

H2G **HydroGreen**

**Máster en Máster Executive Energía
Renovable y Mercados Energéticos**

Noviembre 2020

Grupo 4

Ignacio Alonso Álvarez

Íñigo de Loyola Benjumea Cervera

Macarena Felisa Martín Uriol

Francisco Javier Vique Sánchez

Fabián Ignacio Pérez-Juste Abascal



**GOBIERNO
DE ESPAÑA**

**MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA**

EOI Escuela de
organización
industrial

ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Validación del Modelo de Negocio	3
2.1 Definición del problema	4
2.2 Propuesta	5
2.3 Solución técnica	6
2.4 Propuesta de valor	7
3. Análisis del Sector	9
3.1 Propuesta de valor	9
3.2 Almacenamiento	13
3.3 Transporte y distribución	15
3.4 Consumo final	16
4. Modelo de negocio	23
4.1 Análisis DAFO	23
4.2 Modelo de negocio	27
5. Plan de Operaciones	31
6. Plan Estratégico	33
7. Plan de Márketing	35
7.1 Posicionamiento	36
7.2 Branding	36
7.3 Plataforma Web	36
7.4 Redes sociales	36
8. Plan de Recursos Humanos	37
9. Plan Financiero	39
10. Gestión del tiempo	40
11. Resumen ejecutivo	42
12. One Page	44
13. Bibliografía y referencias	46
14. Anexos	47

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

1. Introducción

España es un país que depende energéticamente del exterior y está llevando a cabo profundas reformas para la implantación masiva de energías renovables. Esta política pretende acabar con dos problemas, la necesidad de la energía primaria procedente del exterior y el cumplimiento de los compromisos que como miembro de la Unión Europea ha adquirido para la descarbonización completa en 2050.

El recién aprobado Plan de Energía y Clima (PNIEC), es una pieza clave para la transición ecológica y la reducción de la dependencia exterior. Se propone que en 2030 las renovables aporten el 42% de la energía final en España y el 74% de la electricidad.

Como consecuencia, evitaremos la importación de combustibles fósiles en 75.379 millones de euros hasta 2030. Con las medidas contempladas, en 2030 se prevé reducir en quince puntos porcentuales esta dependencia energética, pasando del 74% de la actualidad al 59%

Por otra parte, también se espera un aumento adicional de empleos, que se calculan entre 250.000 y 364.000 en 2030, así como de 236.124 millones de euros en inversiones entre 2021 y 2030 y del PIB, con entre 19.300 y 25.100 millones de euros al año.

Pero la integración de todo este futuro incremento de la producción de renovables es un gran reto para sector eléctrico, acostumbrado a coordinar plantas térmicas de producción de energía, que son totalmente gestionables. En cambio las energías renovables (EERR) no son gestionables, lo cual produce problemas y desequilibrios en la red, que no solo afectan al sistema eléctrico si no que afectan a la rentabilidad de los propios proyectos renovables en la que se pretende basar la transición energética.

Por un lado, la no gestionabilidad de las dos principales tecnologías en las que se basa el aumento de producción de renovables, eólica y fotovoltaica, complica enormemente mantener el equilibrio entre oferta y demanda por parte del gestor de la red REE.

Por el otro lado, la concentración de los picos de producción de las renovables dificulta el equilibrio financiero y de rentabilidad de estos proyectos debido a la llamada canibalización de las renovables. Esto se produce por un exceso de oferta al no ser gestionables, junto con una bajada de la demanda, que hundan los precios del mercado eléctrico.

La manera más eficiente para solventar este problema es el uso del hidrogeno verde que, actuando como vector energético, permite a los productores de renovables convertir su energía en gestionable y evitando así el fenómeno de la canibalización.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

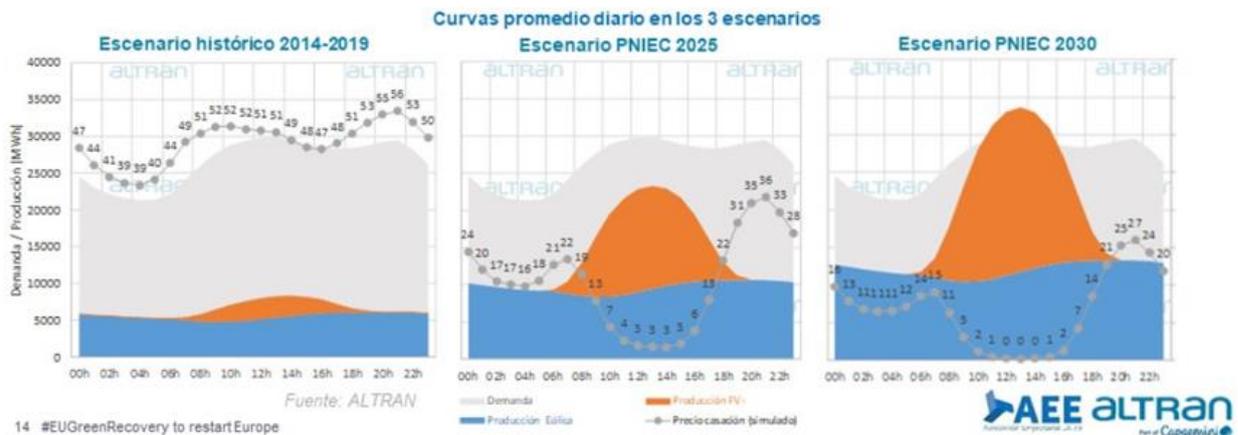


Figura 1: Curvas Demanda Eléctrica vs Producción Eólica/Solar Europa. Fuente: AEE ALTRAN

