hecho que el hidrógeno verde pueda utilizarse como una fuente energía alternativa y prácticamente en todos los sectores que tradicionalmente cuentan

con combustibles fósiles como única fuente de energía, va ganando más adeptos.

1.1 Objetivo

El presente trabajo de investigación académica pretende analizar la viabilidad, en términos económicos y funcionales, de generar una energía limpia que permita, o bien reducir los niveles de emisiones dañinas para el medioambiente y para el hombre a la atmósfera, o bien eliminarlas por completo. Esta energía puede ser una posible disyuntiva real que sustituya a las energías fósiles tradicionales, y se espera que juegue un papel primordial en el modelo de transición energética a nivel global. En el caso de este trabajo, se centrará en España y los demás estados miembros de la Unión Europea (Lott, 2017).

1.2 Metodología

Este trabajo se basa en un enfoque inductivo. En relación con el objetivo referenciado, la metodología a aplicar será la investigación documental. Es una técnica cualitativa que permite la recolección y uso de diversos tipos de documentación (impresa, gráfica, electrónica y audiovisual) y fuentes de información confiables y comprobadas. Esto le permite analizar los datos que recopila, producir resultados coherentes, consistentes y lógicos, para sacar conclusiones reales que den respuesta al objetivo.

Para alcanzar el objetivo, se proporcionará una actualización sobre varios proyectos de producción de hidrógeno verde en España y países de la Unión Europea que permita analizar su viabilidad como fuente de energía. De esta forma, el método de investigación documental parece ser el más adecuado en el sentido de que los investigadores pueden organizar y difundir ideas para verificar

las conclusiones obtenidas en la investigación. De hecho, el método de investigación documental nos ayuda a recopilar y analizar información de diversas fuentes para obtener una visión completa y actualizada del tema de investigación (Lott, 2017).

En resumen, en este trabajo se utilizan un enfoque inductivo y una metodología de escritura de investigación documental para lograr el objetivo de proporcionar información actualizada sobre la viabilidad energética en España y los países de la Unión Europea en el futuro.

1.3 Estado de la cuestión

El aumento considerable de las temperaturas medias a lo largo de las últimas décadas hace prever que nos encontramos inmersos en un proceso de cambio climático.

La incidencia de la huella del hombre en este campo debe ser minimizada para garantizar, en la medida de lo posible, un futuro más limpio en términos de emisiones contaminantes a la atmósfera, para intentar así reducir en la medida que esté en su mano, el aumento considerable de las temperaturas. Solo así se puede tratar de evitar una catástrofe medioambiental de consecuencias devastadoras.

1.4 Partes principales del TFG

Este texto alcanzará su objetivo de analizar la viabilidad energética del hidrógeno verde en España y países de la Unión Europea. Explorará el papel de las energías renovables en la sostenibilidad y la ventaja competitiva de las empresas. Para ello, se comienza por entender el entorno actual de las fuentes de energía. Seguidamente, se definen los conceptos de energía renovable y no

renovable, así como sus variantes más utilizadas a día de hoy, para luego explicar los principales tipos de energía renovable disponibles en la actualidad (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

A continuación, se examina el marco jurídico de las energías renovables en España, tanto a nivel comunitario como interno, para tener una idea clara de las regulaciones que rigen su uso.

Posteriormente, se analiza la relación entre las energías renovables y el desarrollo sostenible, destacando la necesidad de garantizar la seguridad energética junto con una gestión adecuada de los recursos disponibles.

Además, se estudia el concepto de ventaja competitiva y sostenibilidad, identificando los modelos clave en esta área.

En el siguiente apartado, se realiza un análisis de las principales acciones emprendidas por empresas integrantes de la iniciativa RE100¹, con el fin de verificar cómo la incorporación de energías renovables en los modelos de gestión empresarial puede ser una fuente de ventaja competitiva sostenible. Finalmente, se resumen las conclusiones alcanzadas (LONGi-RE100, 2023).

¹ RE100: RE100 es una iniciativa de The Climate Group, un grupo de empresas influyentes de todo el mundo, entre las que se encuentran Apple, Google, Facebook, Coca-Cola, Microsoft, Philips y Goldman Sachs, que se han comprometido a conseguir un 100% de electricidad renovable en todo el mundo en el menor tiempo posible (a más tardar en 2050) (LONGi-RE100, s.f.) (Climate Group, 2022).

2 Marco teórico

Hoy en día, el hecho que la Unión Europea se plantee la idea de una transición energética con el fin de alcanzar un equilibrio climático neutro en emisiones para el año 2050, cobra más relevancia y es considerada cada vez más probable (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021). De la mano de esta idea, igualmente se está dando especial importancia al desarrollo de una infraestructura concreta que es elemental para acabar con las barreras reglamentarias actualmente vigentes con el fin de impulsar el hidrógeno, y conseguir una conversión más eficiente del gas. Al mismo tiempo, también se enfoca en concertar el sector del mercado afectado por la misma, y estar preparado para los posibles riesgos del sector del gas que esté enfocado en esta transición hacia una energía limpia y sostenible (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

2.1 Situación actual regulatoria de las fuentes de energía en Europa

La Unión Europea, en su legislación climática de la UE² ha establecido dos principales objetivos a cumplir, alcanzar una neutralidad climática para el año 2050, y conseguir limitar al menos el 55% de la emisión de gases de efecto invernadero³ para el año 2030. Para alcanzar este objetivo, será necesario un plan para ser capaces de minimizar los combustibles fósiles⁴ e incrementar los

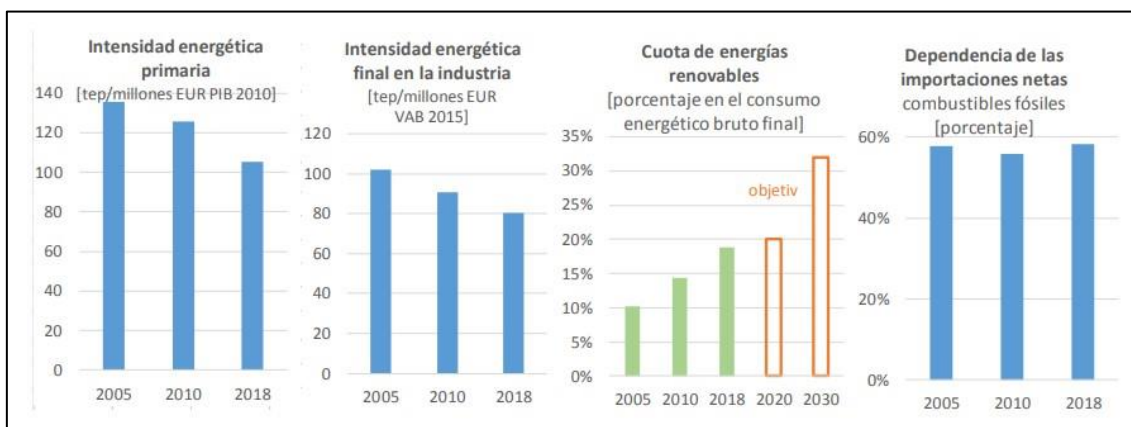
² UE: Unión Europea

³ Gases de efecto invernadero: aquellos gases naturales presentes en la atmósfera los cuales impregnan y desprenden radiación infrarroja en ondas de diferentes longitudes distribuidas en la superficie terrestre, las nubes, y su atmósfera (Stocker, y otros, 2013).

⁴ Combustibles fósiles: Término aplicado a menudo a los depósitos geológicos de combustibles fósiles hechos a partir de la descomposición de plantas y animales que se convirtieron en petróleo crudo, carbón, gas natural o petróleo pesado debido al calor y la presión de la tierra. hasta cientos de millones de años (Green Facts, 2022).

recursos renovables, a la vez que cambie la industria de gas hacia el gas renovable de bajo carbono. En la actualidad, el gas proveniente de los combustibles fósiles supone el 95% de los combustibles gaseosos que se consumen en la UE. Aunque para 2050, se estima que éstos únicamente representen el 20% de la totalidad de consumo energético de la UE (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021). Esperando que los combustibles de gas renovable bajos en carbono, como pueden ser el biogás, el biometano, el gas de síntesis, y el hidrógeno renovable, supongan dos terceras partes del gas consumido en la mezcla energética de 2050. Mientras que el resto proceda de la captura, almacenamiento, y uso del gas fósil... Esta iniciativa forma parte del paquete “Fit-for-55”⁵, el cual, también incluye el diseño del mercado del gas, incorporando el hidrógeno, a la vez que acaba con las regulaciones presentes que dificultan las conversión eficiente del gas (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

Figura 1: Intensidad energética primaria, intensidad energética final en la industria, cuota y objetivos de energías renovables y dependencia de las importaciones netas (combustibles fósiles) en la UE 26



⁵ Fit-for-55: también llamado “Objetivo 55” es un paquete de medidas que agrupa diferentes propuestas para repasar y renovar la legislatura de la Unión Europea con el objetivo de establecer nuevas medidas que aseguren que la política de la Unión Europea concuerde con los objetivos sobre el clima que el Parlamento y Consejo Europeo acordaron (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

(EUROSTAT – Indicadores de la Unión de la Energía EE1-A1, EE3, DE5-RES y SoS1.)
(Parlamento Europeo y Consejo Europeo, 2020)

Las industrias existentes que dependen del uso energético intensivo, junto con algunas otras industrias de transporte pesado, son donde se aglutina mayoritariamente el uso del hidrógeno. Para ser capaces de identificar el potencial que tiene esta propuesta, requiere el desarrollo de una infraestructura muy concreta para poder obtener la energía proveniente del hidrógeno. El fin es incentivar el gas renovable y limpio de carbono, para poder alcanzar la descarbonización del sector, incrementar la flexibilidad eléctrica actual, aumentar la seguridad del suministro de la misma, y aprobar el almacenamiento eléctrico. Se espera que la UE llegue al millón de toneladas de hidrógeno renovable producidas para el año 2024, y alcanzar hasta diez millones de toneladas para 2030 (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021), y sea capaz de conseguir reemplazar el hidrógeno bajo en carbono. Para facilitar al resto de la población e incentivarlos a cambiar sus hábitos de consumo energético, es necesario darles la información importante y de manera accesible (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

La evolución hacia un mercado de hidrógeno y gas más sostenible en el que se vean reducidas las emisiones de carbono y renovables, necesita de la formación correcta de los marcos de mercado. Esto es porque, al contrario que el gas natural, el gas renovable bajo en carbono en la actualidad se enfrenta a muchas barreras regulatorias para poder acceder al mercado y redes. Sumado a esto, la creación de un mercado de gas libre de carbono que apoye la transición energética depende de una cantidad elocuentemente mayor de fuentes energéticas renovables en sistemas de energía compuestos actualmente con una actividad impulsiva de la demanda en un mercado sumamente competitivo. Permitiendo al consumidor favorecerse de precios asequibles, un nivel de servicios excelente, y una selección de ofertas que manifiesten los avances

tecnológicos logrados (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

Posiblemente aparezcan diferentes despliegues de gas renovable con alta descarbonización de forma paralela, con la esperanza que incrementen en número a ritmos distintos y de forma distribuida por toda la UE.

- Aquellas instalaciones basadas en el hidrógeno serán las responsables de completar la red de gas natural de manera gradual.
- Las infraestructuras del gas, en las que el gas fósil irá sustituyendo paulatinamente a otras fuentes de metano.

