



Facultad de Ciencias Humanas y Sociales
Grado en Relaciones
Internacionales

Trabajo Fin de Grado

El hidrógeno como
combustible del futuro

Estudiante: Diego Fernández Tuñón

Director: Juan Felipe Jung Lusiardo

Madrid, abril 2022

RESUMEN:

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en estudiar la viabilidad del hidrógeno como combustible del futuro. Consiste en un estudio de la situación actual de este elemento, las políticas y sus distintas aplicaciones para estudiar si puede llegar a descarbonizar la economía actual.

Existen varios tipos de hidrógeno, pero es el hidrógeno verde el que no contamina durante su proceso de producción y sobre el que se centrará el presente trabajo. A pesar de ello, aún no ha sido adoptado debido a ciertas barreras que presenta como son su coste de obtención, las infraestructuras y sus ventajas en las aplicaciones en diversos sectores.

Para estudiar la viabilidad de este elemento es importante estudiar las previsiones en cada factor que determina la aplicación del hidrógeno, así como las ventajas y desventajas respecto a otros combustibles.

Palabras clave: hidrógeno, combustible, infraestructuras, pilas de combustible.

ABSTRACT:

This Final Degree Project is focused on studying the viability of hydrogen as a fuel of the future. It consists of a study of the current situation of this element, the policies, and its different applications to study if it can decarbonize the current economy.

There are several types of hydrogen, but it is green hydrogen that does not pollute during its production process and on which this work will focus. Despite this, it has not yet been adopted due to certain barriers such as the cost of obtaining it, infrastructure, and its advantages in applications in various sectors.

In order to study the viability of this element, it is important to study the forecasts in each factor that determines the application of hydrogen, as well as the advantages and disadvantages with respect to other fuels.

Key words: hydrogen, fuel, infrastructure, fuel cells.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	6
3. METODOLOGÍA.....	6
4. EL HIDRÓGENO Y SUS PROPIEDADES	7
4.1. TIPOS DE HIDRÓGENO	7
4.2. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN.....	8
5. SITUACIÓN ACTUAL DEL HIDRÓGENO.....	9
5.2. PRINCIPALES USOS.....	12
5.3. FACTORES DEL INCREMENTO EN EL DESARROLLO.....	13
6. FACTORES CLAVES	15
6.1. COSTE DEL HIDRÓGENO	15
6.2. APOYO POLÍTICO.....	23
6.2.1. EUROPA.....	23
6.2.2. ASIA Y OCEANÍA	25
6.2.3. AMÉRICA	26
6.3. PROYECTOS.....	27
7. MERCADOS.....	28
7.1. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO	29
7.2. ELECTROLIZADORES.....	30
7.3. PILAS DE COMBUSTIBLE PARA VEHÍCULOS	30
7.4. PILAS DE COMBUSTIBLE PARA ENERGÍA ESTACIONARIA	31
8. APLICACIONES	31
8.1.1. TRANSPORTE DE CARRETERA.....	32
8.1.2. TRANSPORTE MARÍTIMO	32
8.1.3. AVIACIÓN	33
8.2. INDUSTRIA	34
8.3. ALMACENAMIENTO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	35
8.4. CALEFACCIÓN	36
9. RIESGOS.....	37
10. CONCLUSIÓN	38
11. ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS	40
12. BIBLIOGRAFÍA	41

1. INTRODUCCIÓN

El hidrógeno es el elemento más simple y abundante del universo, aproximadamente el 75% de la masa del universo está hecha de este elemento. Sin embargo, en la Tierra no se suele encontrar en forma libre, es decir, en estado gaseoso, si no combinado con otros elementos, como con el oxígeno formando agua (H_2O), con carbono formando hidrocarburos, o con otros elementos formando una infinidad de compuestos distintos. (El hidrógeno, s.f.).

Menos del 0,0001% de la atmósfera terrestre es hidrógeno, y la mayoría del hidrógeno accesible en la tierra está encerrado dentro de una molécula de agua. Más del 70% de la superficie de la tierra está cubierta de agua, pero solo el 3% es agua dulce (la que se necesita para pasar por un electrolizador) y solo el 0,5% es agua dulce accesible. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

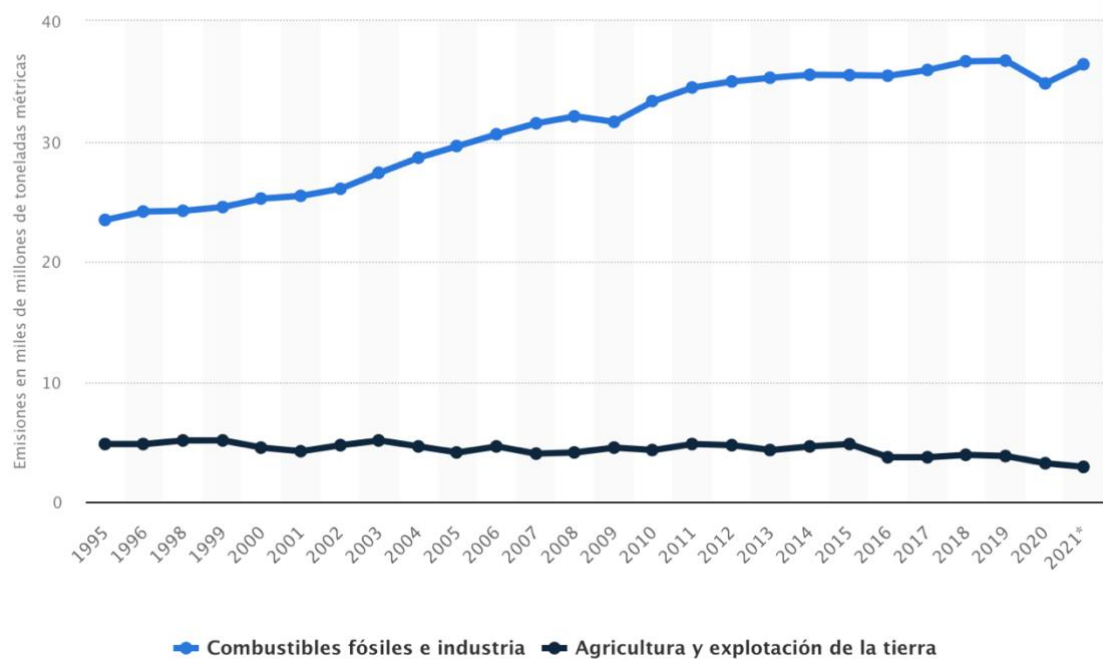
Este elemento se trata de un vector energético, es decir, una sustancia que almacena energía es una alternativa viable para el almacenamiento de energía para así no tener que producirla instantáneamente y poder liberarla posteriormente de forma controlada. A partir de él se puede obtener calor mediante el proceso de combustión, ya que se trata de un combustible con elevado poder calorífico; electricidad, mediante un proceso electroquímico, u otros productos empleándolo como materia prima de distintas reacciones químicas (combustibles sintéticos, fertilizantes...). (Lewis, Levi, & Green, 2021).

Este vector energético se caracteriza por su baja densidad energética, debido a que ocupa una gran cantidad de espacio en relación con la cantidad de energía que contiene, tanto en su forma comprimida como líquida, en comparación con el gas natural y diferentes productos petrolíferos.

A su vez, también este elemento también destaca por su alto contenido de energía en relación con la masa ya que contiene cantidades significativas de energía en relación con su peso. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

A lo largo de la historia la sociedad humana ha hecho uso principalmente de combustibles fósiles como fuente energética. Durante el siglo XIX, la principal fuente energética era el carbón y a partir del siglo XX hasta hoy en día la fuente energética dominante esta siendo el petróleo, pero la energía esta experimentando un cambio radical sin precedentes desde la Revolución Industrial en respuesta a la descarbonización, por lo tanto, es posible que se inicie la era del hidrógeno, como el combustible del futuro, una fuente energética renovable y sin emisiones de gases de efecto invernadero.

Gráfico 1: Emisiones mundiales de CO₂ de 1995 a 2021.



Fuente: Statista.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este TFG es investigar que medidas se están llevando a cabo en el mundo para adoptar el hidrógeno dentro de su economía, y de si este es factible que se convierta en el combustible del futuro y que otras aplicaciones puede llegar a tener para ayudar a la descarbonización. El objetivo es también tratar de entender en que se diferencia este ciclo de relevancia por el que esta pasando el hidrógeno de otros momentos en los que ha sido de gran importancia ya que se lleva usando desde comienzos del siglo XIX.

3. METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir con el objetivo del trabajo se llevará a cabo un análisis de la evolución de la demanda y la producción del hidrógeno a través de diferentes informes. También se realizará una comparación de las medidas que se están tomando en el mundo para conseguir adoptar una economía de hidrógeno. Por último, mediante las proyecciones de diferentes analistas, se estudiará los mercados existentes, así como las diferentes aplicaciones para analizar su viabilidad y los riesgos que presenta este vector energético con el objetivo de estudiar si es factible que el hidrógeno se convierta en el combustible del futuro.

4. EL HIDRÓGENO Y SUS PROPIEDADES

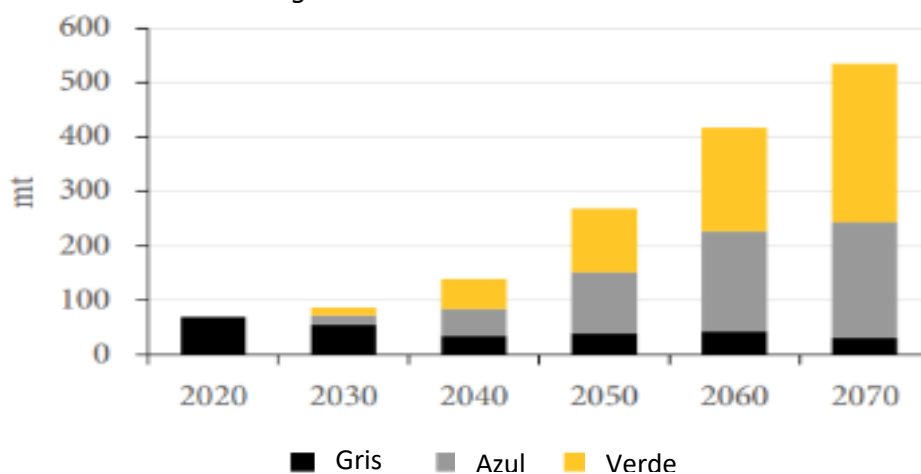
4.1. TIPOS DE HIDRÓGENO

Existen diferentes tipos de hidrógeno dependiendo de en que forma hayan sido producidos. De esta manera nos encontramos con cinco tipos cada uno asociado a un color distinto. Los tres principales colores son el gris, el azul y el verde.