2. Validación del Modelo de Negocio

La definición del modelo de negocio, ha sido el primer paso que ha llevado a cabo el equipo de proyectos. Gracias a esto se han formulado las estrategias clave para el desarrollo y puesta en marcha del proyecto.

Entre las metodologías existentes, hemos aportado por utilizar el Lienzo Modelo de Negocio (Business Model Canvas), de Alex Osterwalder:

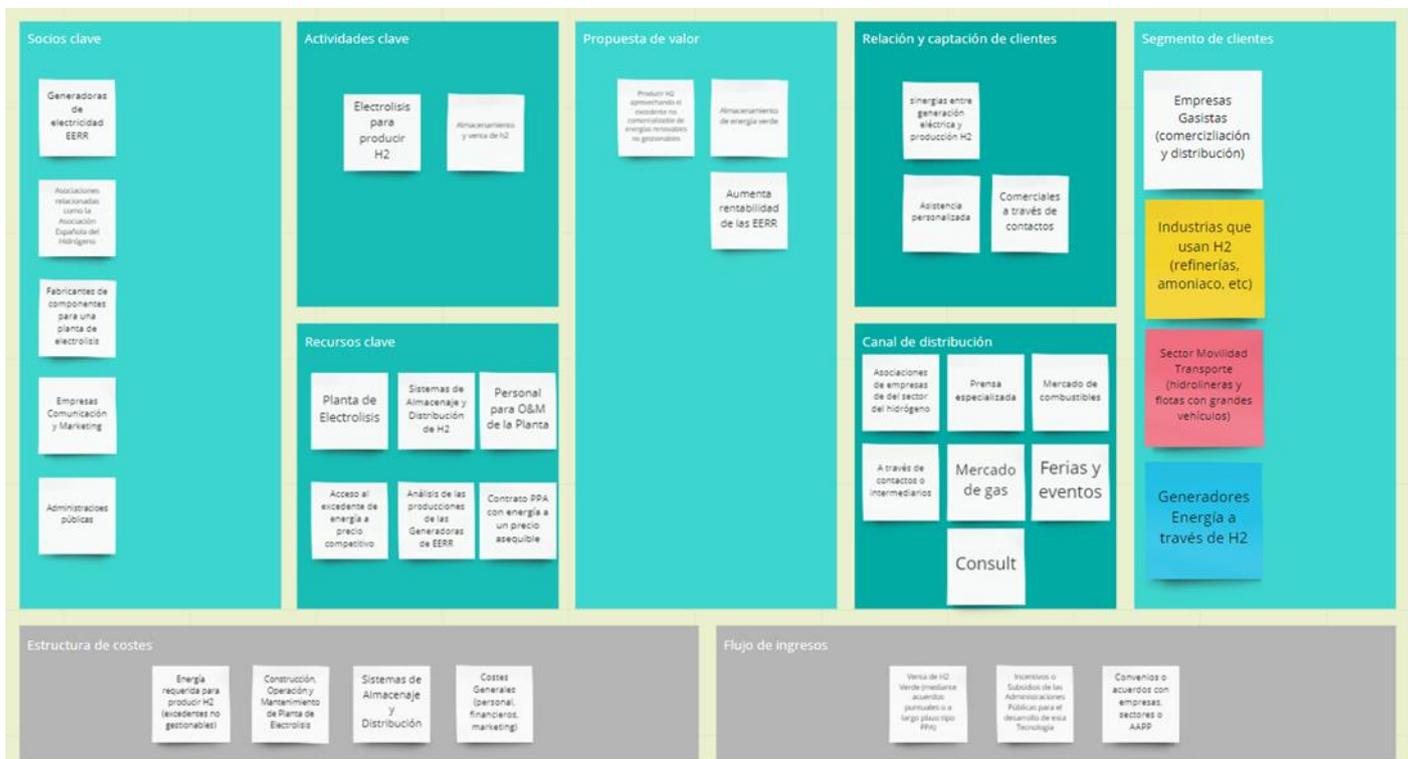


Figura 2: Business Model Canvas Proyecto HydroGreen. Fuente: Elaboración Propia.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

2.1 Definición del Problema

Los problemas antes mencionados, la no gestionabilidad de las tecnologías renovables de mayor implantación, eólica y fotovoltaica, y los compromisos de descarbonización con los que se cumplirán diferentes hitos hasta que termine de completarse en 2050, afectan a todos los principales actores del sector energético como se puede ver a continuación.