Asimismo, los hechos en torno a la subida en los precios de la energía provocarán que el sistema energético europeo se vuelva más resistente conforme se vaya incorporando energía renovable al sistema, y éste sea cada vez más descentralizado y elimine continuamente los combustibles fósiles. Esto nos recuerda que cada vez cobra más importancia este tema. Las medidas de seguridad del suministro y preparación para los riesgos en este sector deben estar coordinados con la transición hacia una energía limpia. Las medidas de acción y apoyo de la Comisión Europea para achacar el problema del aumento del precio de la energía destacan la interacción entre la seguridad del suministro, el uso eficiente del almacenaje, y la volatilidad (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

El objetivo de la iniciativa es acelerar el paso a la transición hacia gases renovables y con niveles de carbono bajos en el sistema energético, conseguir acabar con el gas natural progresivamente para 2050, y ayudar a la Unión Europea a alcanzar la neutralidad climática. Dentro de las numerosas áreas que toca esta iniciativa, se encuentran el mercado minorista de gas verde, la información y protección del consumidor e infraestructuras, y el mercado del hidrógeno. En la actualidad, el mercado minorista está sujeto a unas leyes y regulaciones que no permiten a los consumidores elegir entre las opciones de renovables bajas en carbono o no. Esto es resultado a la falta de terminología común y esquemas de certificación, la concentración del mercado y falta de nuevos participantes e innovaciones que sean visibles a futuro. La iniciativa,

también resalta lo importante que es mantener informados a los consumidores, además de protegerlos, tanto a los vulnerables como a los poderosos. Esta iniciativa, también se centrará en la ausencia de regulación en la infraestructura y mercado del hidrógeno. Incluyendo las diferentes necesidades como los uniformes estándares de calidad del hidrógeno, junto con la propiedad y operación de una red del mismo. Estas carencias obstaculizan el desarrollo de la infraestructura transfronteriza de hidrógeno que sea rentable y competitiva en los mercados de hidrógeno. También se presenta la terminología y sistemas de certificación para aquellos combustibles que tengan bajos niveles de carbono e hidrógeno (Parlamento Europeo y Consejo, 2009).

Otra herramienta significativa que tiene como objetivo incrementar el uso de fuentes de energía renovables es la Directiva de Energías Renovables revisada (DER II)⁶, conocida como DER II, para alcanzar su objetivo en la industria y el transporte. *“Establece normas relativas a las transferencias estadísticas entre Estados miembros, los proyectos conjuntos entre Estados miembros y con terceros países, las garantías de origen, los procedimientos administrativos, la información y la formación, y el acceso a la red eléctrica para la energía procedente de fuentes renovables* (Parlamento Europeo y Consejo, 2009)”. La DER II, establece el concepto del hidrógeno renovable como “combustibles renovables de origen no biológico”, cuyo objetivo es reducir el consumo del mismo en la industria y el transporte. Envolviendo el 50% de todo el hidrógeno consumido destinado a fines energéticos y a materias primas para el año 2030. Formar una serie de objetivos concretos para la energía suministrada al sector del transporte. Las demás directivas de eficiencia energética, tanto en edificios como en general, colaboran con la DER II puesto que tienen consecuencias en el nivel y estructura de la demanda de gas, siendo de vital importancia el uso

⁶ Directiva de Energías Renovables revisada (DER II): La implementación de la RED II brinda a los países miembros la posibilidad de alcanzar sus metas en cuanto a transporte sostenible, sin tener que depender de biocombustibles provenientes de cultivos que no cumplen con requisitos de sostenibilidad (Parlamento Europeo y Consejo, 2009).

eficaz y eficiente del mismo. Por otro lado, el Reglamento TEN-E⁷ soporta el progreso de la infraestructura de la energía transfronteriza en Europa en su modernización. Además, la infraestructura del hidrógeno está comenzando a introducirse como una tipología novedosa de infraestructura para desarrollar el sistema de redes de éste en Europa (EUROPEA, 2013). Sumado a esto, la Comisión Europea también presentará la legislación necesaria para disminuir la cantidad de emisiones de metano del sector de la energía, a la vez que complementa las iniciativas que incentivan la adopción de gases renovables con bajos niveles de carbono. Este conjunto de medidas, comparten el objetivo común de acelerar el cambio hacia la transición energética de manera que sea más limpia y sostenible en toda la Unión Europea (Parlamento Europeo y Consejo, 2009).

Asimismo, la Comisión Europea ha planteado diferentes medidas para llegar a cumplir el objetivo de la Unión Europea de conseguir una neutralidad climática para el año 2050 (Comisión Europea, 2020), acelerando el proceso de transición a una economía con niveles bajos de carbono. Dentro de las medidas propuestas, se incluyen revisiones recurrentes del régimen de comercio de emisiones con el objetivo de incrementar los precios de los combustibles fósiles y aumentar la demanda de energía renovable y energía con bajos niveles de carbono. Además, se cambia la Directiva fiscal acerca de los productos energéticos para organizar la fiscalidad de los productos energéticos con las políticas sobre las energías y el clima de la Unión Europea. También, se modifica el Reglamento de infraestructuras para agrandar la red de infraestructuras enfocadas en el cargamento y repostaje eficientes para aquellos vehículos clasificados como de emisiones cero (Comisión Europea, 2020).

Los requisitos mínimos establecidos en la nueva ley revisada sobre las emisiones de CO₂⁸ para turismos y camiones, presenta una ruta establecida

⁷ Reglamento TEN-E: reglamento de aplicación de la Unión Europea. El Reglamento TEN-E revisado, se enfoca en el rol de la energía producida a partir de aquellas fuentes renovables (EUROPEA, 2013).

⁸ CO₂: Dióxido de Carbono. Se trata de un “*gas incoloro, inodoro e incombustible que se encuentra en baja concentración en el aire que respiramos (en torno a un 0,03% en volumen)*” (Green Facts, 2022).

clara para aquellos vehículos de cero emisiones desde el año 2025 en adelante. Para ello, y de forma más específica, se distinguirán aquellos vehículos clasificados como de emisiones cero, con el objetivo de establecerse un nivel medio de cero emisión en la flota de los nuevos vehículos para el año 2030 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

Adicionalmente, la iniciativa propuesta FuelEU Maritime, incrementa la media de combustibles sostenibles alternativos en la composición de energía marítima internacional, donde se incluyen los líquidos electrónicos, el hidrógeno descarbonizado y aquellos combustibles procedentes del mismo, y los biocombustibles líquidos, los gases descarbonizados. Esto, permitirá una disminución rápida y característica en la infraestructura y sus emisiones, mediante el uso de la tecnología, y otras metas existentes a alcanzar. Con este propósito, la propuesta proporcionará el valor del recorrido que seguirá la descarbonización del sector marítimo (Parlamento Europeo, 2022).

Por otro lado, existe la propuesta REEFuelEU Aviation, la cual, tiene como meta terminar en la medida de lo posible la interdependencia que tienen los aviones como vehículos aéreos a la reacción de los combustibles fósiles en su sector. Y así, incrementar la participación de los combustibles sostenibles en el sector de la aviación con el fin de instaurar una proporción mínima de 'combustibles de aviación sintéticos' que represente el 0,7% en el sector. En la actualidad, el suministro de combustible en el sector de la aviación se realiza a través de los operadores a las aeronaves. El implemento de estas medidas requiere que el combustible no pueda ser biogénico, sino renovable. Permitiendo así, minimizar de forma considerable las emisiones contaminantes en la aviación y aumentar consigo el potencial del combustible de aviación sostenible (Parlamento Europeo, 2022).

El objetivo de esta propuesta es apoyar a la descarbonización en la economía de la Unión Europea mediante medidas orientadas a cumplir los objetivos

dictados en el artículo 194 del TFUE⁹ (Estados miembros UE, 2012). Dentro del mismo, las medidas están basadas en el artículo 194, apartado 2, del TFUE, y también en el artículo 114, apartado 1, del TFUE (Estados miembros UE, 2012). Con ambos, coopera la Unión Europea una competencia en el sector energético (Parlamento Europeo, 2019). Adicionalmente, está basado en las diferentes leyes que se ajustan y han sido renovadas a lo largo de las últimas dos décadas con el objetivo de establecer mercados energéticos a nivel nacional, consolidar los mismos, y liberar los mercados de la electricidad y el gas. Estas disposiciones envuelven aspectos como pueden ser: el acceso al mercado, la transparencia, los derechos de los consumidores, la liquidez del mercado del gas, y la independencia regulatoria (Parlamento Europeo, 2019).

2.2 Postura global europea frente al denominado “Cambio Climático”

Con el fin de alcanzar la neutralidad climática para 2050 e ir de la mano de la Fidelidad Climática Europea, los miembros de la Unión Europea incumben en la obligación de limitar la emisión de gases de efecto invernadero a un 55% de su déficit nacional, y mantener ese nivel para el año 2030 (Comisión Europea, 2021).

2.2.1 Una UE climáticamente neutra en 2050

La Comisión Europea ha subrayado el desarrollo de mercado y de empleo, así como la excelencia científica, como oportunidades significativas que resultan como consecuencia de una transición hacia la neutralidad climática. La cual,

⁹ TFUE: Tratado de Funcionamiento de la UE: se trata de un acuerdo el cual afecta a más de 50 naciones relacionado con la energía. Este proporciona a los inversionistas extranjeros en el sector energético más poder para demandar al país y al gobierno, que se dice que ha afectado sus inversiones (Transnational Institute, 2022).

ostenta numerosas ventajas en diferentes aspectos como pueden ser desarrollos científicos innovadores, un consumo energético mayor, nuevos mercados, que a su vez se reflejen en nuevos modelos comerciales y por tanto, nuevos establecimientos comerciales. Para ello está el Pacto Verde Europeo. Este es la base para transformar a la Unión Europea en una sociedad ecuánime y floreciente, con una economía moderna y competitiva (Consejo Europeo, 12-13 de Diciembre de 2019). El progreso hasta la neutralidad climática recalca que un punto de vista holístico e interdisciplinar donde la totalidad de áreas importantes de la legislación, son completamente necesarias para poder contribuir a la meta final del cambio climático (Consejo Europeo, 12-13 de Diciembre de 2019).

El tratado está compuesto por diferentes iniciativas que abarcan una variedad de áreas. Entre ellas se encuentran el cronometraje, promediar, la gasolina como combustible para el transporte, la conducción, el comercio, la agronomía, y la economía sostenible. Todas ellas están interrelacionadas entre sí. Adicionalmente, una entidad europea enfocada en corretaje impulsó el Acuerdo del Prado Europeo (Roger & Consejo de la Unión Europea, 2022), el cual fue considerado meticulosamente por la Comisión Europea en Diciembre de 2019 (Consejo Europeo, 12-13 de Diciembre de 2019).

Por otro lado, en línea con todas estas ideas está el paquete <<Objetivo 55>>. Éste, persigue la conversión de las ambiciones marcadas por la ley, para apoyar la colección de iniciativas propuestas hasta el momento (Consejo Europeo, 12-13 de Diciembre de 2019).

En su compilación y frente al cambio climático, la Unión Europea en su persecución de alcanzar una Unión Europea que sea climáticamente neutra para 2050, se enfoca en reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, con el apoyo de una política que se rija por la austeridad y sostenibilidad. Adicionalmente, la Unión Europea estableció el Concierto Europeo del Petróleo. Con la intención de que se encargue de proponer iniciativas sostenibles que estén alineadas con los objetivos de una ley climática aprobada de forma simultánea, que marca objetivos concretos sobre cómo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. A su vez, la Unión Europea colabora con el Objetivo

55 con el fin de revisar la legislación de la misma para redirigirla hacia los objetivos climáticos que plantea. Dicha propuesta acepta la transición climática, brindando numerosas oportunidades de incrementar la rentabilidad de la capacidad, modelos de negocio innovadores, nuevos mercados, productividad, progreso de avances científicos (Consejo Europeo, 12-13 de Diciembre de 2019).