El hidrógeno gris es el más dominante en la producción mundial de hidrógeno actualmente. Se obtiene mediante la reformación de metano por vapor a partir de gas natural. En este proceso se libera CO₂ a la atmósfera. Por otro lado, se encuentra el hidrógeno azul también conocido como “hidrógeno de bajo contenido de carbono”. Sigue un proceso similar de producción al del hidrógeno gris pero utiliza una tecnología de almacenamiento y captación de CO₂, por lo que es menos contaminante que el hidrógeno gris aunque se sigue liberando CO₂ en su producción. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021)

Por último, estaría el hidrógeno verde, que se produce a partir de energías renovables por lo que no emite CO₂ en su producción y de esa manera se convierte en la tecnología más limpia, es por ello que se espera que se convierta en el principal tipo de hidrógeno, una vez se consiga lograr alcanzar un precio comercial y competitivo para el hidrógeno verde.

Gráfico 2: Demanda de hidrógeno 2020-2070



Fuente: Redburn, IEA, *Global hydrogen production in the sustainable Development*.

En el gráfico 2 se puede observar la tendencia futura de los tres principales tipos de hidrógeno. Actualmente la producción está dominada por el hidrógeno gris dados sus menores costes de producción, pero se espera que tanto el tipo azul como sobretodo el hidrógeno de tipo verde vayan ganando protagonismo a medida que consigan tener un precio más competitivo reduciendo sus costes de producción.

Además de estos tres tipos, existen otros tipos de hidrógeno que es poco probable que sean significativas en el futuro como son el tipo marrón, producido a partir de la gasificación del carbón, el hidrógeno amarillo, producido a partir de la electrólisis, pero con energía nuclear como fuente de electricidad, y por último el hidrógeno de tipo turquesa, producido a partir de fuentes de energía de origen fósil, como el gas natural, sin emisiones contaminantes.

4.2. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN

Se puede obtener hidrógeno de diferentes maneras. Uno de los métodos más relevantes hoy en día y que se espera que se acabe imponiendo es la electrólisis del agua, pero también existen otros métodos como el reformado y la oxidación parcial.

a. Reformado

Actualmente, los procesos de reformado son los más comunes para producir hidrógeno. El proceso de reformado principal es el de reformado con vapor de agua también conocido como SMR. Este proceso se puede aplicar a diversos hidrocarburos y alcoholes, la mezcla de estos es conocida como petróleo bruto o "crudo". Es el proceso más utilizado debido a su disponibilidad y facilidad de manejo es gracias al gas natural. (Yolanda Morat & Linares Hurtado, 2007). El proceso consiste en una reacción catalítica de una mezcla de hidrocarburos y agua a una temperatura alta que acaba formando hidrógeno, monóxido de carbono y bióxido de carbono. (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2012).

b. Oxidación parcial

La oxidación parcial consiste en una oxidación incompleta de un hidrocarburo, como puede ser el gas natural, donde únicamente se oxida el carbono, quedando libre el hidrógeno, esta reacción se lleva a cabo a temperaturas de 800°C. (Yolanda Morat & Linares Hurtado, 2007). La presencia de CO puede erradicarse oxidándolo a CO₂ o si se trata con vapor de agua se puede llegar a generar más hidrógeno. (Mario Aguer Hortal, 2012).

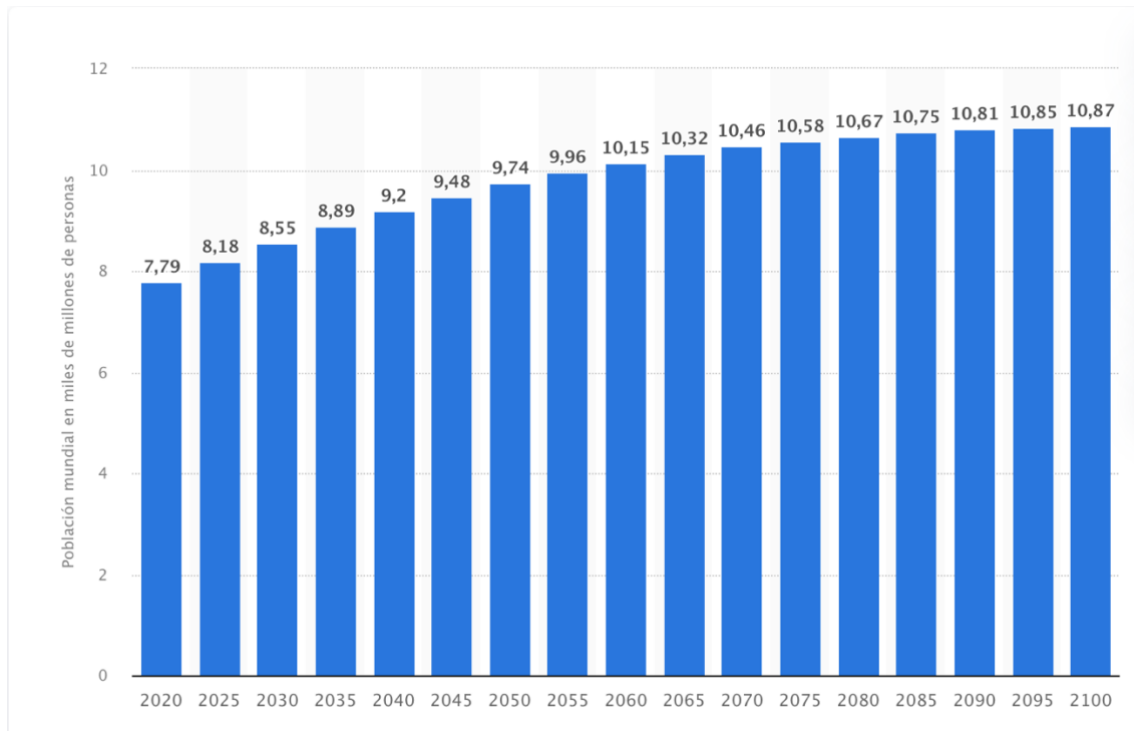
c. Electrólisis del agua

Es el procedimiento menos contaminante para producir hidrógeno. El proceso consiste en descomponer el agua en sus elementos que son el hidrógeno y oxígeno. Para llevar a cabo el proceso de electrólisis este se lleva a cabo gracias a un electrolizador que contiene un cátodo, con carga positiva, y un ánodo, con carga negativa que está separados por una membrana electrolítica. Al aplicar electricidad, procedente de energías renovables, a la molécula de agua, esta se rompe y parte de la molécula atraviesa la membrana dando como resultado partículas de hidrógeno en el cátodo. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

5. SITUACIÓN ACTUAL DEL HIDRÓGENO

El crecimiento económico y demográfico junto con los avances tecnológicos y las necesidades de avanzar hacia un mundo más limpio, respaldado por políticas de medioambiente, están afectando directamente a diversos sectores como el sector del transporte, el sector eléctrico o a la industria, donde se están buscando soluciones menos contaminantes, como el hidrógeno.

Gráfico 3: Previsión de la evolución de la población mundial desde 2020 hasta 2100 (en miles de millones).



Fuente: Statista.

La población mundial se prevé que siga creciendo a lo largo de los años, esperándose que alcance los 9.740 millones de personas en 2050 habiendo aumentado en 2 mil millones desde los 7.790 millones de personas de hoy en día. Se espera que este número siga incrementándose hasta casi alcanzar los 11.000 millones de personas en 2.100. (Fernández, 2019) Estos datos junto con el aumento de la esperanza de vida y natalidad han hecho que se aceleren los procesos migratorios y los procesos de urbanización, pero sobre todo que aumente considerablemente la demanda mundial en todos los sectores.

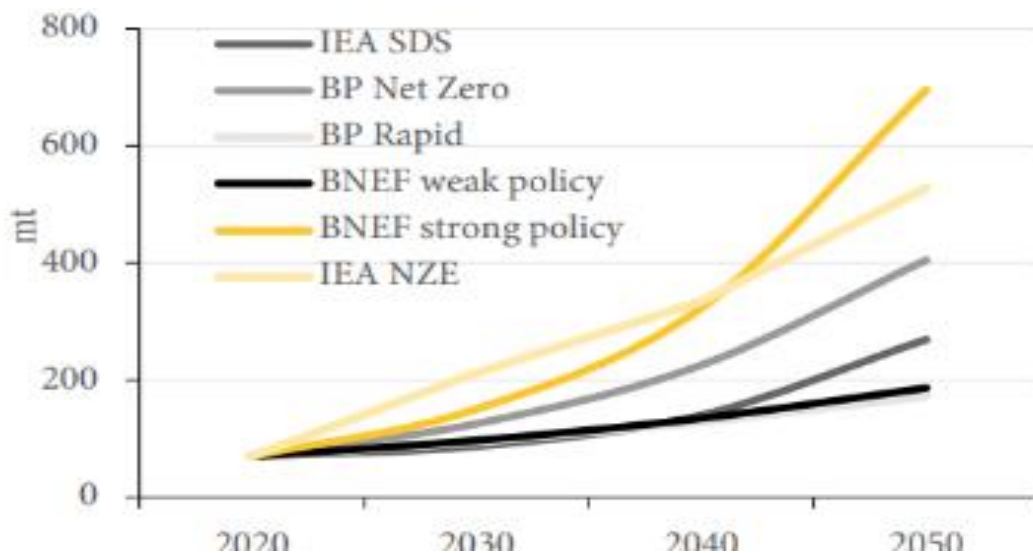
Además, nuestras vidas necesitarán cada vez más vatios, las últimas estimaciones publicadas a finales de 2019 por la Agencia Internacional de Energía (IEA) pronostican un incremento de la demanda mundial de energía en un rango de un 25% y un 30% hasta 2040, lo que en una economía como la actual que es dependiente del petróleo y del carbón se traduciría en más CO₂ y el agravamiento del cambio climático.

En cambio, si se consigue alcanzar una descarbonización estaríamos ante otro escenario, es decir, un mundo más sostenible, accesible y eficiente que estaría impulsado por energías limpias como el hidrógeno verde. (Hidrógeno verde, s.f.).

5.1. DEMANDA ACTUAL

La demanda global del hidrógeno según señala la IEA se ha triplicado desde 1975 hasta llegar a los 70 millones de toneladas anuales en 2018. Según diferentes estimaciones, la demanda potencial del hidrógeno para 2050 podría estar entre los 200 y 700 millones de toneladas. En el gráfico 3 se pueden observar los diferentes escenarios que se plantean acerca de la demanda del hidrógeno. Los escenarios más optimistas son el de una fuerte política de BloomberNEF seguido del escenario de cero emisiones netas de la IEA. Por debajo, se encuentran el escenario de BP, una compañía de energía, de cero emisiones netas para 2050 y el escenario de desarrollo sostenible de la IEA, los dos escenarios menos optimistas son el de una política débil de BloomberNEF y un escenario rápido de BP.