A) Perspectiva desde el punto de vista de la Administración Pública

- La presencia de EERR en el balance energético español sigue siendo muy reducida:
 - Solo el 12,6% de energía primaria consumida en España en 2017 fue renovable
 - Hasta un 69,1% de la energía final fue de origen fósil (petróleo 51,1%)
 - En el sector del transporte, que supone un 39,9% del total, la presencia de renovables es irrelevante
- La capacidad de crecimiento de las EERR en la generación eléctrica está limitada por la no-gestionabilidad de las tecnologías con mayor desarrollo y potencial:
 - En 2019 el 36,8% de la electricidad tuvo origen renovable aunque el 24,1% vino de tecnologías no-gestionables (eólica, 20,6%, y fotovoltaica, 3,5%)
 - De la potencia instalada 51,9% son EERR (32,3% eólica y fotovoltaica) aunque por su falta de gestionabilidad solo pudieron cubrir un 39% de la generación
- Por tanto, para poder reducir la huella de carbono es necesario y cumplir los objetivos planteados:
 - Facilitar la integración de las EERR más desarrolladas (eólica y fotovoltaica) mejorando su gestionabilidad y manteniendo la fiabilidad de la red
 - Tener una presencia relevante de las EERR en los sectores más dependientes de los hidrocarburos como es el transporte

B) Desde el punto de vista de los Generadores de EERR no gestionables

- El PNIEC anticipa la instalación de unos 56.000 MW verdes hasta 2030
 - REE ha concedido hasta 2019 el permiso de acceso preliminar para 102.000 MW
 - Sin embargo, la generación eléctrica en España permanece estable desde los 246.970 GWh de 2015 hasta los 249.144 GWh de 2019 tras el máximo en 2018 de 253.566 GWh
 - Y todo ello a la vez que España tiene 110.000 MW instalados siendo el pico de demanda en 2019 de 40.136 MW
- Por tanto, ni el aumento de demanda ni el cierre de plantas de carbón (9.213 MW) y desmantelamiento de nuclear entre 2027 y 2035 (7.117 MW), justifican la nueva potencia de EERR prevista en el PNIEC

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

Adicionalmente, con la nueva Ley de Cambio Climático, el gobierno pretende modificar las subastas y retirar los incentivos a las EERR

- Por todo lo anterior, los proyectos a desarrollar difícilmente tendrán la rentabilidad requerida por inversores. Para conseguirla, habría que avanzar en dos áreas:
 - Gestionabilidad de las EERR más desarrolladas (eólica y fotovoltaica)
 - Aumentar el mercado de energías verdes entrando en el sector transporte para lo cual sería necesario el avance del coche eléctrico, ahora limitado por el avance de las baterías de litio, o en su defecto, el del coche de hidrógeno

C) Finalmente, desde la posición de los Consumidores de H2 verde

- Actualmente el mercado de H2 en España se limita fundamentalmente a usos industriales con unos en el entorno de 9-10 €/kg y es fundamentalmente producido a través de combustibles fósiles siendo el H2 verde prácticamente irrelevante
- Con dichos precios y la procedencia fósil del H2, no es viable su uso como vector energético para almacenamiento o para el desarrollo del coche de hidrógeno
- Para que el H2 verde sea una realidad viable es necesario avanzar en:
 - Precios competitivos
 - Disponibilidad en cantidades masivas y fiabilidad de suministro

2.2 Propuesta

Los problemas para Administraciones Públicas y Generadores, gestionabilidad de EERR y descarbonización del sector transporte, podrían tener diferentes soluciones como las baterías de ión-litio en el primer caso o los biocombustibles en el segundo caso.

Sin embargo, la implantación masiva de estas soluciones plantea muchas dudas en cuanto a su viabilidad además de que en última instancia podrían sustituir el problema de los combustibles fósiles por otros problemas como la escasez e impacto de la extracción de litio, cobalto o níquel o el uso de tierras fértiles para plantaciones destinadas a la producción de biocombustibles.

Por su parte, la implantación del Hidrógeno verde tiene el potencial de convertirse en una solución más eficiente y de menor impacto que podría a su vez resolver de forma combinada ambos problemas.

Aunque la tecnología requerida para la generación de Hidrógeno es conocida desde hace tiempo, no ha sido hasta ahora que su uso como vector energético se ha hecho posible. Esto se debe a que, siendo un proceso intensivo en el consumo eléctrico, no ha sido hasta los últimos años que se empieza a disponer de energía renovable a precios muy competitivos. Igualmente, las plantas para la producción de electrolisis que siguen teniendo un alto coste de inversión, se estima que podrían reducir sus costes en el momento en que este proceso

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

pase de ser utilizado de en cantidades menores para usos industriales a una producción masiva para uso energético.

En este sentido cabe mencionar que El LCOE de las energías eólica y fotovoltaica se ha reducido un 69% y 88% respectivamente en los últimos diez años y se espera que siga reduciéndose (58% y 71% respectivamente) y que, con costes medios en el entorno de \$40-50/MWh y subastas récord del entorno de \$18/MWh, la producción de hidrógeno verde y competitivo podría ser viable en el corto plazo, ya que el coste de la energía constituye un 70-80% del coste de dicha producción.