2.2.2 Legislación Europea sobre el Clima

Para transformar el interés político de alcanzar una neutralidad climática para el año 2050 en una responsabilidad legal, se ha establecido el Acta Europea del Clima (Consejo y Parlamento Europeo, 05 de Mayo de 2021). Gracias a la misma, los miembros de la Unión Europea asumen la responsabilidad de disminuir las emisiones netas de los gases de efecto invernadero de la Unión Europea para 2030 en un 55% como mínimo en comparación a los niveles de 1990. Esta meta jurídicamente vinculante, se fundamenta en la valoración de impacto llevada a cabo por la Comisión Europea (Consejo y Parlamento Europeo, 05 de Mayo de 2021). El Reglamento indica las siguientes actividades principales:

- proyectar una reducción en las emisiones para el año 2050 con el fin de avalar la previsión de entidades financieras, interesados, y las personas en la sociedad;
- elaborar un sistema de rastreo y reporte para seguimiento del progreso hasta conseguir los objetivos;
- respaldar de forma rentable y social la transición medioambiental.

En el mes de mayo de 2021, Consejo Europeo validó el acuerdo provisional con el Parlamento Europeo alcanzado en abril del mismo año, y está actualmente en vigor (Consejo y Parlamento Europeo, 05 de Mayo de 2021).

2.2.2.1 Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE

En el mes de junio de 2021, el conjunto de ministros del medioambiente de la Unión Europea concluyó que era necesaria la nueva estrategia de adaptación al cambio climático de la UE. La estrategia, supone un objetivo a largo plazo en la Unión Europea para alcanzar a convertirse en una sociedad capaz de resistir el cambio climático para el año 2050. Siendo completamente capaz de soportar sus consecuencias inevitables (Consejo y Parlamento Europeo, 05 de Mayo de 2021). De las acciones previstas en la estrategia, destacan:

- La mejora en la colección de datos para optimizar el acceso de intercambio de información en relación al impacto del cambio climático.
- Resultados basados en la naturaleza del medioambiente para mejorar la resiliencia al cambio climático y poder proteger los diferentes ecosistemas.
- La combinación de la adaptación con la política macro presupuestaria.

Dichas conclusiones a las que llegue facilitarán al Comité la visión política necesaria para implementar la estrategia. El Consejo concluyó en marzo de 2022 que la protección civil fuese adaptada con las medidas necesarias para los fenómenos meteorológicos consecuentes del cambio climático que pudiesen considerarse como 'extremos'. Asimismo, los ministros pidieron que se regulasen aquellos sistemas de protección civil, enfocándose en prevenir, preparación, responder, y recuperar la salud (Consejo y Parlamento Europeo, 05 de Mayo de 2021).

2.2.3 Estrategia Industrial Europea

La Unión Europea considera que la industria europea es crucial para una transición hacia la neutralidad climática. Es por esta razón que esta estrategia industrial europea se ha puesto como meta dar soporte a la industria actuando como motor para el cambio, la innovación, y el crecimiento de esta. En noviembre de 2020, el Consejo tomó una de las ideas de la estrategia industrial en la que se daba relativa importancia a los principios de protección del medioambiente, la

circularidad, y al desarrollo sostenible. Con la intención de ayudar a la recuperación de la situación tras la pandemia del COVID-19 (Consejo Europeo, 2021).

Más adelante, la Comisión Europea anunció en mayo de 2021 una nueva Estrategia Industrial actualizada (European Commission, 2021). La cual, tiene como objetivo lograr que la Unión Europea sea más competitiva y resistente, resultando en que la industria europea termine liderando la transición digital y verde. Para así, poder convertirse en el motor mundial de la neutralidad climática y digital (European Commission, 2021).

2.2.3.1 Energía limpia, asequible y segura

Adicionalmente a los análisis de las propuestas anteriores, puede decirse que la descarbonización del sector energético es crítica para alcanzar la neutralidad climática en la Unión Europea. Esto es porque el 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea vienen de este sector (Comisión Europea, 2021).

Dentro de los distintos niveles en los que se está trabajando en la UE para alcanzar estas metas, están como ejemplos el apoyo en el desarrollo y despliegue de diferentes fuente energéticas limpias. Para con ellas, ayudar en la promoción de la reunión de sistemas energéticos, elaborando una infraestructura de energía interconectada, y también una legislatura revisada acerca de la eficiencia energética y las energías renovables (Comisión Europea, 2021).

Adicionalmente, una de las mayores actividades consumidoras de energía en Europa es la construcción. La cual es responsable de más de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero de la Unión Europea. Esto puede verse reflejado en la estrategia adoptada por los ministros de la Unión Europea en junio de 2021. Dicha estrategia de recuperación se centraba en la inclusión social, la transición verde, y la recuperación económica. Con el fin de doblar la tasa de innovación respectiva a la energía de la Unión Europea en 2030 (Comisión Europea, 2021).

2.2.4 De los objetivos climáticos a la legislación de la UE

El Consejo de la Unión Europea, aprobó el pasado mes de junio de 2021, la denominada Ley Climática Europea. Dicha ley, marca las labores que deben llevar los países miembros de la Unión Europea para lograr un decrecimiento progresivo de la emisión de los gases con efecto invernadero, alcanzando así, una condición climática neutral para el año 2050. Prácticamente al mismo tiempo, el Consejo ratificó la Ley del clima de la Unión Europea. La cual pretendía ser el plan que seguir para el año 2050, y convertir a la Unión Europea en un grupo resiliente al clima (Consejo y Parlamento Europeo, 05 de Mayo de 2021).

La agenda de neutralidad climática de la Unión Europea contiene diferentes propuestas que pretenden revisar la legislatura actual e instaurar nuevas decisiones innovadoras en sectores como son el de la comercialización de emisiones, el uso de terrenos, el sector energético, el de transporte, y los sectores agrícola y silvicultural¹⁰ (Consejo y Parlamento Europeo, 05 de Mayo de 2021).

2.2.5 Financiación de la transición climática de la UE

Se requerirán grandes inversiones tanto del sector público como privado para lograr una economía que respete el clima. Los países miembros de la UE han llegado a un acuerdo en el largo plazo por el que se comprometen a destinar parte de su presupuesto de la UE hasta alcanzar el 30% pactado, para el periodo 2021-2027, así como el fondo Next Generation EU¹¹ para financiar proyectos relacionados con el clima (Consejo Europeo de Innovación, 2021). Para garantizar un cambio regulado a una economía descarbonizada, la UE ha

¹⁰ Silvicultural: se trata del conjunto de actividades y mecánicas relativas la cultivación forestal. Puede entenderse como explotación forestal (Española, 2023).

¹¹ Fondo Next Generation EU: conjunto de medidas a corto plazo diseñadas para fomentar la recuperación económica y financiados con una cantidad de dinero sin precedentes en Europa (Consejo Europeo de Innovación, 2021).

establecido un mecanismo ofertando soporte económico y tecnológico a aquellas regiones que queden más vulnerables por los efectos de la transición. Se destinarán hasta 90.000 millones de euros para este fin. Por tanto, se prevé que el 30% del gasto total de la UE se invierta en iniciativas sobre el clima hasta el año 2027 (Consejo Europeo de Innovación, 2021).

2.2.5.1 Integración de la dimensión climática en el gasto de la UE

La pandemia mundial del COVID-19 ha creado importantes desafíos de salud, financieros, y económicos. Sin embargo, la recuperación postpandemia ofrece la oportunidad de una recuperación más sostenible a través de políticas públicas respetuosas con el medioambiente. Entre ellas destacan la eliminación de subsidios ineficientes y perjudiciales para el medioambiente económico, establecer precios fijos para el carbono y, al mismo tiempo, un cambio hacia la inversión sostenible (Consejo Europeo de Innovación, 2021).

El Plan de Recuperación de Próxima Generación de la UE asigna el 37% del Fondo de Recuperación, equivalente a 232.175 millones de euros, a objetivos relacionados con el clima y se ha establecido un objetivo climático global del 30% para el gasto total del presupuesto de la UE. término 2021-2027 (Consejo Europeo de Innovación, 2021).

2.2.6 Configuración de la acción mundial en relación con las medidas legislativas y financieras

La UE está comprometida con combatir el cambio climático por el Acuerdo de París¹² de 2015, y apoya los elevados objetivos de implementar este acuerdo internacional (Naciones Unidas (ONU), 2015). La UE también pidió a los socios

¹² Acuerdo de París: Es una convención mundial que vincula de manera jurídica a sus integrantes acerca de la temática del cambio climático. La han adoptado 196 participantes en la conferencia COP21 de 2015 (Naciones Unidas (ONU), 2015).

globales que intensifiquen los esfuerzos para limitar el calentamiento global en foros internacionales y bilaterales (Comisión Europea, 2021).

La Unión Europea, junto con sus respectivos estados miembros, componen la mayor fuente mundial de financiación climática. Esta subvención apoya los planes y acciones respectivos a cambio del clima en aquellas naciones en vías de desarrollo, facilitando sus transiciones ambientales, y se enfrentan a las consecuencias negativas de éste (Comisión Europea, 2021).

2.2.6.1 ¿Por qué es necesaria la transición ecológica?

Informes científicos recientes muestran que la alteración del clima global está ocurriendo a una escala sin precedentes. El calentamiento global está causando cambios crecientes y, en algunos casos, irreversibles en los patrones de precipitaciones, vientos y océanos en todas las regiones del mundo (Comisión Europea, 2021).

Asimismo, se han llevado a cabo estudios que demuestran un incremento tanto en temperatura, como en el número de fenómenos meteorológicos clasificados como 'extremos'. Consecuentemente, el sector económico en la Unión Europea se está viendo altamente afectado, reduciendo el alcance de producción alimenticia de los países, e incrementando su coste. Las estadísticas muestran que los eventos climáticos en la Unión Europea durante los últimos 40 años han causado pérdidas financieras superiores a 487 mil millones de euros. Además, entre 1980 y 2020 se registraron más de 138.000 muertes en la UE debido a condiciones climáticas extremas. En cuanto a las inundaciones fluviales, sus pérdidas económicas medias superan los 5 000 millones EUR al año, mientras que los incendios forestales provocan pérdidas económicas por valor de unos 2 000 millones EUR al año (Consejo Europeo, 2021).

3 El Hidrógeno Verde

El uso del hidrógeno es uno de los enfoques más prometedores para la transición energética en Europa. Después de todo, es el elemento químico existente más simple y abundante, aunque a menudo se encuentra en combinación con otras moléculas (como el amoníaco o la cascada). Según el origen y emisión de CO₂ durante su proceso de producción, pueden distinguirse diferentes categorías de hidrógeno (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020). Hay tres tipos principales de hidrógeno: hidrógeno gris, hidrógeno azul e hidrógeno verde.

❖ Hidrógeno gris: una forma de hidrógeno que se obtiene del gas natural a través de un proceso de vapor reformado. En este, se calienta el gas natural a altas temperaturas y se combina con vapor de agua, dando como resultado tanto hidrógeno como dióxido de carbono. Este proceso produce ingentes sumas de CO₂, convirtiéndolo en un proceso altamente contaminante (Meza, 2020).

El hidrógeno gris se llama así porque su proceso de producción genera una gran cantidad de emisiones de carbono, resultando en una huella de carbono muy elevada. A menudo se utiliza en el sector industrial químico y elaboración de amoníaco y metanol (Meza, 2020).

A pesar de que el hidrógeno gris tiene una huella de carbono alta, es más económico que otras formas de hidrógeno, por ello es el más usado globalmente. Sin embargo, para lograr una transición energética más sostenible y reducir las emisiones de carbono, se están investigando y desarrollando tecnologías para producir hidrógeno verde y azul, que son formas de hidrógeno más limpias y sostenibles (Meza, 2020).

❖ Hidrógeno azul: forma de hidrógeno producido a partir del gas natural, con la ventaja que su huella de carbono en comparación con la del hidrógeno gris y mucho menor. La producción de hidrógeno azul implica la cogida y aprovisionamiento de CO₂ (de ahí sus siglas “CCS” en inglés) para evitar la emisión del mismo a la atmósfera durante su proceso de producción (Ariño, 2022).