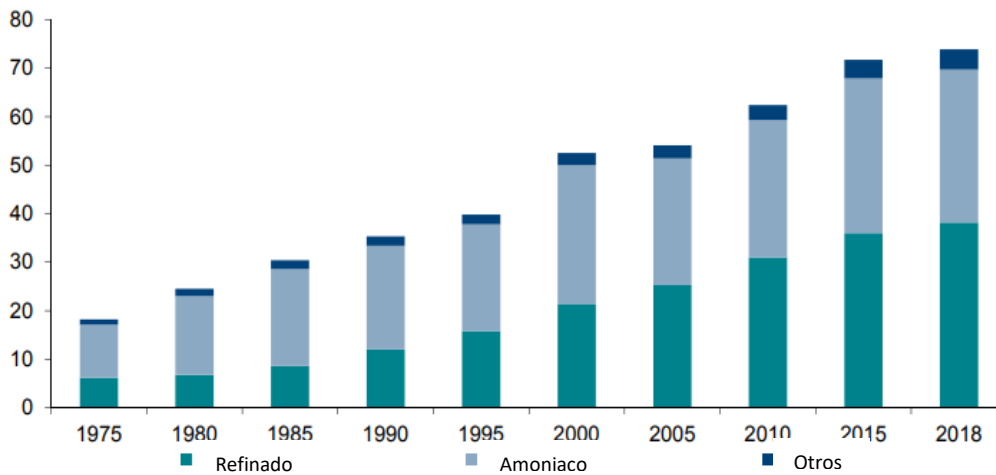
Gráfico 4: Escenarios de la demanda del hidrógeno 2020-2050



Source: Redburn, IEA, BNEF, BF

En el caso de la consultora estadounidense Bain & Company la demanda de este elemento para 2050 provendría el 80% del sector transporte y de la industria y el 20% restante de la energía, calefacción y otros usos. Por otro lado, los análisis de Bernstein estiman que para 2050 la demanda provenga principalmente de la industria con un 44%, de la calefacción y generación de energía con un 29% y del sector transporte con un 27%. En el gráfico 5 se puede observar el aumento de la demanda y de donde provendrá dicha demanda de hidrógeno según la IEA.

Gráfico 5: Demanda anual de hidrógeno (millones de toneladas)

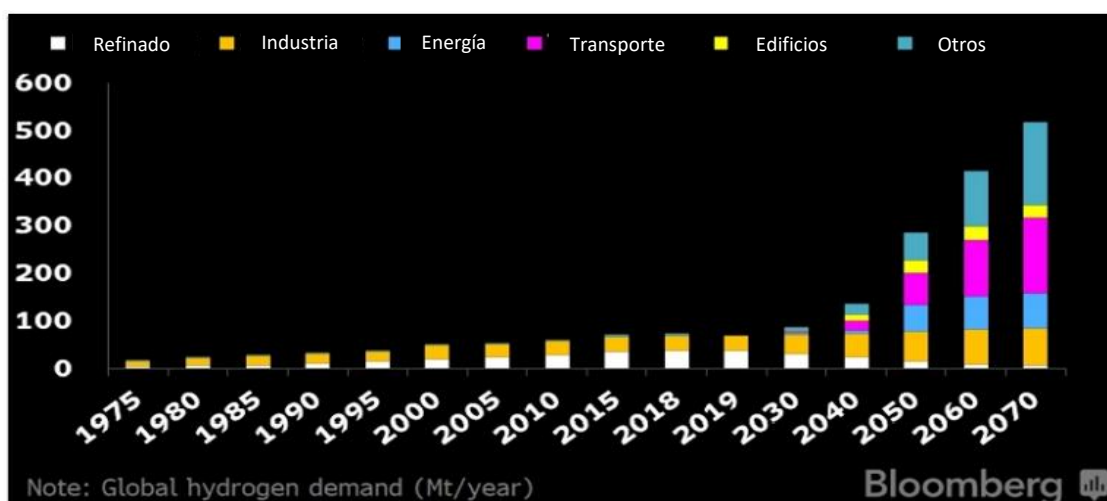


Source: IEA

5.2. PRINCIPALES USOS

Actualmente los dos principales usos que recibe el hidrógeno son el refinado de petróleo y la producción de amoniaco y en menor medida en la producción de metanol. Aunque se espera que se convierta relevante en otros usos como combustible para coches, aviones y barcos, para la calefacción, en la industria y en la generación de energía. En el gráfico 6, se pueden observar como desde 1975 hasta la actualidad el uso del hidrógeno ha sido dominado por los sectores de refino y el amoniaco.

Gráfico 6: Uso del hidrógeno 1975-2018



Source: IEA, BNP Paribas estimates

En la industria química, el amoníaco se produce a través del proceso Haber-Bosch en el que el hidrógeno y el nitrógeno atmosférico pasan por un catalizador a temperaturas y presiones elevadas. De esta producción el 80% se utiliza en la industria de los fertilizantes, aunque el amoníaco también se usa en otras aplicaciones industriales como en los refrigerantes, la fabricación y en la depuración del agua. Se espera que el mercado de amoníaco para fertilizantes crezca a una tasa compuesta anual del 3% en el futuro para alcanzar alrededor de 42 MT para el año 2050. (Beveridge, y otros, 2021).

5.3. FACTORES DEL INCREMENTO EN EL DESARROLLO

La industria y el hidrógeno siempre han tenido una relación. Este gas se lleva empleando desde comienzos del siglo XIX en dirigibles, coches y naves espaciales. En la actualidad la economía mundial se enfrenta a un proceso de descarbonización que es inaplazable, y que le otorgará más protagonismo al tipo verde, si se consigue que su producción se abarate en un 50% para 2030 según prevé el Consejo Mundial del Hidrógeno, será sin duda el combustible del futuro. (Hidrógeno verde, s.f.).

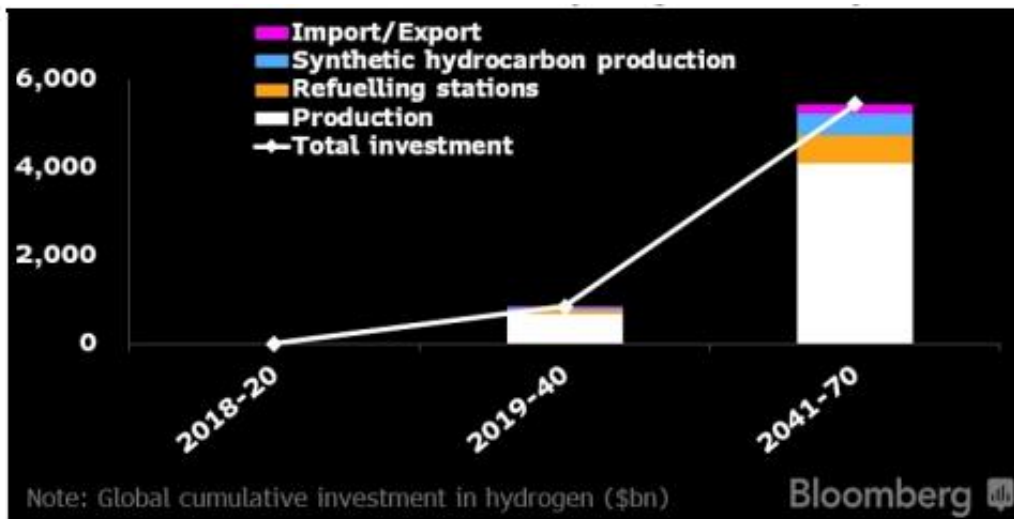
Durante su historia el hidrógeno ha pasado por diferentes ciclos en los que en alguno de ellos ha tenido gran importancia. Aun así, es hoy en día es cuando más relevancia esta teniendo debido a diferentes razones claves como son la caída en el coste de las energías renovables, la confianza en el efecto de las “curvas de aprendizaje”, una mayor ambición en torno al carbono, un apoyo político visible y una larga lista de proyectos propuestos.

Aun así, el principal acelerador del aumento en el desarrollo del hidrógeno durante este ciclo es una mayor preocupación por el cambio climático y una creciente ambición de los gobiernos por hacer decrecer las emisiones de carbono.

Este reciente impulso del hidrógeno y en especial del tipo verde, que es aquel que se produce con energías renovables, es un cúmulo de diferentes factores como son, un aumento de la disponibilidad y mejora de la eficiencia eólica y solar; el Acuerdo de París firmado en 2015, en el que muchos países y empresas prometieron alcanzar las cero emisiones netas para el año 2050; el auge de los criterios ESG (factores que convierten a una empresa en sostenible mediante su compromiso ambiental, social y de buen gobierno) y la inversión de impacto; el crecimiento en el interés por las compensaciones e impuestos de carbono; el aumento de los flujos de capital dentro del sector gracias a inversores y bancos que están buscando lograr tener carteras más verdes; y la ganancia de eficiencia en la producción de hidrógeno por la mejora de la tecnología y las economías de escala. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

Este vector energético se convertirá con mucha probabilidad en uno de los principales temas de inversión en el sector de la energía durante las próximas décadas, que se espera que vaya aumentando en gran medida. Durante el periodo de 2018-2020 las inversiones en hidrógeno promediaron alrededor de 1.5 mil millones de dólares por año, dato de Bloomberg NEF. Esta cifra seguramente aumente hasta los 38 mil millones de dólares por año en el periodo de 2019-2040 e incremente hasta alcanzar los 181 mil millones de dólares anuales durante el periodo de 2041-2070, según las proyecciones de la IEA. La mayor parte de estas inversiones estarán destinadas a la producción del hidrógeno, pero en un futuro el gasto en distribución será solamente de un 12%-16% hasta 2070. (Mammadov, 2021).

Gráfico 7: Inversiones acumuladas en hidrógeno a nivel mundial (\$bn).



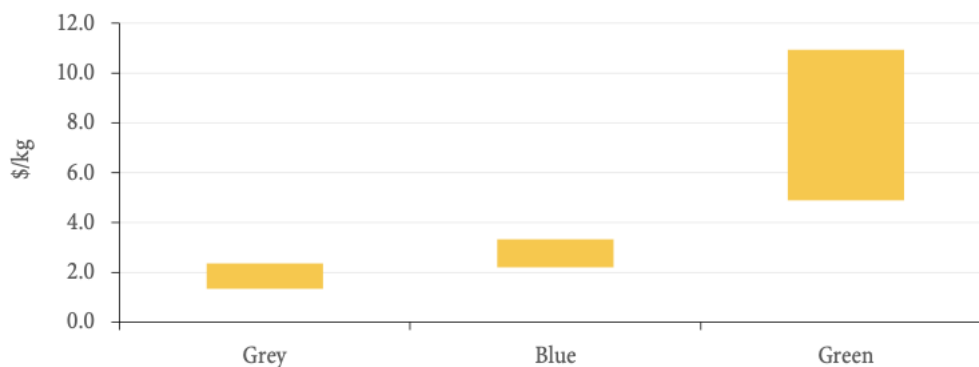
Fuente: IEA, BloombergNEF, Bloomberg Intelligence.