De hecho, hay diferentes estudios que, estimando a medio plazo una reducción de CAPEX para el proceso de electrolisis del 60%, predicen que el hidrógeno verde podría llegar a producirse en 2030 por precios entre 1.50-2.50 €/kg una vez que los

Con todo lo anterior, se podría finalmente andar una gran parte del camino para los potenciales clientes consumidores de H2 ofreciendo precios competitivos, alta disponibilidad y un suministro viable.

Sin embargo, para lograr el objetivo es probable que sea necesaria no solo unos precios de energía renovable por debajo de mercado aprovechando la falta de demanda a la que puedan enfrentarse los generadores debido a la canibalización antes mencionada, sino también el alineamiento de los incentivos públicos para potenciar este sector y que ahora mismo parecen más cercanos después de que los recientes planes de la UE incluyen 30.000M€ para el mismo.

2.3 Solución Técnica

Con la intención de aprovechar el contexto actual y maximizar el potencial se propone la siguiente solución técnica:

- Planta electrólisis dentro de un parque generador (eólico + fotovoltaico) para maximizar sinergias con generadores de EERR y ahorrar fees de conexión a la red
 - La localización, a estudiar en fases más avanzadas del proyecto, será en zonas de alto potencial generador de EERR y alta demanda de hidrógeno para usos industriales
 - Se propone una Joint Venture con un Generador Eléctrico con 40MW o más instalados de eólica y 20MW de fotovoltaica
 - Compromiso de entrega prioritaria de 10 MW antes de conectar a la red para producción de Hidrógeno
- Planta de Electrólisis
 - La potencia a instalar se propone inicialmente de 10MW para poder asegurar producción en el mayor número de horas anuales al máximo de carga

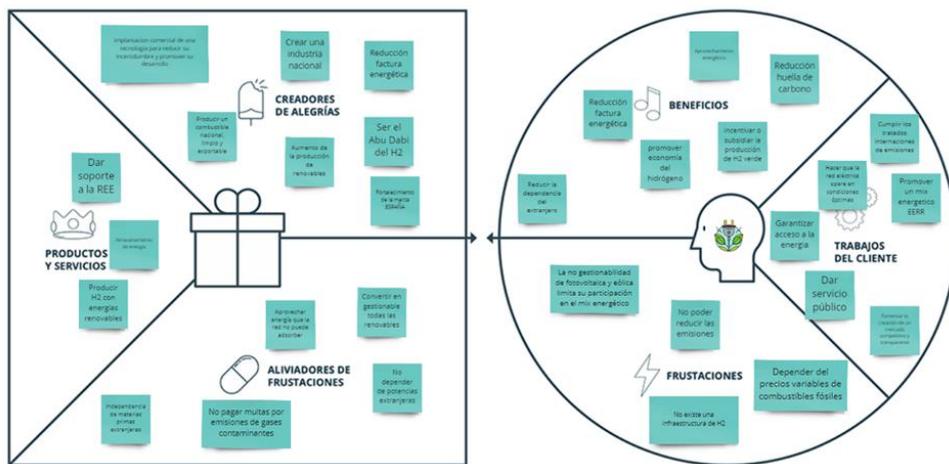
Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- En fases más adelantadas se decidirá el tipo de tecnología según carga, vida útil, CAPEX vs OPEX y otros condicionantes
- Para asistir con la producción habrá una pequeña instalación de almacenaje que habrá que dimensionar adecuadamente
- No se contempla la distribución y nuestra solución se dedicará estrictamente a la venta de hidrógeno verde.

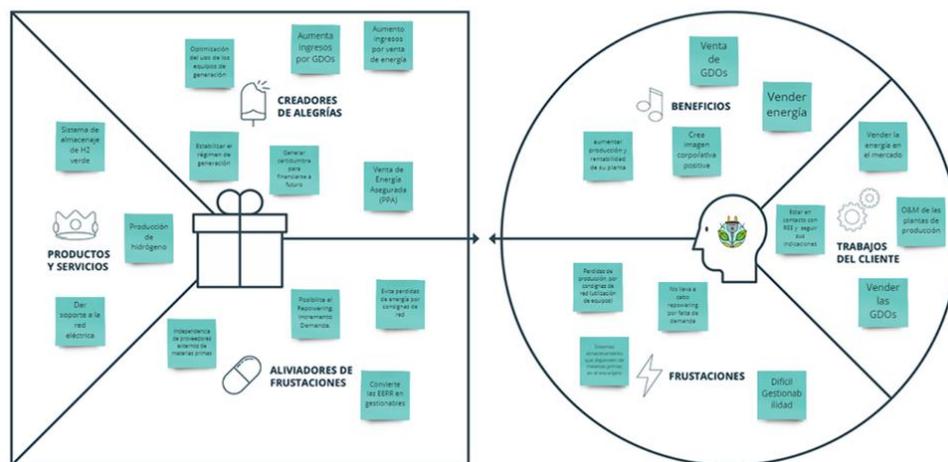
2.4 Propuesta de Valor

Para analizar y llevar a cabo la propuesta se han analizado los actores principales del entorno. En un momento inicial los tres actores se contemplaban como clientes, pero según se iban aplicando la metodología de Design Thinking, hemos ido comprobando que nuestros clientes principales pasan a ser solo los consumidores de H2.