La producción de hidrógeno azul se lleva a cabo en un proceso similar al del hidrógeno gris, utilizando gas natural como materia prima y un proceso de modificación del vapor con el objetivo de separar el hidrógeno del metano. Sin embargo, en el proceso de hidrógeno azul se agrega un paso adicional: la captura del CO₂ que se genera durante la producción del hidrógeno. El CO₂ se separa del hidrógeno y se almacena en un depósito, en lugar de liberarse a la atmósfera. La infraestructura y avances tecnológicos encargados de atrapar y almacenar el carbono es esencial en el proceso, permitiendo que el hidrógeno azul sea una opción más limpia que el hidrógeno gris (Ariño, 2022).

Esta tipología de hidrógeno tiene numerosas aplicaciones, de entre las que se incluyen la producción de amoníaco, productos químicos y refinación de petróleo. También se está explorando como una opción para la movilidad, ya sea en medios de transporte impulsados por pilas de hidrógeno que actúen como combustible, o también en aplicaciones de transporte pesado como camiones y trenes. La ventaja principal en este caso es que el carbono resultante se captura para su almacenamiento o reutilización, llevando a una enorme reducción en las emisiones contaminantes, alcanzando el 95%, resultantes de su proceso de producción (Ariño, 2022).

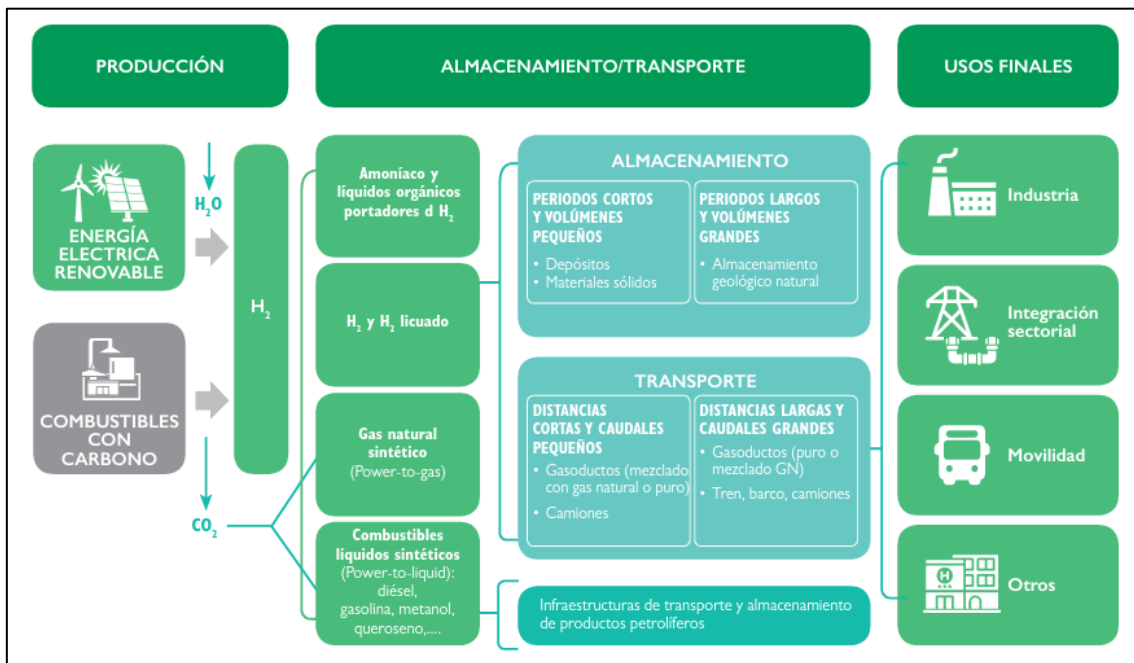
- ❖ El hidrógeno verde: también conocido como hidrógeno renovable, forma de hidrógeno producida a partir de energía renovable, principalmente a través del método de electrólisis, utilizando electricidad generada por fuentes renovables. Entre ellas, la solar, eólica, o la hidroeléctrica. Este proceso, llamado '*Power-to-Hydrogen*' o '*Power-to-Gas*', no libera CO₂. Sino que el único producto resultante de su combustión es vapor de agua. Es un proceso químico que separa los elementos de un compuesto utilizando electricidad generada a partir de fuentes 100% libres de carbono (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

Este tipo de hidrógeno se considera una de las formas más limpias de producirlo, puesto que no emite gases contaminantes durante su producción. Adicionalmente, el hidrógeno verde goza de un amplio abanico de utilidades

y usos, desde la producción de energía eléctrica hasta el transporte y la industria (Varela, 2022).

Es importante destacar que el hidrógeno no supone una fuente energética primaria, porque no podemos encontrarla de forma pura en la naturaleza. AL contrario, necesitamos de la realización de un procedimiento de consumo energético para obtenerlo, por ello se toma como un vector energético, al igual que el caso de la electricidad. Sin embargo, al contrario que ocurre con la electricidad, el hidrógeno tiene la capacidad de acumular energía y posteriormente, dispensar de ella paulatinamente, de acuerdo a las preferencias (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

Figura 2: Etapas de la cadena de valor del hidrógeno



(Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020)

La principal aplicación del hidrógeno es la pila de combustible, que convierte directamente la energía química del hidrógeno en electricidad. Estas pilas se pueden clasificar en tres tipos: estacionarias, de transporte y portátiles. Las estacionarias se utilizan para la generación centralizada y distribuida de energía

eléctrica, mientras que las de transporte se utilizan para alimentar vehículos y las portátiles se utilizan para suministrar energía a dispositivos electrónicos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

Otra aplicación del hidrógeno es la combustión directa en motores alternativos o turbinas de gas. Aunque este uso reduce la eficiencia de la pila de combustible, ya que no es un proceso directo, se utiliza en combinación con otros combustibles debido a que proporciona una gran estabilidad de la llama que permite utilizar mezclas que de otra manera serían ineficientes (Noussan, Raimondi, Scita, & Hafner, 2021). En resumen, el hidrógeno es una fuente versátil de energía que puede utilizarse para almacenar y liberar energía de forma gradual, y se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluidas las pilas de combustible y la combustión directa en motores alternativos o turbinas de gas (Noussan, Raimondi, Scita, & Hafner, 2021).

3.1 Producción

La obtención del hidrógeno verde se puede lograr utilizando diferentes tecnologías que dependen de la fuente de alimentación empleada para cada una de ellas, según se explica en la siguiente figura.

Figura 3: Características tecnoeconómicas de diferentes tecnologías de electrolizadores. Fuente: The International Energy Agency. The Future of Hydrogen, June 2019

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

(Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020)

El primer método es la electrólisis, radica en la separación de corpúsculos de agua, obteniendo como resultado oxígeno e hidrógeno en forma gaseosa, en un flujo continuo entre dos electrodos acoplados a la corriente (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020). Existen diferentes tipos de electrolizadores disponibles para la implementación de esta tecnología.

- ❖ Los electrolizadores alcalinos son muy comunes debido a su rentabilidad económica y madurez tecnológica. En ellos, el manejo de los iones se produce en una solución potasa cáustica alcalina. Sin embargo, esta tecnología tiene una baja densidad de corriente, lo que significa que se produce menos hidrógeno por unidad de volumen del equipo. Además, la elaboración de hidrógeno está condicionada por un campo de maniobra limitado desde el 20% hasta 100% del funcionamiento nominativo del mismo como consecuencia de la difusión de gases que se producen en

los ánodos ¹³ y cátodos ¹⁴ por medio de la membrana o diafragma (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

- ❖ Los electrolizadores de membrana de intercambio aniónico (AEM) son similares a los electrolizadores alcalinos, pero utilizan una membrana de intercambio aniónico en lugar de una solución alcalina. Aunque todavía se encuentra en fase de investigación, la electrólisis AEM es una opción menos costosa que la electrólisis de membrana polimérica protónica o PEM. Esto es porque la membrana de esta metodología no tiene la necesidad de depender de metales preciosos que actúen como motores metálicos no nobles en su proceso de elaboración. Adicionalmente, este proceso es profundamente constante y equilibrado en la obtención de hidrógeno (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).
- ❖ Los electrolizadores de óxido sólido (SOEC)¹⁵ son una tecnología que se encuentra en una etapa menos avanzada (Archivos del electrolizador de óxido sólido, 2023). Utilizan electrolitos cerámicos que son más baratos de producir y son altamente eficientes en términos energéticos, aunque se requieren temperaturas muy altas, por encima de 700° Celsius, para lograrlo. En contraste con las tecnologías previas, esta permite la transformación eléctrica del hidrógeno a través de dispositivos

¹³ Ánodo: es el conductor eléctrico donde tiene lugar el acto de oxidación. Por lo que la materia de la que se compone el ánodo pierde electrones. Esto, es lo que produce un aumento en la oxidación del mismo (Plaza, 2022).

¹⁴ Cátodo: contrariamente al ánodo, el cátodo es el electrodo en el que se realiza un proceso de reducción, donde la materia que lo compone mengua su oxidación ganando electrones (Plaza, 2022).

¹⁵ SOEC (Electrolizadores de óxido sólido): este tipo de tecnología aún se está desarrollando. SOEC, emplea material como transporte de iones de oxígeno (O²⁻) a altas temperaturas, produciendo hidrógeno de manera algo distinta. Esta tecnología es ventajosa al combinar una elevada temperatura y eficiencia energética, junto con unas emisiones reducidas y a un precio económico. Por otro lado, conlleva una gran cantidad de tiempo para llevarse a cabo a cause de la gran demanda calorífica y energética (Archivos del electrolizador de óxido sólido, 2023).

reversibles, lo que brinda servicios de equilibrio a la red (Archivos del electrolizador de óxido sólido, 2023).

La electrólisis es el método más conocido y estudiado para la obtención del hidrógeno verde y apunta a ser el más rentable en el futuro. La tecnología se basa en la utilización de electricidad renovable para producir hidrógeno mediante la separación de moléculas de agua. Los diferentes tipos de electrolizadores disponibles presentan ventajas y desventajas, lo que debe ser considerado a la hora de elegir qué metodología tecnológica emplear. Por lo general, la electrólisis AEM aparenta ser una alternativa más económica y estable en la obtención de hidrógeno en grandes cantidades (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

- ❖ Otras metodologías: hay diversas alternativas para elaborar el hidrógeno verde, destacando la separación de la molécula de agua. Entre estos procesos se encuentra la termólisis, que consiste en la disgregación del agua mediante la energía fotovoltaica concentrada. No obstante, estos métodos aún se encuentran en un estado poco desarrollado en términos tecnológicos. Por ello, se utilizan ciclos termoquímicos que permiten reducir la temperatura necesaria para llevar a cabo estos procesos. Otros métodos, como los fotoelectroquímicos, también pueden aprovechar la energía solar para iniciar la disociación del agua (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

La producción de hidrógeno partiendo de gas natural o biogás:

Hidrógeno “reformado con vapor o *Steam methane reforming (SMR)*”: Se está trabajando en una técnica llamada reformado con vapor, la cual consiste en la reacción de vapor a altas temperaturas y a gran presión de hidrocarburos a través de un catalizador de base metálica. Esta reacción se lleva a cabo en un reactor denominado reformador y tiene como resultado la producción de un gas sintético compuesto principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono. Con el fin de obtener más hidrógeno, se suele aplicar dos etapas de WGS, generando como subproducto dióxido de carbono, y finalmente se realiza una etapa de

purificación de hidrógeno (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

A partir de la Oxidación parcial o *Partial oxidation* (POX): En el proceso de oxidación parcial, el hidrocarburo experimenta una combustión incompleta al reaccionar con oxígeno en una proporción menor a la estequiométrica, lo que se lleva a cabo en un reactor o reformador a temperaturas muy altas. Este método produce gas de síntesis de manera más rápida, aunque menos eficiente que el proceso anterior (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020).