6. FACTORES CLAVES

6.1. COSTE DEL HIDRÓGENO

Aproximadamente desde 2010, el precio del tipo verde ha caído en un 60% de 10 dólares-15 dólares por kilogramo de hidrógeno hasta alcanzar los 5 dólares por kilogramo actuales. Con el objetivo de que el hidrógeno verde sea ampliamente adoptado es necesario que su precio caiga por debajo de los 2 dólares por kilogramo, que se estima que se alcance este precio en el año 2030 y se prevé que para el año 2050 se disminuya el precio del hidrógeno verde hasta encontrarse por debajo del dólar por kilogramo. (Beveridge, y otros, 2021).

Gráfico 8: Precio de equilibrio de la producción de hidrógeno en la actualidad.



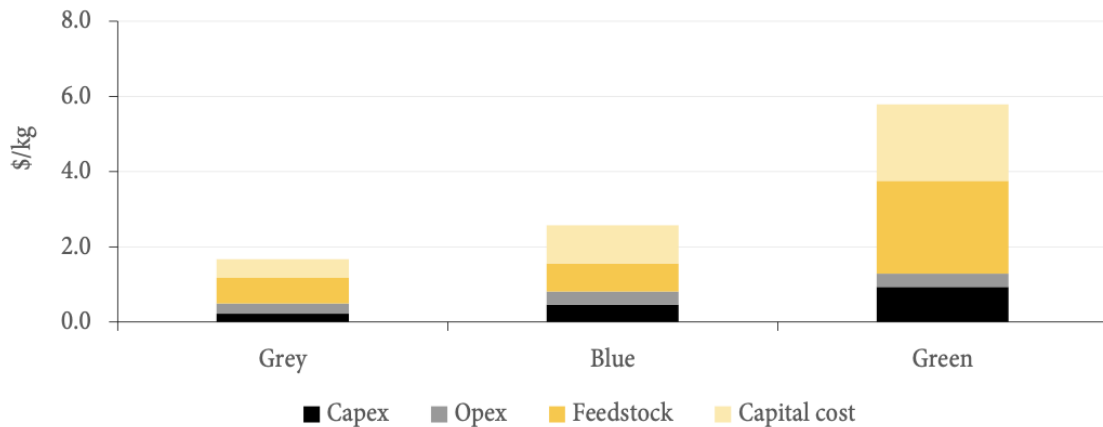
Fuente: Redburn, IEA.

Actualmente el tipo verde tiene el precio de equilibrio más alto respecto a los otros dos principales tipos de hidrógeno, por lo que es necesario que se abarate su precio para que pueda ser competitivo con el hidrógeno gris y azul, para que así pueda ser adoptado en todos los sectores. Como se puede observar en el gráfico 8, el tipo gris es el más barato de los tres principales hidrógenos, seguido del tipo azul que siempre será más caro que el tipo gris ya que hay que añadir el precio de la captura y almacenamiento de carbono. Tanto la IEA como BloombergNEF estiman que el CAPEX, es decir, las inversiones en bienes de capital, para una planta de producción de hidrógeno con un sistema de captura y almacenamiento de carbono es el doble que el de una planta de hidrógeno sin este sistema. También se estima un aumento en el OPEX, en otras palabras, el gasto operativo, relacionado con los costes de transporte y almacenamiento de CO₂ y un aumento de los costes de combustible. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

Por otro lado, el hidrógeno verde, se produce a través de la electrólisis del agua mediante el uso de energía renovables. Por lo tanto, el precio de este tipo depende del coste de las energías renovables, del factor de carga de las energías renovables que sean utilizadas y del coste del CAPEX. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

En el gráfico 9 podemos observar el precio de equilibrio de la producción de cada tipo de hidrógeno dividido entre los costes de CAPEX, OPEX, materias primas y capital. De esta manera se puede comprender mejor la sensibilidad de los costes de este elemento y estudiar su potencial caída de los costes. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

Gráfico 9: Desglose del coste de la producción del hidrógeno.

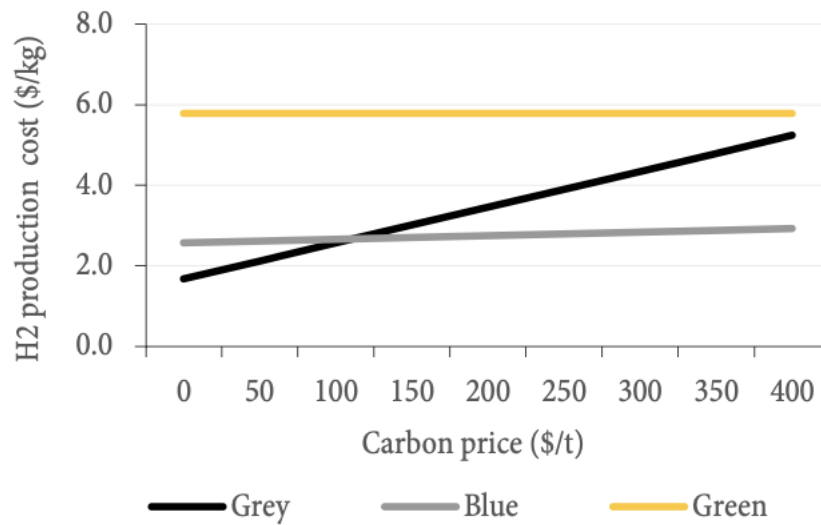


Fuente: Redburn, IEA, BNEF.

Los principales factores que es necesario estudiar para llegar a considerar si el hidrógeno verde puede llegar a ser competitivo con el resto de los tipos de hidrógeno son el precio del carbono, el precio del gas, el CAPEX, el factor de carga y el precio de las energías renovables. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

Si el precio del carbono alcanzara un precio de 100 dólares por tonelada el tipo azul sería competitivo con el hidrógeno gris pero sería necesario que alcanzara un precio superior a los 400 dólares por tonelada para que el tipo verde fuera competitivo con el gris, por lo que únicamente el precio del carbono no puede ayudar a que el hidrógeno verde se adapte globalmente. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

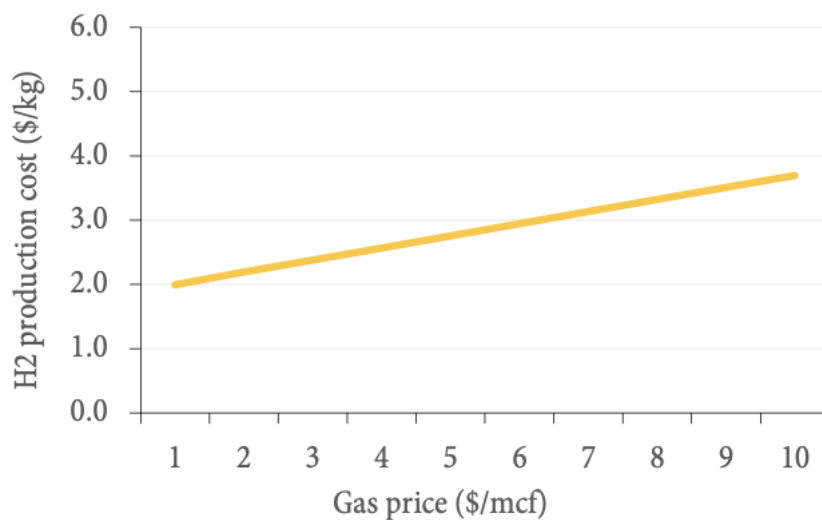
Gráfico 10: Sensibilidad del coste del hidrógeno al precio del carbono.



Fuente: Redburn.

El precio del gas es un factor clave para el tipo azul ya que su precio alcanza los 2 dólares por kilogramo con un precio del gas de 1 dólar por mil pies cúbicos (mcf). Por lo tanto, es importante que la producción de hidrógeno azul se lleve a cabo en aquellas regiones con facilidad para acceder al gas y donde este se encuentre también a un bajo precio. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

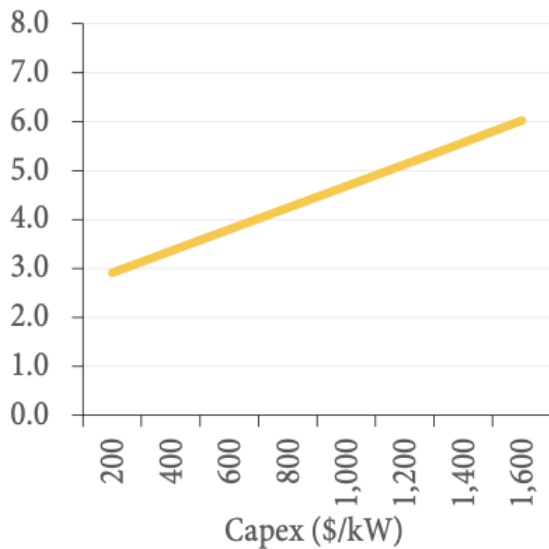
Gráfico 11: Sensibilidad del coste del hidrógeno azul a los precios del gas.



Fuente: Redburn.

El CAPEX en este caso se estima que la inversión en electrolizadores, que son los aparatos que llevan a cabo la electrólisis para producir hidrógeno verde, es actualmente de aproximadamente 1.500 dólares por kW. Entonces este es un factor que puede influir en la caída del precio del hidrógeno verde ya que el precio cae por debajo de los 4 dólares el kilogramo a un precio del electrolizador de 800 dólares el kW. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

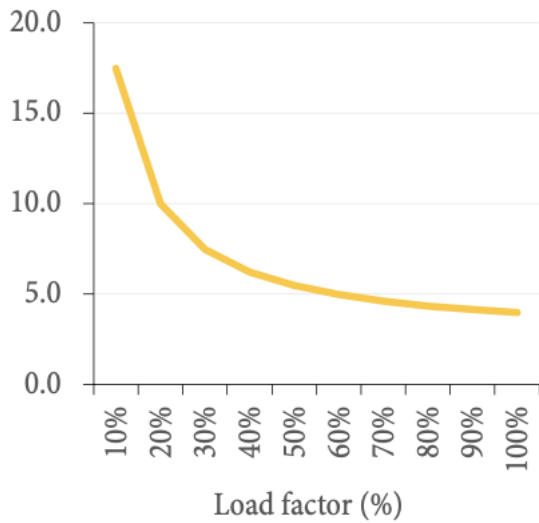
Gráfico 12: Sensibilidad del precio del hidrógeno verde al CAPEX.