Administración pública (Sector energético)

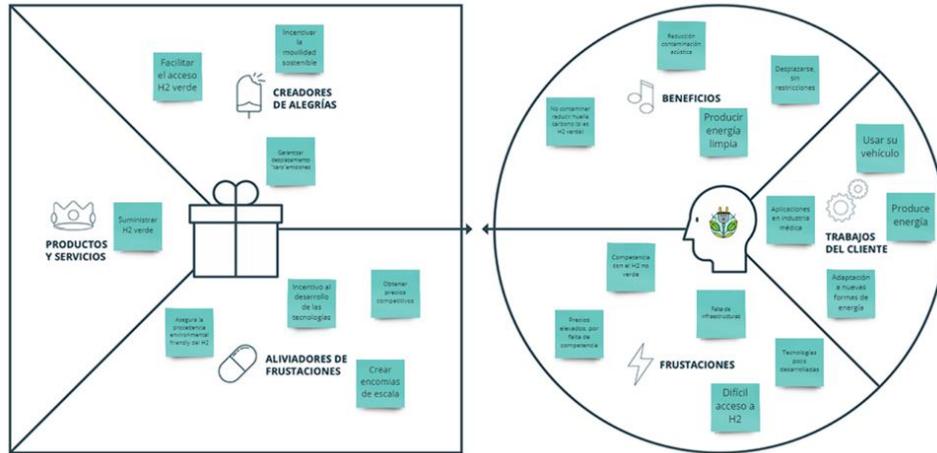


Generador Renovable



Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. **Grupo 4: Proyecto HydroGreen**

Usuario de H2



Figuras 3, 4 y 5: Análisis de los tres actores principales. Fuente: Elaboración propia.

Lienco de propuesta de Valor

Tras el análisis de los tres actores principales, se han propuesto 4 perfiles creando así la propuesta de valor.