3.2 Transporte

La perspectiva de usar hidrógeno verde para reemplazar los combustibles fósiles es muy prometedora, aunque todavía hay incertidumbre sobre las áreas en las que será utilizado.

Los sectores industrial, de transporte de mercancías y almacenaje temporal de electricidad suponen los principales candidatos, y se espera que el hidrógeno verde provea necesidades energéticas mundiales para el año 2050, alcanzando niveles de suministro de entre el 13 y el 25%. El uso de hidrógeno verde tiene el potencial de reemplazar al hidrógeno gris en sus aplicaciones actuales, ya que es necesario en sectores de la industria donde el consumo energético es muy elevado, sectores como el del acero y el de los químicos, así como en el transporte aéreo y marítimo (Genia Bioenergy, 2022).

Además, también se necesitará hidrógeno renovable para almacenar y regular la red en un sistema 100% renovable. Se espera que otros sectores utilicen el hidrógeno renovable a modo de alternativa a la descarbonización, como el transporte por carretera y ferroviario, sectores de gran consumo energético y los sistemas de calefacción domésticos.

También se espera que pequeñas cantidades de hidrógeno verde ingresen a la red de gas en breve, lo que generará una necesidad inmediata de este gas renovable y reducirá las emisiones de carbono. La creciente demanda de hidrógeno renovable requerirá una cadena de valor geográficamente dispersa. España, con su infraestructura y experiencia, puede convertirse en la potencia de gas renovable de Europa en el futuro y puede suponer un punto en el que la UE se apoye para así reducir su dependencia de energía Rusa (Genia Bioenergy, 2022). La UE importa el 40% del gas natural que consume de Rusia y pretende acabar con esta dependencia para 2027 invirtiendo en infraestructura gasista para diversificar el suministro de los países miembros (Genia Bioenergy, 2022).

España tiene un gran potencial en la producción de gas renovable y puede servir como proveedor de gas alternativo a Centroeuropa gracias a su capacidad para almacenar, regenerar gas y conectar con Argelia. La Asociación Española del Gas cree que con la reanudación del proyecto Midcat¹⁶, España puede convertirse en un hub de distribución de gas para otros países europeos. Sin embargo, Kadri Simson, comisaria de energía de la UE, señaló la importancia de invertir en energías renovables además de diversificar las rutas de suministro de gas natural (Genia Bioenergy, 2022).

España tiene un gran potencial para la producción de hidrógeno renovable y el proyecto Midcat es clave para poner este gas renovable a disposición de otros Estados miembros. España podría convertirse en un hub europeo de gas renovable si el proyecto continúa (Genia Bioenergy, 2022).

Los hubs de gas en Europa son centros de distribución físicos o virtuales donde los distribuidores pueden intercambiar productos y servicios relacionados con el gas. Estos centros aseguran el flujo de gas y son el centro de fijación del precio

¹⁶ Gaseoducto Midcat: Se trata de una conexión de gas interrelacionada entre España y Francia. Su elemento más importante es un conducto de 227 kilómetros que recorre los Pirineos y así poder conexionar las redes de ambos países. El pasaje discurriría desde la localidad catalana de Hostalric hasta la francesa de Barbaira – *“con lo que se sumaría a las dos conductos ya existentes en la parte occidental”* – y podría aumentar la exportación de gas al resto de Europa. (Albalá, 2022).

de referencia que regula el mercado de esta fuente de energía. Los nodos físicos son ubicaciones físicas donde se conectan diferentes gasoductos y permiten bombear gas de un gasoducto a otro. Los centros virtuales, por otro lado, son una región de equilibrio y pueden actuar casi independientemente de los objetos físicos. Proporcionan un lugar o mercado donde los transportistas y comerciantes pueden comprar y vender capacidad y gas (Genia Bioenergy, 2022).

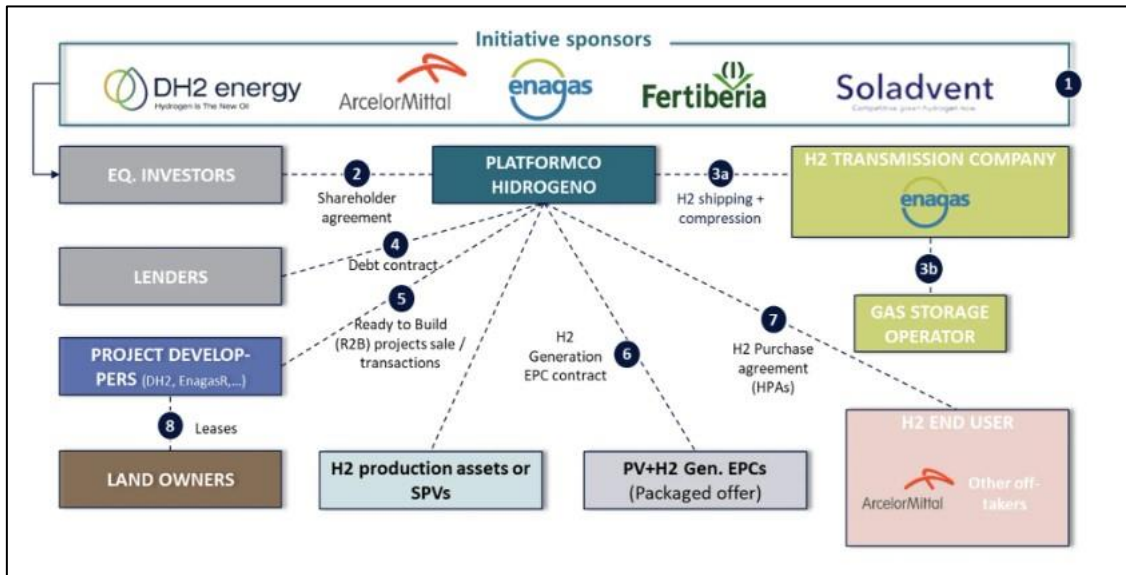
3.2.1 Condición ventajosa en España para el hidrógeno verde

España tiene las mejores condiciones de producción de hidrógeno verde de Europa gracias a sus grandes recursos de energía eólica y solar.

Actualmente, se prevé que la capacidad del electrolizador sea de 71,8 GW para 2030, lo que representa el 52% de la capacidad de producción de hidrógeno verde en Europa. Uno de los proyectos más importantes en el campo es HyDeal¹⁷ (Díaz Quijarro, 2022), que tiene como objetivo producir 6,6 millones de toneladas de hidrógeno verde en las próximas dos décadas. Esto evitaría el 4% de las emisiones de CO₂ actuales y aportaría el equivalente al 5% del gas natural que importa España. Además, este proyecto se basará en un modelo técnico y económico disruptivo que incluye la unificación de la cadena de valor, colectores solares, plantas industriales de obtención de hidrógeno, despliegue de tuberías de hidrógeno sintético y propio (Genia Bioenergy, 2022).

¹⁷ HyDeal: La plataforma HyDeal Ambition condujo al establecimiento de HyDeal España (PlatformCo Hidrogeno), que fue la ejecución industrial pionera del programa. HyDeal España se registró oficialmente como empresa industrial el 10 de enero de 2022 tras un año de estudios de viabilidad. Esta empresa será responsable de la gestión, financiación y construcción de infraestructura verde para la producción y transmisión de hidrógeno. Los patrocinadores son Enagás Renovables y DH2 Energy (desarrollo de proyectos), Enagás (transmisión y almacenamiento), así como ArcelorMittal y Fertiberia (aplicaciones industriales) y Soladvent (gestión).

Figura 4: HyDeal España



(HyDeal España, 2022)

El hidrógeno de fabricación española se utilizará para las necesidades propias del país, para procesos industriales y se suministrará a través de oleoductos a Europa. Para poder desarrollar hidrógeno renovable, se debe crear un mercado de hidrógeno que funcione bien, con estándares y certificaciones aprobados en toda Europa (Genia Bioenergy, 2022).

3.2.2 Formas de transportar el hidrógeno verde

El hidrógeno se puede transportar por todo el mundo por camión, oleoducto o barco en forma comprimida, líquidos de origen orgánico transportadores de hidrógeno (LOHC) y amoníaco (Consejo Europeo, 2021).

El transporte en camiones puede comprimirse o licuarse, mientras que los gasoductos requieren compresión. Se han tendido cerca de 5.000 km de gasoductos para este gas renovable. El transporte marítimo puede funcionar con gas licuado para aprovechar mejor la capacidad del buque, aunque la tecnología aún está en desarrollo. LOHC y el amoníaco también se pueden utilizar para el transporte. LOHC puede absorber hidrógeno y transportarlo a su uso final,

aunque se requieren reacciones químicas para absorberlo, luego liberar y transportar el compuesto orgánico de regreso a su sitio original. La conversión de hidrógeno en amoníaco es una alternativa importante al transporte de larga distancia, ya que es más barato que el hidrógeno licuado y tiene un fuerte comercio internacional. Sin embargo, el amoníaco es tóxico y caro de transportar en pequeñas cantidades. El transporte marítimo es más rentable para distancias más largas y volúmenes más pequeños, mientras que el transporte por tubería es más ventajoso para transportar gas renovable debido a mejores economías de escala (Consejo Europeo, 2021).

Sopesando las diferentes ventajas y desventajas en términos de seguridad del abastecimiento, el envío de hidrógeno por vía marítima es la opción más rentable debido a:

- El comercio depende únicamente de las naciones exportadores e importadores, sin intermediarios geográficos, y de la disponibilidad de las terminales de carga y descarga necesarias (Consejo Europeo, 2021).
- La infraestructura para el comercio internacional de amoníaco ya existe y se puede utilizar para purificar el amoníaco a partir de la conversión de hidrógeno. Además, la construcción de terminales de conversión es más rápida que la construcción de gasoductos internacionales (Consejo Europeo, 2021).
- El aumento de la demanda de hidrógeno debido a la falta de gas natural debido a la guerra en Ucrania hace que la infraestructura de gaseoductos existente sea inadecuada, y la construcción de nuevos gaseoductos requiere tiempo de disposición y desarrollo (Consejo Europeo, 2021).

Considerando todos los factores, la solución más efectiva y eficiente para la transportación de hidrógeno verde sería un sistema que combinara el transporte de amoníaco por mar y gasoducto, similar al del gas natural (Consejo Europeo, 2021).

3.2.3 Iniciativa Europea Hydrogen Backbone para el transporte de hidrógeno en Europa

La Comisión Europea planea establecer cinco grandes corredores de gasoductos para 2030 para alcanzar las metas de abastecimiento de hidrógeno renovable (Genia, 2022).

La implementación de esta infraestructura permitirá a los participantes del mercado beneficiarse del progreso mutuo de ambos la oferta y la demanda de hidrógeno (Genia, 2022). EHB¹⁸ ha identificado 12 millones de toneladas de suministro potencial de hidrógeno en la UE, superando el fin para 2030 de la iniciativa REPowerEU¹⁹ de lograr alcanzar las 10 millones de toneladas de hidrógeno verde doméstico (Díez, 2022).

Además, existe la expectativa de que ambas, oferta y demanda de hidrógeno, aumenten significativamente para finales de 2040 (Díez, 2022).

Hay cinco vías de provisión de hidrógeno:

- Corredor A: ubicado en el norte de África y Europa meridional;
- Corredor B: ubicado en el suroeste de Europa y norte de África;
- Corredor C: situado en el Mar del Norte;
- Corredor D: en las regiones nórdicas y bálticas;
- Corredor E: en Europa oriental y sudoriental (Díez, 2022).