Fuente: Redburn.

El precio del hidrógeno verde también es muy sensible al factor de carga de las energías renovables, que es la carga promedio dividida por la carga máxima durante un espacio de tiempo específico, debido a que determina la utilización del electrolizador y su volumen. Con poco factor de carga el precio del hidrógeno verde aumenta drásticamente. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

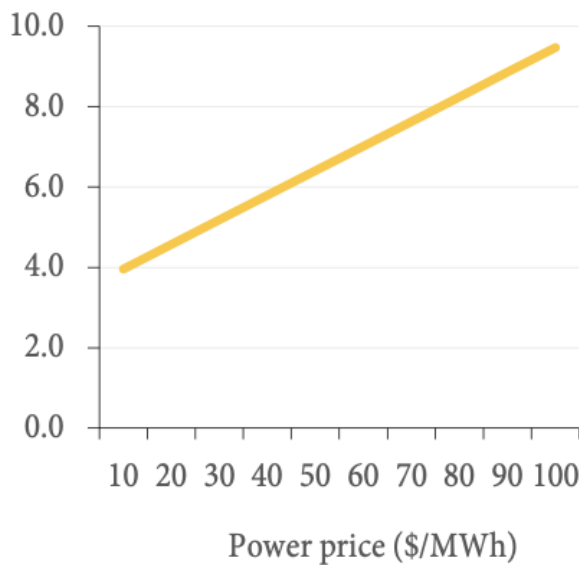
Gráfico 13: Sensibilidad del precio del hidrógeno verde al factor de carga.



Fuente: Redburn.

Por último, en cuanto al precio de las energías renovables existe una sensibilidad lineal por parte del coste del hidrógeno verde. Aunque la energía renovable fuera gratuita, el CAPEX y el OPEX del electrolizador seguirían requiriendo un precio de incentivo de más de 3 dólares/kg. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

Gráfico 14: Sensibilidad del precio del hidrógeno verde al coste de las energías renovables.



Fuente: Redburn.

Del análisis que se ha realizado anteriormente sobre las sensibilidades del precio del hidrógeno verde a distintos factores se pueden obtener diferentes conclusiones. Para empezar, es muy importante la geografía, producir el hidrógeno verde en un lugar donde las energías renovables sean fácilmente accesibles y sean baratas es fundamental. También, es importante que el precio de los electrolizadores decaiga para poder competir con el tipo gris y en último lugar, el aumento de los precios del carbono puede llegar a ayudar a acelerar un equilibrio entre los tres tipos de hidrógeno.

Tras analizar las sensibilidades del precio de este vector energético a diferentes factores, a continuación, se estudiará un escenario neutral donde el coste del hidrógeno verde puede alcanzar un precio de 2 dólares por kilogramo para 2030 a través de 5 áreas distintas.

En primer lugar, los fabricantes de electrolizadores se encuentran aumentando su eficiencia y capacidad de fabricación lo que supondrá un gran ahorro en gastos. La compañía de electrolizadores ITM Power espera que los electrolizadores de tipo PEM sufran una caída en su precio de 900€ por kW a 350€ por kW para el final de la década. Por su parte, la empresa Nel espera que los electrolizadores de tipo alcalino decaigan a medida que aumente la capacidad de producción hasta los 320€. Esto supone que el coste de los electrolizadores podría ir desde los 1.500 dólares por kW de la actualidad hasta los 400 dólares por kW en 2030, lo que supondría una caída en el precio del hidrógeno verde de aproximadamente de 2,2 dólares por kilogramo. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

En cuanto al OPEX, el aumento de la producción en escala y la experiencia ayudarán a reducir estos gastos. Asumiendo una reducción de los gastos operativos en un 50% esto supondría una caída del precio del hidrógeno verde en aproximadamente 0,2 dólares por kilogramo. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

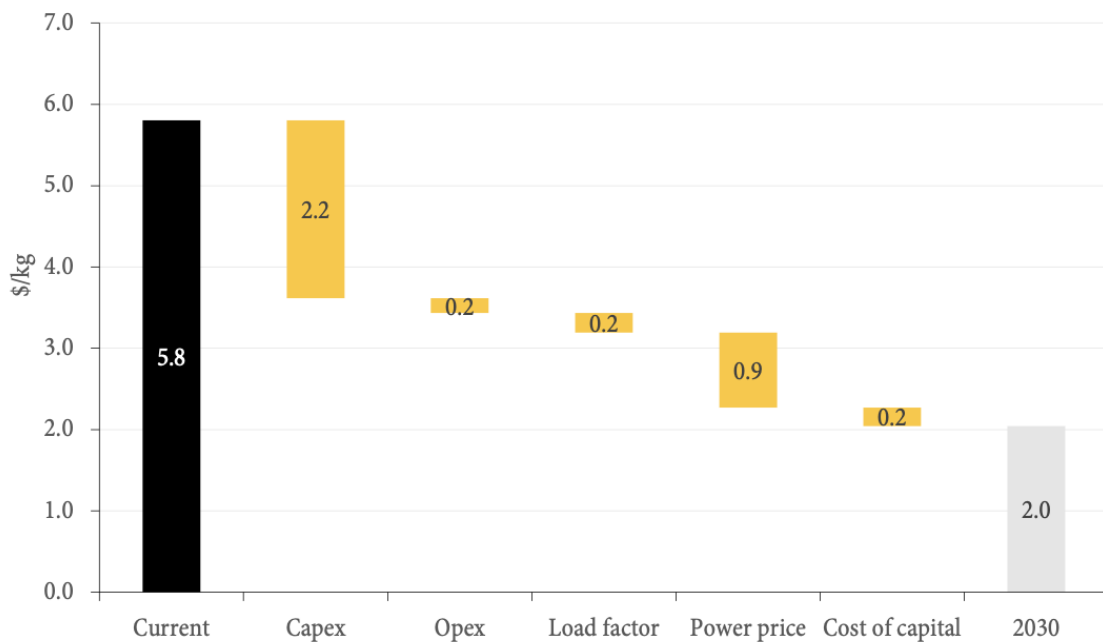
En tercer lugar, obtener energía solar y eólica de los lugares correctos donde esta energía es más accesible pueden hacer aumentar el factor de carga de un 45% a un 60% lo que reduciría el coste del hidrógeno verde en aproximadamente 0,2 dólares por kilogramo. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

Actualmente, los precios de las energías renovables están en una caída continua. Una reducción del coste de las energías renovables de 40 dólares por MWh a 25 dólares por MWh para 2030 reduciría el coste del hidrógeno en aproximadamente 0,9 dólares por kilogramo. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

Por último, una bajada del coste del capital de un 10% a un 5%, ya que existen cada vez más inversores buscando oportunidades sostenibles y renovables como el hidrógeno, supondría una caída en el coste del hidrógeno verde de aproximadamente 0,2 dólares por kilogramo. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021).

Alcanzar la barrera de los 2 dólares por kilogramo en cuanto al precio del tipo verde supondría empezar a ser económicamente competitivo con el resto de los tipos de hidrógeno y poder ser ampliamente adoptado por distintos sectores.

Gráfico 15: Camino de descenso del precio del hidrógeno verde para 2030.



Fuente: Redburn.

6.2. APOYO POLÍTICO

Un elemento esencial para el “boom” del hidrógeno es el apoyo que está recibiendo por parte de los gobiernos, tanto en cuestiones regulatorias como de ayudas. Desde comienzos del año 2020, las políticas sobre este vector energético han progresado rápidamente, se ha producido una avalancha de anuncios de estrategias sobretodo por parte de países de Europa, pero también de algún país asiático.

En mediados de 2021, había 75 países que habían anunciado su ambición por lograr cero emisiones netas de carbono, esto incluye a 30 países que han publicado sus hojas de ruta para traer el hidrógeno en su mix de energía, 13 países que tienen sus estrategias bien definidas y otros 11 países que se espera que publiquen sus rutas en el próximo año o dos. Aun así, ha habido un gran compromiso en cuanto al gasto público a realizar en proyectos de hidrógeno, y muchos países han establecido objetivos sobre la capacidad de los electrolizadores y sobre los costes de producción del hidrógeno. Juntando todos los objetivos establecidos se alcanzaría una capacidad mundial de los electrolizadores de 70GW para 2030, lo que supondría superar la barrera de los 65GW, que el Consejo del Hidrógeno cree que es la capacidad necesaria para alcanzar el punto de equilibrio entre el hidrógeno gris y el verde. Por lo tanto, si se cumplen los objetivos establecidos, para el año 2030 podría ser ampliamente adoptado. (Beveridge, y otros, 2021).

6.2.1. EUROPA

En 2020, la Unión Europea se fijó el objetivo de alcanzar una capacidad 40GW de electrolizadores para producir hidrógeno verde para el año 2030 y junto al objetivo del Reino Unido de llegar a tener una capacidad de 5GW para el mismo año, supondría una capacidad de 45GW para 2030 para todo Europa. (Beveridge, y otros, 2021).

En julio de 2020, la Comisión de la Unión Europea puso en marcha la Estrategia de la Unión Europea del hidrógeno, la cual tiene como principal objetivo de Europa es producir hidrógeno verde a partir de energías renovables, reduciendo su precio rápidamente mediante el despliegue de fábricas de hidrógeno verde.

La estrategia puesta en marcha por la Comisión de la Unión Europea requiere que todos los estados miembros redacten su estrategia para el hidrógeno y la descarbonización en tres fases:

- Fase 1: en esta primera fase empieza en 2020 y durará hasta 2024 y en ella se requiere la descarbonización de la actual producción de hidrógeno mediante la instalación de al menos 6 GW de electrolizadores que produzcan al menos 1 millón de toneladas de hidrógeno verde. (Lewis, Levi, & Green, 2021).
- Fase 2: la segunda fase empezará en 2025 y estará presente hasta 2030. En esta fase se aumentará la instalación de la capacidad de producción de los electrolizadores para alcanzar los 40Gw para 2030, produciendo al menos hasta 10 millones de toneladas de hidrógeno verde. De esta manera se espera que tenga un uso ampliado en varias industrias como la fabricación de acero, camiones, barcos y ferrocarriles. (Lewis, Levi, & Green, 2021).
- Fase 3: la última fase empezará en 2030 y en ella se exige una expansión del uso de hidrógeno verde a sectores que no se pueden descarbonizar de otra manera para 2050. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

Por su parte el Reino Unido anunció a finales de 2020 su plan de Estímulo Verde a finales de 2020 que tiene el objetivo de instalar 5GW para 2030 para producir hidrógeno con bajas emisiones de carbono. Se están centrande más en la transición hacia este elemento sin darle tanta importancia al tipo de hidrógeno. (Lewis, Levi, & Green, 2021). La combinación en la producción de hidrógeno azul y verde puede ayudar a hacer que la demanda de este vector energético se incremente y así dar tiempo a que el hidrógeno verde vaya madurando en un mercado más establecido.