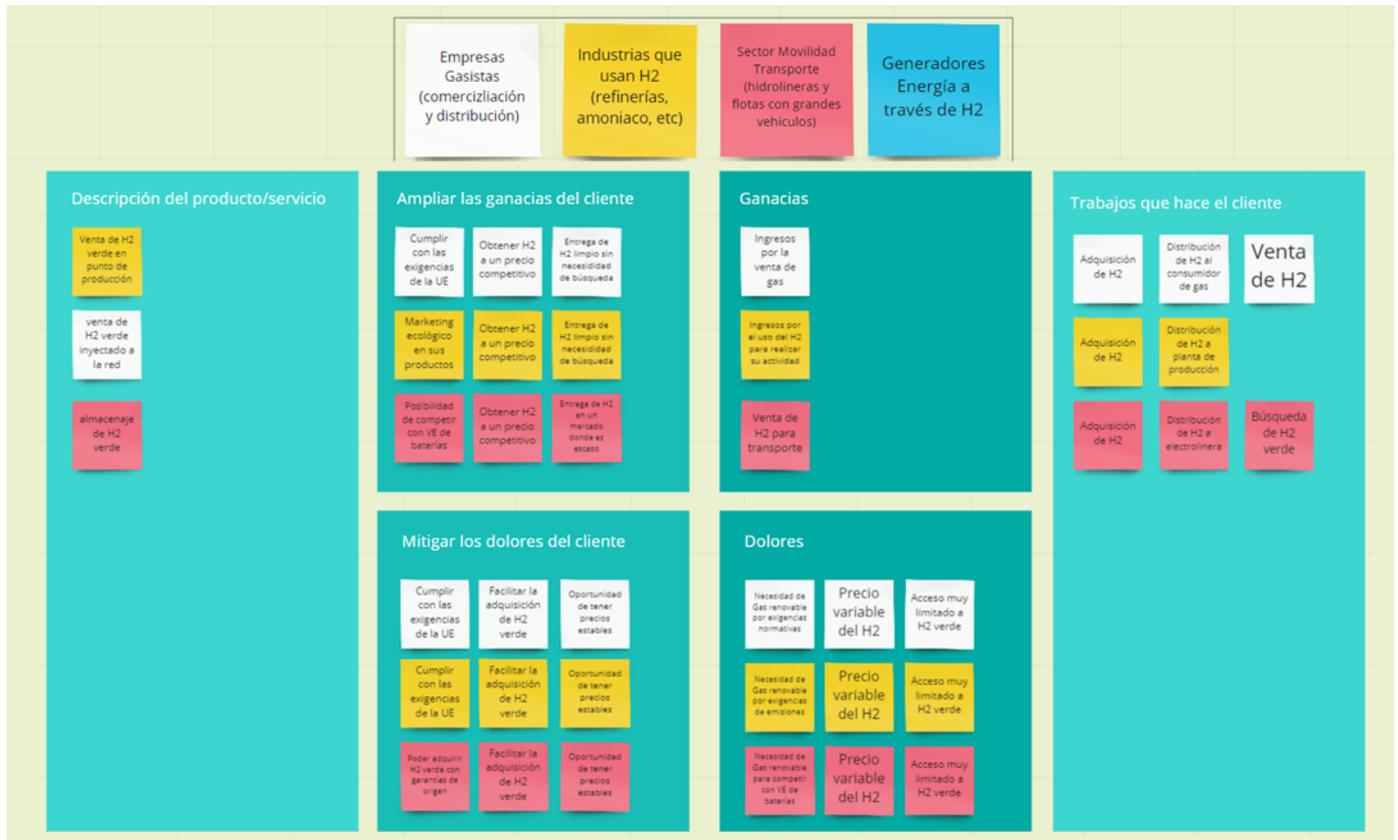


Figura 6: Lienco de Propuesta de Valor. Fuente: Elaboración propia.

3. Análisis del Sector

Para realizar el análisis del sector del Hidrógeno, vamos a centrarnos en cada una de las actividades que conforman su cadena de valor:

- Producción
- Almacenamiento
- Transporte y Distribución
- Consumo Final

3.1 Producción

Las empresas que se dedican dentro del sector del hidrógeno a la producción del mismo están muy vinculadas con las empresas generadoras de energía, ya que son éstas las que dedican parte de la energía que generan a la obtención de hidrógeno por distintos procesos.

3.1.1 Tipos de Hidrógeno y métodos de producción

En función del origen y del CO₂ emitido en su producción podemos diferenciar tres tipos de Hidrógeno:

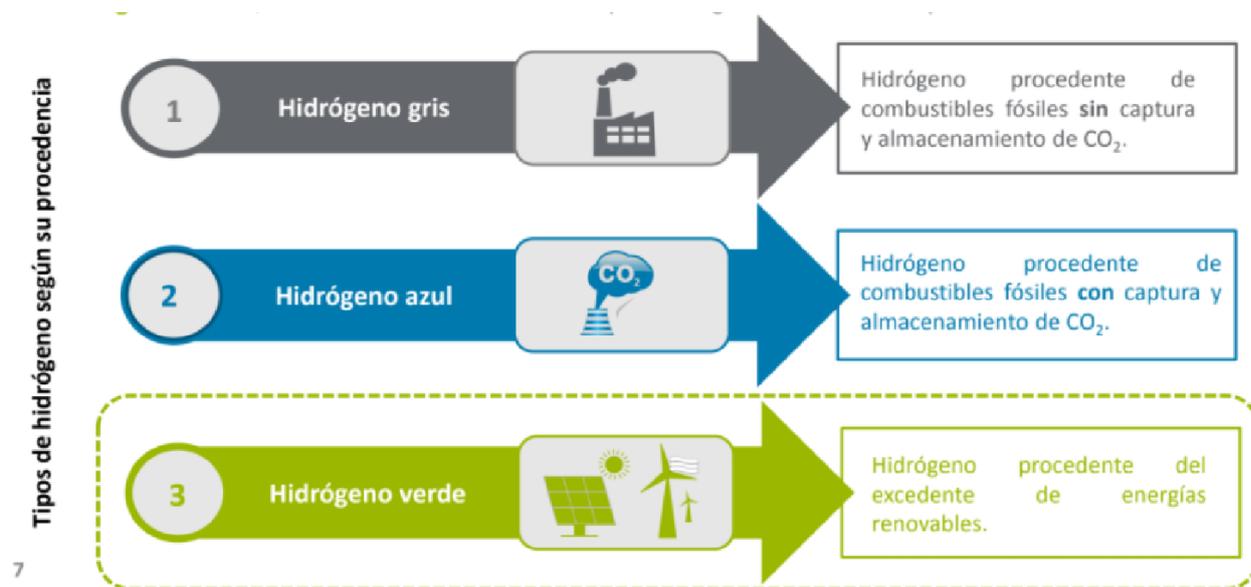


Figura 7: Tipos de hidrógeno según su origen. Fuente: Elaboración propia.

- **HIDRÓGENO GRIS y AZUL:** se producen a partir del carbón y el gas natural. La diferencia entre ambos es que la producción del Hidrógeno AZUL se realiza capturando y almacenando en CO₂ residual de forma que no sea expulsado a la atmósfera. Actualmente, estos dos tipos de Hidrógenos son los más producidos en el mundo.