Estos gaseoductos comparten el objetivo común de la iniciativa REPowerEU, contemplando tres vías de importación: primeramente, aquellos que discurran por el Mar Mediterráneo (Corredores A y B); en segundo lugar, otro que inicie en

¹⁸ EHB: El principal objetivo de EHB es contribuir a la descarbonización de Europa mediante la identificación del papel clave de la infraestructura de hidrógeno, incluidos los gasoductos nuevos y existentes, para crear un mercado europeo competitivo para el hidrógeno renovable y con bajas emisiones de carbono (Díez, 2022).

¹⁹ REPowerEU: Con este plan, la Comisión Europea establece como objetivo que para 2030, Europa elimine su sujeción a los combustibles fósiles rusos debido a la agresión de Rusia hacia Ucrania. El 85 % de los europeos cree que la UE debería rebajar sus niveles de dependencia de aquellas fuentes de energía como el gas y el petróleo de Rusia para apoyar a Ucrania (European Commission, 2022).

el Mar del Norte (Corredor C); y finalmente, un tercer corredor (Corredor E) que atraviese el territorio Ucraniano (Díez, 2022).

Si se cumplen los objetivos del plan REPowerEU y los corredores de suministro se completan para 2030, se deben tomar medidas inmediatas.

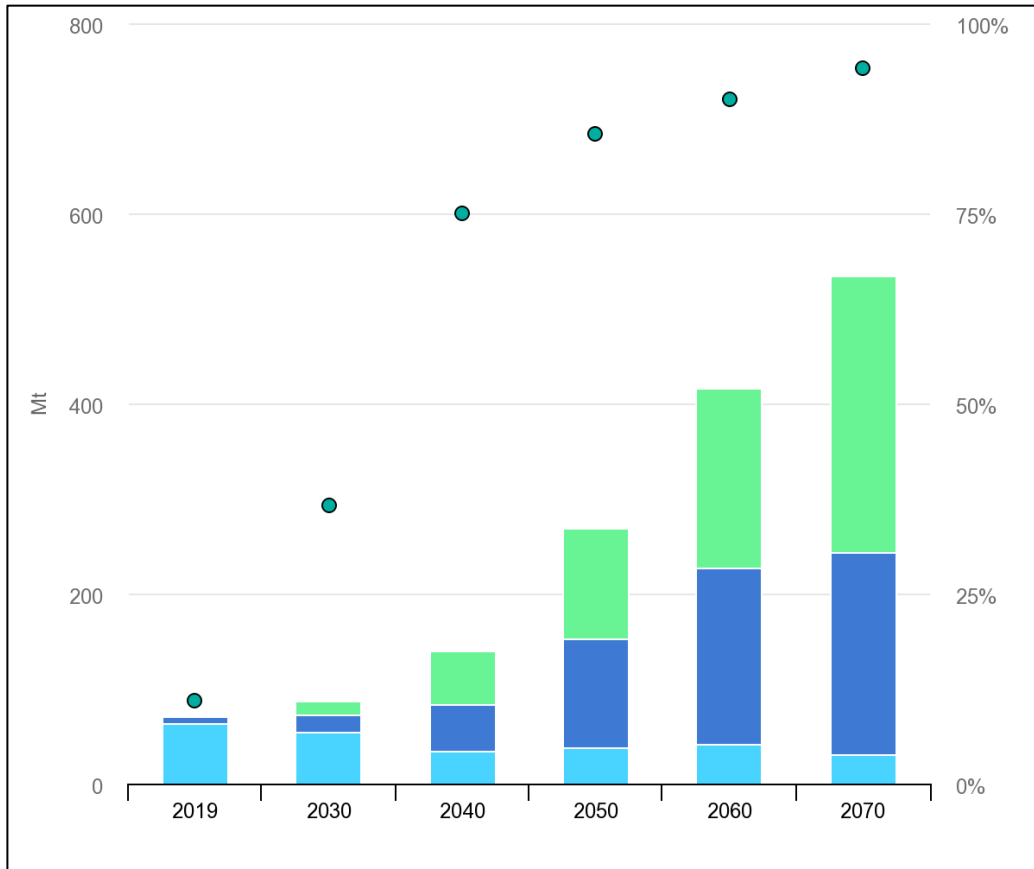
Para ello, es necesario estimular el desarrollo y la adaptación de la infraestructura del hidrógeno, liberar recursos financieros y simplificar la elaboración de las programaciones del proceso en cuestión, así como la aprobación de licencias. Además, las asociaciones energéticas con los países exportadores deben desarrollarse fuera de la iniciativa EHB y promover la planificación de la integración del sistema energético (Díez, 2022).

Las partes participantes en la iniciativa EHB piden a la Comisión Europea que haga de la edificación de estas vías de abastecimiento de hidrógeno un objetivo político, y que los priorice como infraestructura crítica para lograr sus objetivos (Díez, 2022).

3.2.4 Iniciativa abierta para el hidrógeno

La iniciativa European Hydrogen Backbone (EHB) tiene como objetivo aligerar la descarbonización de Europa por medio de una infraestructura de hidrógeno nueva y existente basada en tuberías para garantizar el crecimiento de un mercado global.

Figura 5: Producción global de hidrógeno en el Escenario de Desarrollo Sostenible, 2019-2070



(IEA, 2020)

Europa es competitiva y líquida para el hidrógeno renovable y bajo en carbono. Esta iniciativa tiene como objetivo promover la competencia, la seguridad del suministro así como la cooperación transnacional entre aquellos países europeos y los países vecinos (Díez, 2022). Es operado por 31 Operadores de Sistemas de Transmisión (TSO) y tiene como objetivo conectar la oferta y la demanda interna en Europa, varios territorios de Europa y estados colindantes en el futuro con capacidades de exportación de hidrógeno a un coste reducido. Todo ello con el objetivo de apoyar a la autonomía energética de Europa, garantizar la certidumbre del suministro y desarrollar un mercado competitivo para el hidrógeno renovable (Díez, 2022).

4 El Hidrógeno Verde como alternativa energética

Como se ha visto hasta el momento, el hidrógeno renovable o hidrogeno verde perfila una de las mejores opciones para acelerar la descarbonización de la economía, aunque su futuro sigue siendo incierto (Gallego & Morales, 2021).

Este tipo de hidrógeno es ideal para el almacenamiento de energía renovable. Esto es, porque consiente almacenar y utilizar el exceso de electricidad de fuentes renovables, por lo que es un complemento ideal de cara a la generación de energía fotovoltaica y eólica (Gallego & Morales, 2021).

Además, las grandes industrias intensivas en energía se beneficiarían enormemente de poder satisfacer sus necesidades energéticas con hidrógeno, lo que reduciría de modo significativo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)²⁰ (Seduma Yucatán, 2015).

4.1 Ventajas

El hidrógeno, especialmente el designado 'ecológico', es aquel que puede extraerse de las denominadas energías limpias como son la eólica, la solar o fotovoltaica, biomasa, biogás, biocombustibles... entre otras, se lo tiene por una posible alternativa altamente promisorio en el sector energético. Esto es, en gran medida, gracias a sus múltiples ventajas en contraposición con las demás opciones actualmente consideradas:

- La intensidad energética de masa del hidrógeno es tres veces la de la gasolina;

²⁰ GEI (Gases de efecto invernadero): *“Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y resultantes de la actividad humana, que absorben y emiten radiación infrarroja. Esta propiedad causa el efecto invernadero”* (Seduma Yucatán, 2015).

- Solo se genera agua durante la combustión, obteniendo un resultado más positivo de cara a la mejorar del equilibrio medioambiental y aminorar los niveles de polución en las ciudades;
- Cumple con las características necesarias para poder incorporarse al conglomerado de las diferentes líneas y subestaciones energéticas, junto con aquellas destinadas a la distribución de metano. Asegurando consigo, una fácil adaptabilidad y una mayor utilización;
- El hidrógeno gestiona la brecha entre las tasas de producción de la corriente alternativa junto con la sucesión de periodos en la demanda de esta;
- Cuando se trata de movilidad, los coches de hidrógeno ofrecen más potencia y autonomía que los coches eléctricos;
- El hidrógeno contribuirá al proceso de independencia en el sector de la energía. Facilitando consigo el proceso gradual de disminución de las emisiones de carbono presentes en el sistema económico actual (Valle, 2021).

Como consecuencia de los numerosos beneficios que trae, los gobiernos español y europeo están interesados en promover el uso del hidrógeno invirtiendo fuertemente en este proyecto (Valle, 2021).

4.2 Inconvenientes

De la misma forma que dicha alternativa puede ser muy ventajosa, no debe quitarse relevancia a la posibilidad de que su producción y uso pueda acarrear consigo ciertas desventajas y limitaciones (Valle, 2021).

El hidrógeno como energía alternativa plantea numerosos retos, repercutiendo en el desarrollo posterior de este. El principal problema es que no se da en la naturaleza, por lo que debe obtenerse de recursos naturales como el agua, o mediante la recuperación de metano, que aún depende del gas natural y produce CO₂ (Valle, 2021).

Las metodologías actuales que hacen uso del agua para la obtención de esta fuente de energía no terminan de ser totalmente eficientes, y a la larga se espera que la eficiencia energética alcance el 80%. Además, en los vehículos, la eficiencia de la celda de combustible y la eficiencia del sistema mecánico del vehículo reducen la eficiencia general del hidrógeno hasta en un 25 %. En cambio, los vehículos eléctricos tienen una eficiencia global del 70% (Valle, 2021).

La producción de hidrógeno verde es más costosa que aquella por el que se obtiene el derivado del gas natural, pero se espera que los costos bajen debido a la tendencia a la baja en los precios de las energías limpias y los avances tecnológicos. Por otro lado, el aprovisionamiento de hidrógeno a alta presión plantea el problema de las fugas y la fragilidad de las tuberías y los conductos de acero (Valle, 2021).

Además, la producción de este tipo de hidrógeno precisa de cantidades de agua exorbitantes, recurso que escasea en algunos países. En general, el hidrógeno plantea grandes desafíos que deben abordarse si se quiere que en el futuro llegue a convertirse en una fuente de energía alternativa viable que sustituya a las actuales (Valle, 2021).

4.3 Limitaciones al desarrollo y uso del hidrógeno como fuente de energía alternativa

El hidrógeno tiene una serie de inconvenientes que podrían impedir el desarrollo de una economía del hidrógeno a gran escala, incluida la disponibilidad de electricidad y agua renovables (Valle, 2021).

En España, la producción de hidrógeno prevista por el gobierno hasta 2030 requerirá 12 millones de m³ de agua al año y 13.000 ha de terreno reservado para parques fotovoltaicos dedicados. Si desea satisfacer el 10 % de las necesidades móviles, de gas natural e industriales, necesitará aún más recursos (Valle, 2021).

Además, el informe de Bloomberg, New Energy Outlook 2020²¹, señala que el proceso de obtención, su traslado, y el acopio del hidrógeno requerirán enormes inversiones de entre 14 y 66 billones de dólares (Valle, 2021) (Observatorio de las Energías Renovables, 2020).

Finalmente, la Estrategia Europea del Hidrógeno destaca la imposibilidad de depender únicamente del hidrógeno verde e incluye el destino de 18.000 millones de euros para la financiación en hidrógeno verde producido a partir de gas natural capturado con CO₂ (Valle, 2021).

4.4 ¿Tiene futuro el hidrógeno?

Existen múltiples beneficios que la utilidad del hidrógeno puede aportar enfocando el uso de este como segmento portador de la energía. Pero antes de invertir en su desarrollo, debemos considerar las desventajas y evaluar nuestra capacidad para hacerle frente (Valle, 2021).