6.2.2. ASIA Y OCEANÍA

China es el país que emite más gases de efecto invernadero en el mundo, un lugar que se espera que mantenga durante las próximas décadas. Aún así se ha el gigante asiático se ha comprometido en alcanzar las cero emisiones netas para el año 2060, pero se duda mucho de su capacidad para alcanzar dicho objetivo. (Lewis, Levi, & Green, 2021)

Para conseguir el objetivo marcado para 2060, el gobierno chino quiere conseguir tener 10.000 vehículos de pila de combustible de hidrógeno para 2025 junto con 80 estaciones de servicio de hidrógeno y seguir trabajando para en 2030 alcanzar un millón de vehículos de pila de combustible en las carreteras. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

Japón por su parte tiene seguramente la estrategia de hidrógeno más ambiciosa de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) a parte de los de la Unión Europea. Los puntos más importantes de la estrategia de Japón son la adquisición de 300.000 toneladas de hidrógeno al año para 2030; lograr reducir el coste de este elemento a 30 yenes por m³ lo que equivale a 3 dólares por kilogramo; desarrollar cadenas de suministro internacionales, utilizar el amoníaco, un derivado del hidrógeno, en la generación de energía; e incrementar el número actual de vehículos de pila de combustible de 2.500 a 800.000 para 2030. (Evans, 2020). Un factor clave en la estrategia de Japón es la utilización potencial de amoníaco en la producción de energía, que permitiría la importación de hidrógeno a un menor coste sin suponer una pérdida de energía como supone la conversión de amoníaco a hidrógeno.

Corea a diferencia del resto ha establecido su camino hacia una economía de hidrógeno a largo plazo, estableciendo la mayoría de sus objetivos para el año 2040. Entre sus propósitos se encuentra conseguir tener 6,2 millones de vehículos de pila de combustible, 1.200 estaciones de recarga de hidrógeno, 41.000 autobuses de pila de combustible y hasta 15GW de pilas de combustible para producir energía. (Evans, 2020).

Por último, Australia estableció su estrategia del hidrógeno a finales del año 2019, de forma agresiva. Su ruta se centra principalmente en aprovechar el potencial de exportación del país, mediante sus grandes recursos solares y eólicos para producir hidrógeno verde a un menor coste y de esta manera no perder la posición de gran exportador que tiene actualmente con el carbón, ya que se prevé que su demanda decaiga. (Evans, 2020). Australia tiene dos ventajas a la hora de exportar hidrógeno por un lado sus grandes extensiones de terreno donde puede producir energía solar y eólica con el fin de alimentar a los electrolizadores, y en segundo lugar un abundante suministro de agua. Aún así, no existen objetivos claros ni fondos para apoyar estos esfuerzos. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

6.2.3. AMÉRICA

En América, los Estados Unidos se están poniendo al día ya que mientras muchos países ponían en marcha sus estrategias para alcanzar una economía de hidrógeno, el país norteamericano no lo ha hecho y esto hace que se quede atrás con respecto a Europa y China en el impulso del hidrógeno verde. Sin embargo, el estado de California ha estado durante mucho tiempo al frente de los esfuerzos para promover este elemento. California cuenta con 42 estaciones de recarga, sigue hoy en día otorgando financiamiento a futuros proyectos y las regulaciones en cuanto al porcentaje de producción que debe provenir de energías renovables son específicas. La política de este estado cuenta también con el apoyo del Programa de vehículos sin emisiones, que exige una proporción creciente de venta de vehículos ya sean eléctricos o de pila de combustible. (Evans, 2020).

Con la llegada del actual presidente de los Estados Unidos Joe Biden, el momentum de la descarbonización nunca había sido tan alto y ha prometido reducir las emisiones en un 50% para 2030 y alcanzar la cero emisiones netas para el año 2050, pero aun así no cuentan con estrategia de hidrógeno. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

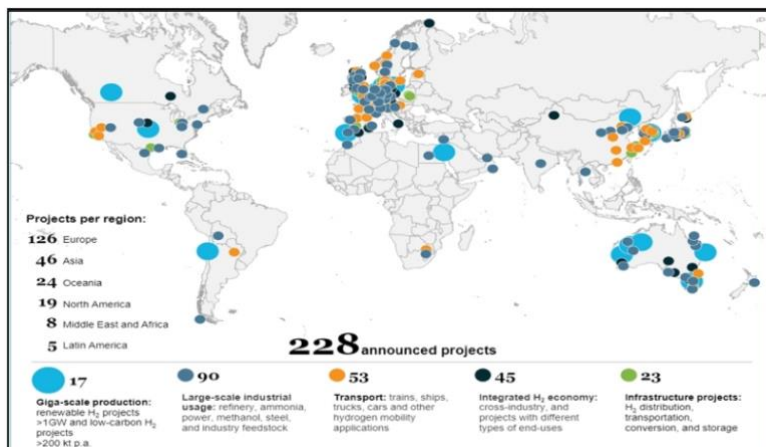
Canadá propuso su estrategia del hidrógeno a finales de 2020 y consiste en una mezcla equilibrada entre el hidrógeno verde y el azul, ya que es un país que cuenta con un gran suministro de gas natural a bajo coste. (Evans, 2020).

Dentro de Sudamérica se encuentra Chile que anunció su estrategia de hidrógeno en 2020 e identificó este vector energético como una solución para poder descarbonizar su economía y además también como una nueva industria que ayudará a transformar un país que es dependiente de la minería y de la exportación de recursos no renovables. Entre los objetivos que se ha propuesto Chile se encuentran la instalación de 5GW de capacidad para los electrolizadora y aumentarla hasta 25GW para 2030. Durante la primera etapa de la ruta hacia una economía de hidrógeno el país se centrará en sustituir el hidrógeno gris, que es contaminante, por el tipo verde producido localmente, para continuar su camino descarbonizando distintas industrias. Este país también se ha fijado el objetivo de comenzar a exportar amoníaco verde para el año 2030 y exportar hidrógeno verde la próxima década. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

6.3. PROYECTOS

Junto con el apoyo político que se le está dando al hidrógeno, también existe una larga lista de proyectos propuestos a favor de impulsar el desarrollo de este elemento y es la lista más larga de toda la historia.

Figura 1: Proyectos de hidrógeno anunciados



Fuente: Consejo del Hidrógeno, McKinsey

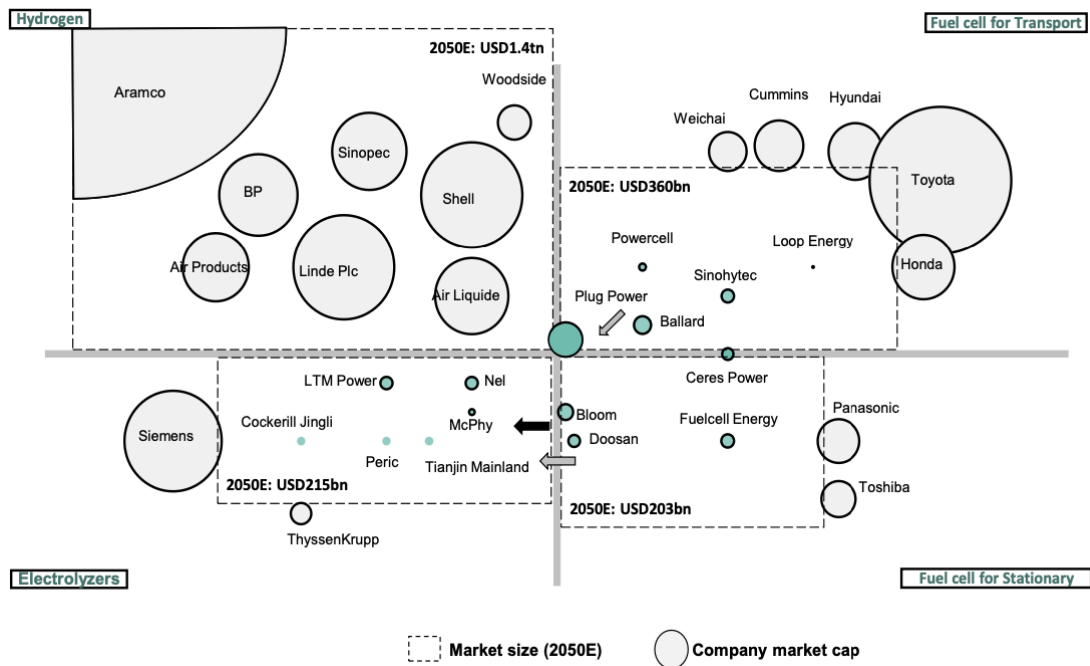
Se han anunciado aproximadamente 228 proyectos a lo largo de todo el mundo. Europa es líder en cuanto número de proyectos anunciados, con aproximadamente 126 proyectos, gracias a sus políticas a favor del clima y los objetivos de cero emisiones netas. Otras regiones que tienen una menor densidad de población, pero cuentan con mejores recursos solares y eólicos, es probable que acaben igualando los niveles de Europa ya que con el paso del tiempo la tecnología estará más desarrollada y tanto los costes de producción como de transporte se abaratarán. Arabia Saudí y el norte de África tiene un gran potencial para acabar convirtiéndose en proveedores de hidrógeno para Europa de la misma manera, Australia podría exportar hidrógeno a Corea del Sur y Japón, y los países latinoamericanos como Chile podrían acabar exportando a los Estados Unidos. (Mammadov, 2021).

7. MERCADOS

Se espera que el hidrógeno tenga un papel fundamental en la descarbonización de la energía en varios sectores en las próximas décadas. Es un elemento alto en densidad energética y sin emisiones de carbono además de ser muy versátil lo que le permitirá que sea ampliamente adoptado en diferentes sectores ayudando a acabar con las emisiones de carbono.

El tamaño del mercado del hidrógeno es enorme se espera que tenga un mercado total o tamaño del mercado objetivo (TAM) de 2,5 trillones de dólares sin tener en cuenta la infraestructura del hidrógeno. (Beveridge, y otros, 2021).

Figura 2: Mercado del hidrógeno para 2050.



Fuente: Bloomberg y Bernstein.