El hidrógeno en sí mismo no se considera una fuente de suministro energético como tal, ya que tiene unas cualidades que lo excluyen de serlo. Al contrario, se lo tiene como el recurso para el almacenamiento de energía misma y emplearse para su uso posterior, aunque requiere recursos limitados, como energía y agua, para producirlo. Su uso sería más adecuado en aplicaciones donde haya una alta dificultad para menguar los niveles de emisión de carbono. Como son la maquinaria utilizada para la obtención de materia primas, los sectores focalizados en el traslado de larga distancia o la aviación. Sectores donde se requiere alta capacidad y autonomía con bajo impacto ambiental. Si bien esto requerirá una inversión significativa en investigación y desarrollo, su aplicación no prácticamente resolverá los problemas energéticos actuales y debe evitarse

²¹ New Energy Outlook 2020: Es un informe, proporcionado por BloombergNEF, brinda una visión integral del futuro de la economía energética y su dinámica hasta 2050. Observatorio de las Energías Renovables. (2020, 30 octubre). (Observatorio de las Energías Renovables, 2020).

que se convierta en una fuente de problemas a futuro, tanto a nivel nacional, como internacional, afectado a las naciones colindantes (Valle, 2021).

5 Conclusiones

La situación medioambiental que nos ha tocado vivir, junto a la crisis energética, ha hecho de la necesidad una oportunidad. Así, complementando a las ya actualmente existentes energías renovables, siendo la solar y la eólica las más llamativas, surge una nueva oportunidad de utilizar una cuyo impacto medioambiental es muy reducido, con cero emisiones a la atmósfera. Se trata del hidrógeno verde. El trabajo que estoy presentando, se centra en el marco actual de esta energía limpia y sostenible, que a nivel global, pero más concretamente a nivel europeo, está siendo el foco de las mayores inversiones y de dotación de fondos de la Unión Europea como consecuencia de los Acuerdos de París (Parlamento Europeo y Consejo Europeo, 2020).

Si bien el hidrógeno verde, tal y como he tratado de explicar en mi trabajo, está llamado a ser la energía del futuro, en tanto que este se obtiene a partir de una fuente renovable por electrólisis (principalmente) o por la gasificación de determinada materia orgánica, también es cierto que no está exento de detractores, que justificadamente, argumentan la fuerte inversión necesaria en I+D+i para que sea realmente sostenible desde el punto de vista de rentabilidad.

Lo que sí es cierto, es que en 2030 se estima que el hidrógeno verde supondrá entre un 8% y un 24% de todo el consumo primario de energía, cuando a día de hoy tan solo representa el 2%.

El uso principal de esta energía, que hasta ahora se utiliza principalmente en la producción de fertilizantes, en determinadas refinerías y en la producción de plásticos sintetizados, está llamado a la sustitución de determinados combustibles cuya aplicación más relevante, sería la del sector marítimo. Es pronto para poner fecha a la sustitución de combustibles fósiles por unos verdes (o limpios), pero el potencial de estos es casi inabarcable. De ahí, que la Unión Europea esté maximizando sus esfuerzos en legislar en este sentido, y dotando, financieramente hablando, de fondos de miles de millones de euros para acelerar

este proceso de transformación energética, siendo así que el objetivo es convertir el proceso de obtención de hidrógeno mundial en hidrógeno verde (European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD), 2021).

A largo plazo, el objetivo es no solo convertir toda la producción mundial de hidrógeno en hidrógeno verde, sino además aumentar dicha producción. Este proceso lleva aparejada una fuerte inversión en tecnología (a día de hoy, y al no ser una energía primaria, el proceso de conversión puede conllevar pérdidas de hasta un 70%), pero ya hay empresas centradas en este tipo de inversiones, y de hecho, el mercado actual del hidrógeno verde y los electrolizadores es una industria con unas tasas de crecimiento altísimas.

Tal y como ha quedado demostrado a lo largo del trabajo, hoy por hoy, el hidrógeno verde es una potente herramienta para intentar minimizar el impacto del ya conocido como cambio climático, y se ha demostrado igualmente que es una alternativa real y necesaria para el objetivo de emisiones cero a la atmósfera. Todo ello, lógicamente, dimensionado dentro de un cierto recorrido a lo largo de los próximos años, con un crecimiento exponencial en tecnología que permitan la reducción de costes de producción.

España, internamente en el marco de la Unión Europea, supone una de las primeras naciones en liderar la construcción de estaciones de producción de hidrógeno verde, asimismo, como dentro del arco del mar Mediterráneo, con la edificación y hacer efectivas varias plantas geográficamente bien situadas, que van a permitir una mayor independencia energética en los próximos 15 años, gracias, entre otros factores, a la asignación proveniente de los fondos europeos encuadrados en el "Next Generation", con la cantidad destinada inicial de 140.000 millones de euros (Consejo Europeo de Innovación, 2021).

Así, de los 228 grandes proyectos de hidrógeno verde a nivel global, 106 se reparten entre tres grandes empresas españolas (Enagás, Endesa e Iberdrola).

Como ya se ha comentado a lo largo del trabajo, las ventajas que ofrece el hidrógeno verde en términos de almacenaje y transporte, junto con el hecho de ser una energía cuyo único residuo es el agua, hacen esta fuente de energía el

complemento perfecto a las ya referidas energías solar y eólica. El potencial de esta energía va a servir a muchos sectores con una fuerte demanda de gasto eléctrico, como pueden ser las siderurgias, las cementeras o las petroquímicas, entre otras).

Sin embargo, y como también se ha dejado reflejado en el trabajo, la tecnología del hidrógeno tiene varias desventajas, siendo las principales, que sufre de baja competitividad de mercado y de falta de desarrollo industrial, lo que para los detractores supone una gran ventaja de cara a seguir invirtiendo en los combustibles fósiles como única alternativa real (el coste actual de producción de un megavatio/hora del hidrógeno verde es tres veces superior al de la energía solar y dos veces y media el de la eólica).

Y todo ello, recordando que el modelo energético, conforme a la Directiva Europea 2019/944, pasa por la inclusión de la sociedad en la gestión de sus propias fuentes de energía renovable, lo que parece de difícil aplicación en el caso del hidrógeno verde (Parlamento Europeo, 2019).

Lo que parece inevitable de momento, es que los próximos 15 años van a ser determinantes para comprobar si realmente toda la legislación y toda la financiación que actualmente está volcada en la producción de hidrógeno verde va a resultar eficaz o por el contrario, se habrán gestionado miles de millones de euros y miles de folios de legislación (con la implicación que ello lleva consigo), en algo que termine no siendo la solución final al cambio climático y a la crisis energética.

6 Bibliografía

- Albalá, Á. (31 de Agosto de 2022). *www.20minutos.es - Últimas Noticias - ¿Qué es el gasoducto MidCat y por qué Francia se abre ahora a examinar su construcción?* Obtenido de <https://www.20minutos.es/noticia/5046329/0/que-es-gasoducto-midcat-francia-abre-examinar-propuesta/>
- American Psychological Association. (2020). Iberdrola, Fertiberia plan large-scale green hydrogen plant in Spain. *Fuell Cells Bulletin*, 11. doi:10.1016/S1464-2859(20)30356-4
- Archivos del electrolizador de óxido sólido*. (15 de Febrero de 2023). Obtenido de Crowcon Detection Instruments Ltd: <https://www.crowcon.com/es/tag/solid-oxide-electrolyser/>
- Ariño, I. (2022). *La apuesta por la transición ecológica en España : descarbonización e hidrógeno verde*. Obtenido de Repositorio Comillas: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/57762>
- Asale, R. . (2023). *hidrógeno | Diccionario de la lengua española «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario*. Obtenido de <https://dle.rae.es/hidr%C3%B3geno>
- BOE. (1984). *BOE-A-1984-28282 Ley 49/1984, de 26 de diciembre, sobre explotación unificada del sistema eléctrico nacional*. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1984-28282>
- BOE. (1997). *BOE-A-1997-25340 Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/l/1997/11/27/54>
- BOE. (26 de Diciembre de 2013). *BOE-A-2013-13645 Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/26/24/con>
- BOE. (20 de Mayo de 2021). *BOE-A-2021-8447 Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7/con>
- Brito, L. (12 de Febrero de 2021). *RE100: empresas unidas en pos de una transición energética*. - CARBON NEUTRAL +. Obtenido de CARBON NEUTRAL +: <https://www.carbonneutralplus.com/re100-empresas-unidas-en-pos-de-una-transicion-energetica/>

- Clerici, A., & Furfari, S. (04-08, Octubre, 2021). Challenges for green hydrogen development. *2021 AEIT International Annual Conference (AEIT)* (págs. 1-6). Milán, Italia: IEEE. doi:10.23919/AEIT53387.2021.9627053
- Climate Group. (2022). *RE100 - We are accelerating change towards zero carbon grids at scale*. Obtenido de <https://www.there100.org/>
- CNMC, Comisión Nacional de los Mercados y Competencia. (13 de Enero de 2021). *INFORME SOBRE ANTEPROYECTO DE LEY POR LA QUE SE CREA EL FONDO NACIONAL PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO*. Obtenido de COMISIÓN NACIONAL DE LOS MERCADOS Y LA COMPETENCIA: [efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cnmc.es/sites/default/files/3334287_2.pdf](https://www.cnmc.es/sites/default/files/efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cnmc.es/sites/default/files/3334287_2.pdf)
- Comisión Europea. (08 de Julio de 2020). *EUR-Lex*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>
- Comisión Europea. (05 de Mayo de 2021). *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS*. Obtenido de https://commission.europa.eu/system/files/2021-05/communication-industrial-strategy-update-2020_en.pdf
- Consejo Europeo. (12-13 de Diciembre de 2019). *Pacto Verde Europeo*. Obtenido de <https://www.consilium.europa.eu/es/meetings/european-council/2019/12/12-13/>
- Consejo Europeo. (2021). *COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES*.
- Consejo Europeo de Innovación. (2021). *INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN PROGRAMA 2021 - 27*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-06/rtd-2021-00013-02-00-estra-01.pdf](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-06/rtd-2021-00013-02-00-estra-01.pdf)
- Consejo y Parlamento Europeo. (05 de Mayo de 2021). *Ley Europea del Clima: el Consejo y el Parlamento alcanzan un acuerdo provisional*. Obtenido de <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2021/05/05/european-climate-law-council-and-parliament-reach-provisional-agreement/>
- Cordero Vioque, A., Pardo Escudero, J. I., Oyarzun Echeverria, A., Overejo Roncero, D., Lombana González, J., & de la Granja Valdeon, I. (17 de Noviembre de 2021). *Proyecto fin de master: H2ybrid*. (E. E. INDUSTRIAL, Ed.) Recuperado el 25 de Mayo de 2023, de Proyecto fin de master: H2ybrid | EOI:

<https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/82073/proyecto-fin-de-master-h2ybrid>

- de la Cal, M., Bengoetxea, A., Gacría Lupiola, A., & Uncetabarrenechea Larrabe, J. (2010). *La nueva Estrategia Europa 2020: una apuesta clave para la UE en el s.XXI*. (E. E. Europeo, Ed.) Recuperado el 25 de Mayo de 2023, de PREMIO DE INVESTIGACIÓN FRANCISCO JAVIER DE LANDABURU UNIVERSITAS: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0721770.pdf
- Díaz Quijarro, R. (31 de Mayo de 2022). *El mayor hub integrado de hidrógeno renovable de Europa arranca en España*. Obtenido de Cinco Días: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/05/31/companias/1653997503_760245.html
- Díez, C. C. (24 de Junio de 2022). *EHB presenta cinco potenciales corredores de suministro de hidrógeno para cumplir los objetivos acelerados de hidrógeno de Europa para 2030 - Noticias - Actualidad para*. Obtenido de Plataforma enerTIC.org: <https://enertic.org/ehb-presenta-cinco-potenciales-corredores-de-suministro-de-hidrogeno-para-cumplir-los-objetivos-acelerados-de-hidrogeno-de-europa-para-2030/>
- Española, D. d. (2023). «*Diccionario de la lengua española*» - *Edición del Tricentenario - silvicultura | Diccionario de la lengua española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/silvicultura>
- Estados miembros UE. (26 de Octubre de 2012). *Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, EUR-Lex - 12012E/TXT - EN - EUR-Lex*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=celex%3A12012E%2FTXT>
- EUROPEA, P. E. (25 de Abril de 2013). *REGLAMENTO(UE) N°347/2013 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO relativo a las orientaciones sobre las infraestructuras energéticas transeuropeas y por el que se deroga la Decisión n°1364/2006/CE y se modifican los Reglamentos(CE)n°713/2009, (CE)n°715/2009*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0347>
- European Comission. (2021). *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://commission.europa.eu/system/files/2021-05/communication-industrial-strategy-update-2020_en.pdf