7.1. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

El mercado del hidrógeno que se espera que tenga mayor tamaño es el de la producción de este elemento con un tamaño en 2050 de 1,4 trillones de dólares. Se prevé que este mercado sea muy competitivo, donde es requerido un gran capital para participar y con márgenes bajos en la mayoría de los casos. Por eso se espera que este dominado con empresas con grandes balances debido a las necesidades de capital. Serán empresas petroleras y empresas de gas industrial las que intenten dominar este mercado dando un paso hacia la descarbonización. (Beveridge, y otros, 2021). Las empresas que se espera que tengan más tamaño en este mercado en el año 2050 son la petrolera saudí Aramco, la empresa de hidrocarburos Shell o la compañía mas grande del mundo en gas industrial Linde, entre otras.

7.2. ELECTROLIZADORES

La industria mundial de los electrolizadores es actualmente pequeña, pero se espera que tenga un gran crecimiento. Los electrolizadores son utilizados para producir hidrógeno verde por lo que una vez se abaraten sus costes y sea más ampliamente adoptado directamente aumentará el mercado de electrolizadores. (Beveridge, y otros, 2021).

Se espera que la demanda de electrolizadores se multiplique por ochenta en esta década y por diecisiete hasta el año 2050. En este año se espera que el mercado tenga un tamaño de 215.000 millones de dólares. (Low, de los Santos, Toyne, & Joyner, 2021). Se espera que sea un mercado competitivo con varias empresas chinas que no cotizan en bolsa, que probablemente compitan por cuota de mercado, aunque en su mayoría serán empresas especializadas en electrolizadores. (Beveridge, y otros, 2021).

La gran incógnita dentro de este mercado es que tipo de electrolizador será el más dominante. Actualmente son los electrolizadores alcalinos la tecnología más madura y comercial aunque se espera que los electrolizadores PEM vayan ganando cuota de mercado debido a su gran flexibilidad y capacidad para adaptarse a la variabilidad de las energías renovables, también existen un tercer tipo que son los electrolizadores SOEC que no se comercializan aún pero necesitan menos energía al operar a altas temperaturas y tienen el potencial de ser más eficientes que los electrolizadores alcalinos y PEM pero al operar a altas temperaturas aún existen problemas respecto a la durabilidad de sus componentes y su ajuste a los requerimientos de las energías renovables.

7.3. PILAS DE COMBUSTIBLE PARA VEHÍCULOS

El sector del transporte es el mayor mercado al que pueden llegar las pilas de combustible, el mercado de las pilas de combustible para transporte se espera que sea el segundo más grande con un TAM de 360.000 millones de dólares en 2050. (Beveridge, y otros, 2021)

Dentro de este mercado nos encontramos una división, por un lado, están los vehículos ligeros para pasajeros que se espera que sea un sector dominado por los actuales fabricantes de coches y por otro lado las pilas de combustible para el transporte pesado que será un sector dominado por empresas de pequeña capitalización como son Plug Power, Ballard, Powercell o Loop Energy. Se espera que este mercado sea competitivo con unos grandes márgenes y rentable debido a las barreras de entrada que existen. (Beveridge, y otros, 2021).

7.4. PILAS DE COMBUSTIBLE PARA ENERGÍA ESTACIONARIA

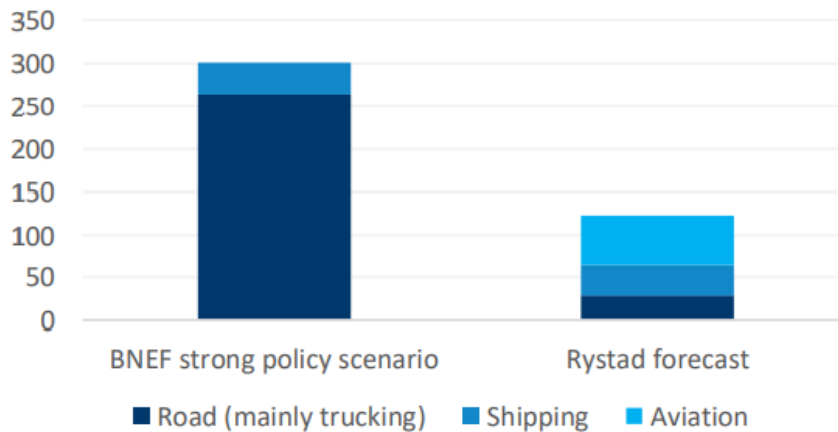
En cuanto al mercado de pilas de combustible para energía estacionaria se espera que tenga un tamaño de mercado de 200.000 millones de dólares en ventas anuales en 2050. Las principales aplicaciones de las pilas de combustible de hidrógeno dentro de este mercado son la energía de reserva y el equilibrio de la red. Actualmente las empresas de pilas de combustible de óxido sólido (SOFC) tienen gran cuota de mercado debido a la gran eficiencia de la tecnología de pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) pero las pilas de combustible PEM también buscarán su hueco en el mercado y con opción de captar una importante cuota de mercado dada su mayor flexibilidad para combinarse con las energías renovables. (Beveridge, y otros, 2021).

8. APLICACIONES

8.1. TRANSPORTE

La mayor oportunidad potencial para el hidrógeno es su utilización como combustible en el transporte. Tanto BloombergNEF como Rystad asumen que el transporte podría representar un tercio de la demanda de hidrógeno para el año 2050, sin embargo, el pronóstico de BloombergNEF prevé el 75% de esta demanda impulsada por los camiones de larga distancia, mientras que Rystad cree que las baterías dominarán el mercado del transporte por carretera y el hidrógeno sería en gran medida relevante en el transporte marítimo y en el sector de la aviación.

Gráfico 16: Demanda del hidrógeno en el sector del transporte en 2050 (millones de toneladas).



Fuente: BNEF, Rystad Energy, BTIG Research

8.1.1. TRANSPORTE DE CARRETERA

En cuanto al transporte por carretera, este lleva siendo dominado por BEVs (vehículos eléctricos de batería), aunque las FCEVs (vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno) tienen algunas ventajas respecto a los vehículos eléctricos como son un tiempo de carga más rápido, transmisiones más ligeras y mayor autonomía, pero actualmente estas ventajas no son lo suficientemente significativas para superar los aspectos positivos de la infraestructura ya establecida para los vehículos eléctricos de batería. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

Lo más probable es que sea cuestión de tiempo que las desventajas de los vehículos eléctricos de batería se reduzcan a medida que se vaya realizando avances tecnológicos por lo que el mayor obstáculo para el despegue de los vehículos eléctricos de pila de combustible es la falta de infraestructura en comparación con la tecnología de baterías.

8.1.2. TRANSPORTE MARÍTIMO

El hidrógeno también tendrá su hueco dentro del transporte marítimo donde se distinguen dos sectores, por un lado, la navegación de corta distancia y por otro lado la navegación de alta mar.

En cuanto a la navegación a corta distancia a pesar de que los ferries pueden funcionar con baterías, Noruega se espera para recibir el primer ferry de hidrógeno en 2022. El mercado de la navegación a corta distancia combinará tanto los ferries de baterías eléctricas con los ferries de pila de combustible de hidrógeno dependiendo del ferry. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

Por otro lado, está el sector de la navegación de alta mar donde los barcos que navegan largas distancias requieren significativamente más energía de la que una batería puede ofrecer, esto significa que puede ser un potencial sector para que el hidrógeno o el amoníaco sean el principal remplazo para el combustible de petróleo. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

8.1.3. AVIACIÓN

El tercer mercado dentro del sector de los transportes es el de la aviación. Dentro de este mercado existen limitaciones estrictas en cuanto al peso y el espacio que permiten a un avión volar y llevar la carga útil necesaria. Aunque el hidrógeno lleva tres veces menos energía por unidad que el combustible de petróleo, utilizado actualmente, necesita cinco veces el volumen de espacio para que sea transportado. Dentro del mercado de la aviación se distinguen dos grupos, en primer lugar, los trayectos cortos y en segundo lugar los trayectos largos. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

Para los trayectos cortos, las pilas de combustible de hidrógeno son una opción viable. El menor peso que supone una pila de combustible frente a una batería eléctrica puede ser una ventaja en especial en aviones algo más grandes porque los aviones privados podrían ser completamente eléctricos. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

En cuanto a los trayectos largos son un grupo difícil debido a que requieren una gran cantidad de combustible para realizar su viaje, pero este ha de ser poco pesado y denso en energía y el uso de hidrógeno como combustible ocuparía una cantidad enorme de espacio.

Por su parte, Airbus está intentando encontrar el camino para conseguir usar hidrógeno en trayectos largos mediante su programa ZEROe destinado a desarrollar aviones comerciales propulsados por hidrógeno para 2035. El punto clave para el uso de hidrógeno puede encontrarse en los vuelos de media distancia. (Lewis, Levi, & Green, 2021).

8.2. INDUSTRIA

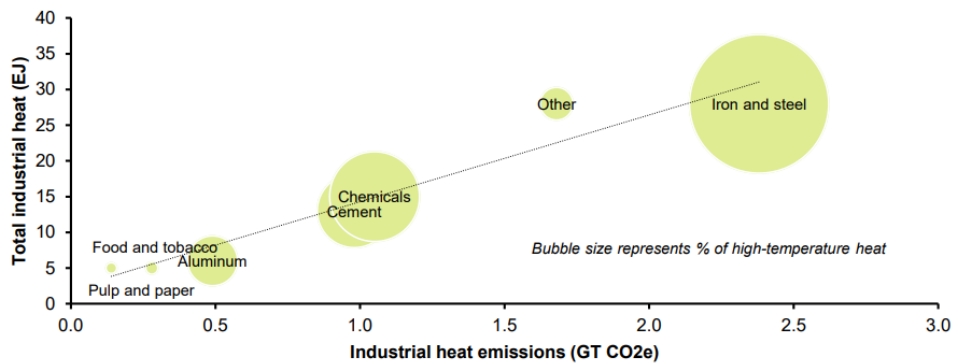
La calefacción se trata de una importante fuente de consumo de energía que representa el 25% total de la demanda de energía y genera el 15% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. (Beveridge, y otros, 2021).

Las principales fuentes de calor industrial en la actualidad son los combustibles fósiles y se divide aproximadamente entre un 65% de carbón, un 20% de gas y un 10% de petróleo. Existen tres tipos de calor industrial que son calor de alta temperatura, de media temperatura y de baja temperatura. (Beveridge, y otros, 2021).

El calor industrial de baja temperatura y media temperatura puede ser generado por hornos eléctricos y quemadores que pueden ser alimentados por energía renovable. Sin embargo, el calor a alta temperatura cuenta con menos alternativas, la única opción viable es el hidrógeno que puede generar calor industrial libre de más de 1.000 °C. (Beveridge, y otros, 2021).

En la industria el calentamiento de alta temperatura se utiliza sobretodo para la producción de hierro, acero, cemento, aluminio y vidrio. En cuanto a la producción de acero, el hidrógeno se utiliza como materia prima para procesar el hierro a alta temperatura. Este elemento aún se encuentra en fase de investigación y prueba para su uso como combustible para el calor y los proyectos comerciales están previstos para comienzos de la década de 2030. (Beveridge, y otros, 2021).