- European Commission. (18 de Mayo de 2022). *Document 52022DC0230 - COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU Plan - COM/2022/230 final*. Obtenido de EUR-Lex - 52022DC0230 - EN - EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>
- European Commission. Brussels, 15.12.2021. COM(2021) 803 final. 2021/0425(COD). (15 de Diciembre de 2021). *Key actions of the EU Hydrogen Strategy*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2021%3A803%3AFIN&qid=1639664719844>
- European Environment Agency. (30 de Enero de 2023). *La energía en Europa: situación actual*. Obtenido de European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual>
- Fernández Mungía, S. (26 de Abril de 2021). *El hidrógeno verde es una de las grandes apuestas de la UE para la transición energética: estas son sus...* Recuperado el 25 de Mayo de 2023, de Xataka: <https://www.xataka.com/energia/ue-quiere-que-hidrogeno-verde-sea-actor-clave-transicion-energetica-estas-sus-fortalezas-sus-debilidades>
- FundéuRAE. (13 de Enero de 2022). *FundéuRAE | Fundación del Español Urgente «hub» es en español «centro de operaciones» o «centro de conexión» | FundéuRAE*. Obtenido de FundéuRAE | Fundación del Español Urgente: <https://www.fundeu.es/recomendacion/hub-alternativas-en-espanol/>
- Gallego, J., & Morales, I. (8 de Abril de 2021). *El hidrógeno como alternativa energética ¿utopía o realidad?* - *elconfidencial.com*. Obtenido de https://www.elconfidencial.com/medioambiente/energia/2021-04-08/crisis-climatica-energias-renovables-hidrogeno-verde_3023575/
- García Vaquero, M., Sánchez-Bayón, A., & Lominchar, J. (09 de Julio de 2021). European Green Deal and Recovery Plan: Green Jobs, Skills and Wellbeing Economics in Spain. *Governance, Legislation and Economic Policy for Green Energy Production: The EU Green Deal Framework and Horizon 2030*, pág. 14. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/14/4145>
- Genia Bioenergy. (2022). *Cómo se realiza el transporte del hidrógeno verde*. Obtenido de <https://geniabioenergy.com/el-transporte-del-hidrogeno-verde/>
- Genia, G. (8 de Agosto de 2022). *Gases renovables para acelerar la transición energética*. Obtenido de Genial Global Energy: <https://geniaglobal.com/gases-renovables-acelerar-transicion-energetica/>

- Giménez Zuriaga, I., & Fundación de Estudios Bursátiles y Financieros. (Julio de 2021). *Retos del hidrógeno verde*. Obtenido de Fundación de Estudios Bursátiles y Financieros: [efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://negociosostenible.camaravalencia.com/wp-content/uploads/2021/07/ECONOMA-ARAGONESA-revista-73-Hidrogeno-Verde-2.pdf](https://negociosostenible.camaravalencia.com/wp-content/uploads/2021/07/ECONOMA-ARAGONESA-revista-73-Hidrogeno-Verde-2.pdf)
- Giménez, J. C. (2019). *LA HORA DEL HIDRÓGENO VERDE*. Obtenido de Google Scholar: [efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gasrenovable.org/docs/hidrogeno_renovable/Reportaje-La_hora_del_Hidrogeno_verde.pdf](https://www.gasrenovable.org/docs/hidrogeno_renovable/Reportaje-La_hora_del_Hidrogeno_verde.pdf)
- Gracia, L., Casero, P., Bourasseau, C., & Chabert, A. (2018). Use of Hydrogen in Off-Grid Locations, a Techno-Economic Assessment. *Energies (19961073)*, 11. Obtenido de EBSCO: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0>
- Green Facts. (05 de Abril de 2022). *Green Facts - Glosario: Combustible Fósil*. Obtenido de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/combustible-fosil.htm>
- Green Facts. (05 de Abril de 2022). *Green Facts - Glosario: Dióxido de Carbono (CO)*. Obtenido de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/dioxido-carbono.htm>
- HyDeal España. (2022). *HyDeal*. Obtenido de HyDeal: <https://www.hydeal.com/copie-de-hydeal-ambition>
- Iberdrola. (22 de Abril de 2021). *El hidrógeno verde: una alternativa para reducir las emisiones y cuidar nuestro planeta*. Obtenido de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>
- Iberdrola. (31 de Marzo de 2021). *La peor década para el clima, ¿Qué hemos aprendido?* Obtenido de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/temperatura-media-de-la-tierra>
- IEA. (2020). *CCUS in the transition to net-zero emissions*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/ccus-in-the-transition-to-net-zero-emissions>
- IEA. (2020). *CCUS in the transition to net-zero emissions*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/ccus-in-the-transition-to-net-zero-emissions>
- IEA. (22 de Octubre de 2022). *Global hydrogen production in the Sustainable Development Scenario, 2019-2070*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-hydrogen-production-in-the-sustainable-development-scenario-2019-2070>

- International Renewable Energy Agency (IRENA). (15 de Enero de 2022). *La economía del hidrógeno apunta a una nueva dinámica de poder mundial*. Recuperado el 25 de Mayo de 2023, de IRENA: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2022/Jan/Geo-Hydrogen/Press-Release---Geopolitics_ES.pdf?la=en&hash=2890276A64B69EC7028D83225AAE05F65BDDB868
- Lizarraga, C. H., & de Beaupuy, F. (2022). *ArcelorMittal, Enagas Create Green Hydrogen Venture in Spain*. Obtenido de EBSCO: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0>
- LONGi. (2023). *LONGi-RE100*. Obtenido de Longi: <https://www.longi.com/es/sustainable-development/promise/RE100/>
- LONGi-RE100*. (2023). Obtenido de Longi: <https://www.longi.com/es/sustainable-development/promise/RE100/>
- López García, D. (20 de Enero de 2020). *PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030*. Obtenido de MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/plan-nacional-integrado-energia-clima/plannacionalintegradodeenergiayclima2021-2030_tcm30-546623.pdf
- Lott, M. C. (18 de Abril de 2017). Green Hydrogen. (Springer Nature, Ed.) *Scientific American*, 316(5), 21. doi:10.1038/scientificamerican0517-21b
- Meza, A. A. (19 de Junio de 2020). *Evaluación técnica y económica del uso de hidrógeno verde en aplicaciones para la industria y desplazamiento de combustible fósil*. Obtenido de Repositorio Académico - Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175586>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (19 de Noviembre de 2020). *El Gobierno destinará más de 1.500 millones al impulso del hidrógeno renovable hasta 2023 a través del Fondo Europeo de Recuperación*. Obtenido de Vicepresidencia Tercera del Gobierno: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-destinar%C3%A1-m%C3%A1s-de-1.500-millones-al-impulso-del-hidr%C3%B3geno-renovable-hasta-2023-a-trav%C3%A9s-del-fondo-europeo-de-recuperaci%C3%B3n-/tcm:30-517192>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). (Octubre de 2020). *Etapas de la cadena de valor del hidrógeno*. Obtenido de HOJA DE RUTA DEL HIDRÓGENO: UNA APUESTA POR EL HIDRÓGENO RENOVABLE:

https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://energia.gob.es/es-es/Novidades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). (Octubre de 2020). *Hoja de Ruta del Hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://energia.gob.es/es-es/Novidades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://energia.gob.es/es-es/Novidades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf)

Naciones Unidas (ONU). (12 de Diciembre de 2015). *Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)*. Obtenido de Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC): <https://www.refworld.org/es/docid/602021b64.html>

Noussan, M., Raimondi, P., Scita, R., & Hafner, M. (2021). *The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition—A Technological and Geopolitical Perspective*. doi:10.3390/su13010298

Observatorio de las Energías Renovables. (30 de Octubre de 2020). *Observatorio de las Energías Renovables*. Obtenido de <https://observatoriorenovables.org/informe/new-energy-outlook-2020/>

Parlamento Europeo. (14 de Junio de 2019). *DIRECTIVA (UE) 2019/944 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de junio de 2019 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

Parlamento Europeo. (21 de Febrero de 2019). *Parlamento Europeo*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/JURI-AL-636055_ES.pdf?redirect](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/JURI-AL-636055_ES.pdf?redirect)

Parlamento Europeo. (07 de Julio de 2022). *Textos aprobados - Combustibles de aviación sostenibles (iniciativa «ReFuelEU Aviation») ***I - Jueves 7 de julio de 2022*. Obtenido de © Unión Europea, 2022 - Fuente: Parlamento Europeo: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0297_ES.html

Parlamento Europeo. (19 de Octubre de 2022). *Textos aprobados - Combustibles sostenibles de uso marítimo (iniciativa «FuelEU Maritime») ***I - Miércoles 19 de octubre de 2022*. Obtenido de © Unión Europea, 2022 - Fuente: Parlamento Europeo: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0367_ES.html

Parlamento Europeo y Consejo. (23 de Abril de 2009). *DIRECTIVA EUROPEA DE ENERGÍAS RENOVABLES*. Obtenido de

<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biocarburantes/sostenibilidad/directiva-europea-de#:~:text=Establece%20normas%20relativas%20a%20las,la%20energ%C3%ADa%20procedente%20de%20fuentes>

Parlamento Europeo y Consejo Europeo. (2020). *INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO sobre la situación de la competitividad de las energías limpias*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0953&from=EN>

Pérez, E. (. (17 de Febrero de 2022). *El mayor hub mundial de hidrógeno verde nacerá en Asturias: todo lo que sabemos de HyDeal España*. Obtenido de Xataka: <https://www.xataka.com/energia/mayor-hub-mundial-hidrogeno-verde-nacera-asturias-todo-que-sabemos-hydeal-espana>

Plaza, D. (19 de Mayo de 2022). *Motor.es - Ánodo y cátodo: ¿qué son y qué importancia tienen en los coches eléctricos?* Obtenido de Motor.es: <https://www.motor.es/que-es/anodo-catodo#:~:text=El%20%C3%A1nodo%20es%20un%20electrodo,as%C3%AD%20su%20estado%20de%20oxidaci%C3%B3n>.

Roger, C., & Consejo de la Unión Europea. (2022). *Consejo de la Unión Europea*. Obtenido de <https://www.consilium.europa.eu/prado/es/EUE-TS-02001/index.html>

Seduma Yucatán. (2015). *GASES DE EFECTO INVERNADERO*. Obtenido de <http://www.ccpy.gob.mx/cambio-climatico/gases-efecto-invernadero.php#:~:text=Los%20Gases%20de%20Efecto%20Invernadero,propiedad%20causa%20el%20efecto%20invernadero>.

Sing Garha, N., García Mira, R., & González-Laxe, F. (07 de Septiembre de 2022). *Energy Transition Narratives in Spain: A Case Study of As Pontes. Individual and Collective Factors in Achieving Sustainable Development Goals*, 14. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/18/11177>

Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., S.K. Allen, J., Cambridge University Press, C. R., & Nueva York, N. E. (2013). *Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (S. P. (Francia), Ed.) Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf

Transnational Institute. (14 de Noviembre de 2022). *Transnational Institute - El Tratado de la Carta de la Energía es un acuerdo contra el clima. Firma la petición | Transnational Institute*. Obtenido de <https://www.tni.org/es/art%C3%ADculo/el-tratado-de-la-carta-de-la-energia-es-un-acuerdo-contra-el-clima-firma-la->