Gráfico 17: Emisiones de carbono en el uso de calor industrial de alta temperatura.



Fuente: IEA, BNEF and Bernstein analysis.

El hidrógeno tiene el potencial de desplazar la combustión de fósiles en la fabricación de aluminio y vidrio, que ambos requieren calor a alta temperatura. Actualmente, el calor utilizado por la industria es generado por combustibles fósiles en hornos y fundidoras, en cambio, el hidrógeno se puede quemar directamente o junto con gas natural para producir calor a alta temperatura sin tener que realizar muchas modificaciones a las instalaciones de fabricación existentes hoy en día.

8.3. ALMACENAMIENTO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA

El hidrógeno también se puede aplicar para generar electricidad a través de pilas de combustible o a través de combustión directa y así proporcionar energía distribuable para complementar los sistemas de energía eólica y solar.

Mientras las pilas de combustible pueden proporcionar una solución comercial para cortes de energía de doce horas, el hidrógeno ofrece una solución más viable debido a su alta densidad energética. Gracias a la flexibilidad de este elemento, este podría asumir el papel de las centrales eléctricas de gas en picos a medida que mejoran los costes de hidrógeno y las celdas de combustible para la electricidad sigue creciendo y madurando. (Beveridge, y otros, 2021).

8.4. CALEFACCIÓN

El consumo de los edificios representa un 33% de la demanda global de energía y un 25% de las emisiones de carbono globales, de este porcentaje aproximadamente el 30% es para la calefacción de los edificios y el 20% para calentar el agua, mientras que la cocina, los electrodomésticos y la iluminación representan un 20%, un 18% y un 6% respectivamente. Actualmente alrededor el 60% del uso de energía final de los edificios a nivel mundial proviene de la electricidad y del gas. (Beveridge, y otros, 2021).

La aplicación del hidrógeno en este mercado es más adecuada para aquellos países que cuentan con redes de gas natural. En muchos países de Europa y de Estados Unidos, donde la penetración de gas natural para el calentamiento es alta, el hidrógeno es más adecuado para la calefacción. Por lo contrario, en países con una menor infraestructura de gas natural llevar a cabo una transición hacia el hidrógeno sería muy cara, ya que supone una gran inversión de capital en redes de gas y electrodomésticos, ya que los clientes deberían actualizar sus electrodomésticos, además otra barrera que existe es la de la seguridad. (Beveridge, y otros, 2021).

El hidrógeno cuenta con tres veces menos de densidad de energía en comparación con el gas natural, lo que significa que la cantidad de energía entregada a través de la tubería disminuirá a medida que la proporción de hidrógeno en la tubería aumente.

Como resultado del esperado aumento de los pisos debido al crecimiento de la población que según las previsiones de la ONU se espera que crezca en 2 mil millones de personas, la IEA prevé que la demanda de energía para los edificios aumente hasta los 127-165 julios para el año 2050. El hidrógeno puede conseguir reducir las emisiones para el calentamiento de agua y calefacción de tres maneras y la estrategia óptima dependerá de las características del edificio, así como del usuario final. La primera opción consistiría en mezclar hidrógeno con gaseoductos de gas natural existentes o usar puro este elemento de distribución, convertir las redes de gas existentes en redes de hidrógeno y convertir los existentes aparatos como son las calderas y hornos, y por último usar pilas de combustibles para calor y energía combinados.

9. RIESGOS

El hidrógeno también cuenta con ciertos riesgos a la hora de su adaptación. En primer lugar, no se encuentra en forma libre en el universo por lo que es necesario obtenerlo a partir de recursos naturales, como el agua, con un importante consumo de energía, muy baja eficiencia y un coste elevado o también se puede obtener mediante gas natural pero así se genera CO₂ que tiene que ser capturado y almacenado.

Otro riesgo que presentan actualmente este vector energético para acabar convirtiéndose en el combustible del futuro es su coste de producción. Actualmente su precio es mucho más elevado que el resto de los combustibles y de tipos de hidrógeno, que contaminan en cierta medida. Aunque todas las previsiones esperan que el coste del hidrógeno se abarate debido a los avances tecnológicos y a la caída en los precios de las energías renovables, si estas previsiones no se acaban cumpliendo será muy difícil que el tipo verde se adopte ampliamente en diversos sectores.

El hidrógeno presenta un carácter gaseoso que obliga que para conseguir obtener una gran cantidad de energía aprovechable es necesario almacenarla a una alta presión de aproximadamente 750 bar, lo que equivale a unas 740 veces la presión atmosférica. Igualmente, las moléculas de hidrógeno pueden llegar a filtrarse fácilmente de los tanques y tuberías, llegando a causar pérdidas de casi un 3% diarias, lo que obligaría a mejorar los sistemas de seguridad y ventilación, y provoca inconsistencia en el acero de los depósitos y tuberías.

Por último, otros dos inconvenientes que presenta este elemento es la disponibilidad de energía renovable como el agua o de terrenos para conseguir energía eólica o solar. Estos factores pueden limitar el desarrollo del hidrógeno verde como combustible del futuro ya que siempre será más caro importarlo que intentar producirlo localmente y puede frenar que algunos países descarbonicen su economía con el hidrógeno verde.

10. CONCLUSIÓN

A partir de este estudio se ha buscado explicar la situación actual y las previsiones de adaptación del hidrógeno como combustible para lograr solventar los problemas de emisiones y contaminación.

La importancia de este elemento surge de una necesidad de descarbonizar las economías mundiales, pero al igual que cualquier otro elemento cuenta con varias ventajas, pero también riesgos para su amplia adopción. Aún así el hidrógeno se encuentra en fase de prueba y de adopción progresiva por lo que es posible que los riesgos se vayan erradicando y que pesen más las ventajas que presenta este elemento.

El coste de producción es la principal barrera que se encuentra el hidrógeno hoy en día, es necesario que consiga disminuir su precio hasta los 2 dólares por kilogramo, pero también cuenta con otras barreras como es el coste de instalar nuevas infraestructuras, ya que actualmente son inexistentes y son necesarias para su adopción como combustible, y su carácter gaseoso, que complica su almacenamiento. Algunas barreras se espera que acaben desapareciendo gracias a los avances tecnológicos pero su composición es imposible.

Para conseguir eliminar las barreras es necesario un apoyo tanto del sector privado como del sector público. Es importante que existan políticas que ayuden a avanzar hacia una economía de hidrógeno y proyectos que apoyen su desarrollo. Como se ha estudiado en este trabajo, se está viviendo un “boom” en cuanto al número de proyectos de hidrógeno y la mayoría de los países han puesto en marcha ya sus estrategias del hidrógeno, por lo que se encuentra en buen camino para conseguir eliminar las desventajas que puede presentar y que aumenten sus ventajas.

En conclusión, el hidrógeno tiene el potencial para convertirse en el combustible del futuro y solucionar todos los problemas que han derivado de la contaminación, aún así es necesario esperar a que se siga desarrollando y pueda ser ampliamente adoptado. Actualmente, se está viviendo una época de descarbonización, por lo que es importante que sigan manteniéndose las políticas y proyectos a favor del hidrógeno para que este elemento pueda desarrollarse y se pueda acabar adoptando y así vivir en un mundo más limpio y sostenible. A partir de este momento es clave estudiar como evolucionan las principales barreras con las que se encuentra el hidrógeno y que medidas están tomando las compañías en diferentes sectores en cuanto a la descarbonización y si apostarán por este elemento como el combustible del futuro.

11. ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS

Gráfico 1: Emisiones mundiales de CO ₂ de 1995 a 2021.....	5
Gráfico 2: Demanda de hidrógeno 2020-2070	7
Gráfico 3: Previsión de la evolución de la población mundial desde 2020 hasta 2100 (en miles de millones).....	10
Gráfico 4: Escenarios de la demanda del hidrógeno 2020-2050.....	11
Gráfico 5: Demanda anual de hidrógeno (millones de toneladas)	12
Gráfico 6: Uso del hidrógeno 1975-2018	13
Gráfico 7: Inversiones acumuladas en hidrógeno a nivel mundial (\$bn).....	15
Gráfico 8: Precio de equilibrio de la producción de hidrógeno en la actualidad	15
Gráfico 9: Desglose del coste de la producción del hidrógeno	17
Gráfico 10: Sensibilidad del coste del hidrógeno al precio del carbono	18
Gráfico 11: Sensibilidad del coste del hidrógeno azul a los precios del gas.	18
Gráfico 12: Sensibilidad del precio del hidrógeno verde al CAPEX	19
Gráfico 13: Sensibilidad del precio del hidrógeno verde al factor de carga.	20
Gráfico 14: Sensibilidad del precio del hidrógeno verde al coste de las energías renovables.	20
Gráfico 15: Camino de descenso del precio del hidrógeno verde para 2030.	22
Figura 2: Mercado del hidrógeno para 2050	29
Gráfico 16: Demanda del hidrógeno en el sector del transporte en 2050 (millones de toneladas).....	32
Gráfico 17: Emisiones de carbono en el uso de calor industrial de alta temperatura...	35

12. BIBLIOGRAFÍA

Aguer Hortal, M., & Miranda Barreras, Á. (2012). *El Hidrogeno: Fundamento de un futuro equilibrado*. Madrid: Díaz de Santos.

Beveridge, N., Becker, M., Brackett, B., Chigumira, D., Clint, O., Dillard, C., . . .

Zechmann, G. (2021). *Hydrogen Highway 2021: Hydrogen one, Carbon zero*.
Bernstein.

El hidrógeno. (s.f.). Obtenido de Centro Nacional del Hidrógeno:

<https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>

Evans, J. (2020). *Hydrogen*. Exane BNP Paribas.

Fernández, R. (Junio de 2019). *Previsión de la evolución de la población mundial desde 2020 hasta 2100*. Obtenido de Statista:

<https://es.statista.com/estadisticas/635100/poblacion-mundial-prevision-de-la-evolucion/>

Hidrógeno verde. (s.f.). Obtenido de Iberdrola:

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>

Lewis, G., Levi, I., & Green, J. (2021). *Hydrogen Starting to Find its Footing in the Energy Transition*. BTIG.

Low, P., de los Santos, J., Toyne, S., & Joyner, S. (2021). *Hydrogen Step on the Gas*.
Redburn.

Mammadov, E. (2021). *BI Global Hydrogen Theme Basket Primer*. Bloomberg
Intelligence.

Mario Aguer Hortal, A. L. (2012). *El Hidrogeno: Fundamento de un futuro equilibrado*.
Madrid: Díaz de Santos.

Yolanda Morat, B., & Linares Hurtado, J. I. (2007). *El hidrógeno y la energía*.