Existen diversas tecnologías para la producción del hidrógeno GRIS/AZUL:

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- **Reformado con vapor o Steam methane reforming (SMR):** La tecnología de reformado con vapor se desarrolla en un reactor (reformador), donde reacciona vapor a alta temperatura y presión con los hidrocarburos en presencia de un catalizador de base metálica. Como resultado, se produce una síntesis química de la que se obtiene gas de síntesis (hidrógeno y monóxido de carbono).
- **Oxidación parcial o Partial oxidation (POX):** En la tecnología de oxidación parcial, el hidrocarburo se mezcla con oxígeno o vapor de agua y se quema parcialmente dentro de un reactor (reformador) a temperaturas muy elevadas (1.300°C-1.500°C), obteniendo gas de síntesis. Es un proceso más rápido, pero menos eficiente que el anterior.
- **Reformado autotérmico o Autothermal reforming (ATR):** Este proceso es una combinación de las tecnologías SMR y POX. En este caso, se añade una corriente de vapor al proceso de oxidación parcial, generando un proceso similar al SMR. La principal diferencia entre el ATR y el SMR es que este último sólo usa el oxígeno como fuente de calor para crear vapor, mientras que el ATR quema directamente oxígeno.

Estos tipos de hidrógeno son los más extendidos actualmente, dado su bajo precio y su accesibilidad al mercado, en 2018 el 99% del hidrógeno consumido en España es de este tipo.

- **HIDRÓGENO VERDE:** Se trata del Hidrógeno obtenido a partir de agua y electricidad con origen renovable.

La principal tecnología para la obtención del hidrógeno verde es la electrolisis

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

- **Electrolizadores alcalinos:** El electrolito donde se produce la conducción de los iones es una disolución alcalina, generalmente de hidróxido de potasio (KOH). Son los más comunes en la actualidad, al ser los de mayor rentabilidad económica y madurez tecnológica. Sin embargo, implican elevados costes de mantenimiento a nivel de sistema por el uso de un electrolito corrosivo.
- **Electrolizadores de Proton Exchange Membrane (PEM):** En este caso, el electrolito es un polímero sólido conductor de protones, reduciendo los problemas de corrosión del anterior a nivel de sistema, aunque deben hacerse frente a otros problemas de corrosión, que afectan a los componentes individuales del electrolizador. Además, se requiere el uso de metales preciosos, lo que implica costes superiores, aunque pueden trabajar a mayores intensidades y permiten acoplarse fácilmente a sistemas fluctuantes, como las energías renovables.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- **Electrolizadores de Anion Exchange Membrane (AEM):** Este tipo de electrolizadores es resultado de la combinación de los anteriores, aplicando un funcionamiento similar a la electrólisis alcalina, pero utilizando en lugar del electrolito una membrana (equivalencia con PEM) de tipo aniónico. Este tipo de membrana es más económica que la utilizada en los electrolizadores PEM, siendo la electrólisis AEM de bajo coste y altamente estable para la producción de hidrógeno. No obstante, esta tecnología se encuentra poco desarrollada y su durabilidad es muy limitada.
- **Electrolizadores de óxido sólido (SOEC):** Es la tecnología menos desarrollada. El electrolito está elaborado con materiales cerámicos, lo que permite la reducción en sus costes de fabricación, y cuentan con un alto grado de eficiencia energética, aunque debe aportarse para ello temperaturas superiores a los 700°C. A diferencia de los anteriores, permiten convertir el hidrógeno generado en electricidad nuevamente si se emplean dispositivos reversibles, aportando servicios de equilibrio a la red.

A continuación se muestra la comparación de económica entre las distintas formas de electrolisis y sus características:

	Alkaline electrolyser			PEM electrolyser			SOEC electrolyser		
	Today	2030	Long term	Today	2030	Long-term	Today	2030	Long term
Electrical efficiency (% LHV)	63-70	65-71	70-80	56-60	63-68	67-74	74-81	77-84	77-90
Operating pressure (bar)	1-30			30-80			1		
Operating temperature (°C)	60-80			50-80			650 1 000		
Stack lifetime (operating hours)	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
Load range (% relative to nominal load)	10-110			0-160			20-100		
Plant footprint (m ² /kW _e)	0.095			0.048					
CAPEX (USD/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

Figura 8: Comparación económica tipos de electrolizadores. Fuente: International Renewable Energy Agency (IREA)

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

En la gráfica a continuación podemos observar la flexibilidad en la producción del hidrógeno que existe actualmente y las expectativas de futuro:

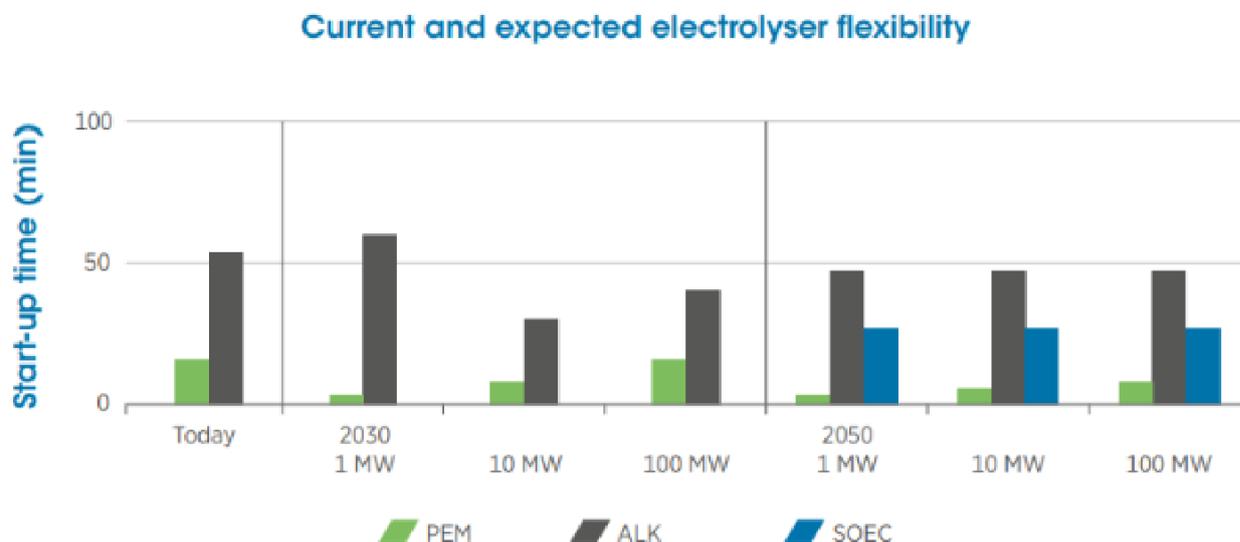


Figura 9: Flexibilidad producción de hidrógeno. Actual y expectativas. Fuente: International Renewable Energy Agency (IREA)

En nuestro proyecto nos vamos a centrar en la producción del hidrógeno verde empleando un electrolizador alcalino.

3.1.2 Producción de Hidrógeno en España

Según el PNIEC de 2019 la Visión 2030 prevé una **capacidad instalada de electrolizadores de 4 GW** y una serie de hitos en el sector industrial, la movilidad y el sector eléctrico, para los cuales será preciso movilizar **inversiones estimadas en 8.900 millones de euros durante el periodo 2020-2030**.

La hoja de ruta del Hidrógeno desde el ministerio del interior de transición ecológica, MITECO, el desarrollo del hidrógeno verde en España tendrá 3 fases importantes:

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

Los electrolizadores principalmente se instalarán junto a los centros de demanda existentes en refinerías, plantas de acero y complejos químicos. Lo ideal sería que se alimentaran directamente de fuentes locales de electricidad renovable. Adicionalmente, se necesitarán hidrogeneras /hidrolineras para el repostaje de los autobuses de celdas de combustible de hidrógeno y en una etapa posterior de camiones. Por lo tanto, también se necesitarán electrolizadores para suministrar localmente un número creciente de estaciones de repostaje de hidrógeno.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

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

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

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

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

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

3.2 Almacenamiento

Una vez producido el Hidrógeno, la siguiente actividad dentro de la cadena de valor es el almacenamiento.

Los principales métodos de almacenamiento de hidrógeno son los siguientes:

- **Cilindros de Gas Comprimido:** Es la técnica más utilizada para suministrar hidrógeno hasta presiones de 200 bar. Es una técnica de disponibilidad general y puede considerarse de bajo coste. Sólo se almacenan cantidades relativamente pequeñas de H₂ a 200 bares; las densidades energéticas de combustible y almacenamiento a alta presión (700 bar) son comparables al hidrógeno líquido, pero están todavía por debajo de la gasolina y el gasóleo; el almacenamiento a alta presión está aún en fase de desarrollo.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- **Tanques de líquido:** También es una tecnología muy empleada y bien conocida. Se consigue una buena densidad de almacenamiento. Se requieren temperaturas muy bajas y por ello un aislamiento mayor de lo normal, por lo que su coste puede ser elevado. Se pierde algo de hidrógeno por evaporación y la energía almacenada todavía no es comparable a los combustibles fósiles líquidos.
- **Hidruros Metálicos:** Empieza a estar disponible alguna tecnología de almacenamiento de hidrógeno sobre sólidos metálicos. Es un sistema muy seguro ya que el hidrógeno se almacena sobre el sólido. La forma de los depósitos de almacenamiento puede adaptarse a las necesidades de cada aplicación. El rellenado exige circuito de refrigeración debido al calor de la reacción, aunque existe la posibilidad de reutilizar los efectos térmicos en subsistemas. Al utilizarse metales para fijar el gas, los pesos se elevan considerablemente y pueden degradarse con el tiempo. Actualmente es una tecnología bastante cara.
- **Hidruros Químicos:** Las reacciones de formación de hidruros reversibles son bien conocidas, por ejemplo: NaBH_4 . Son sistemas compactos con reducido tamaño pero plantean problemas con la manipulación de residuos y en lo que se refiere a las infraestructuras necesarias.
- **Estructuras de Carbono:** Se están estudiando distintas estructuras con base de carbono, entre las que se encuentran los nanotubos, que permiten una elevada densidad de almacenamiento de hidrógeno, siendo, además, muy ligeras. Pueden resultar baratas en función de su producción, estando actualmente en fase de investigación y desarrollo.

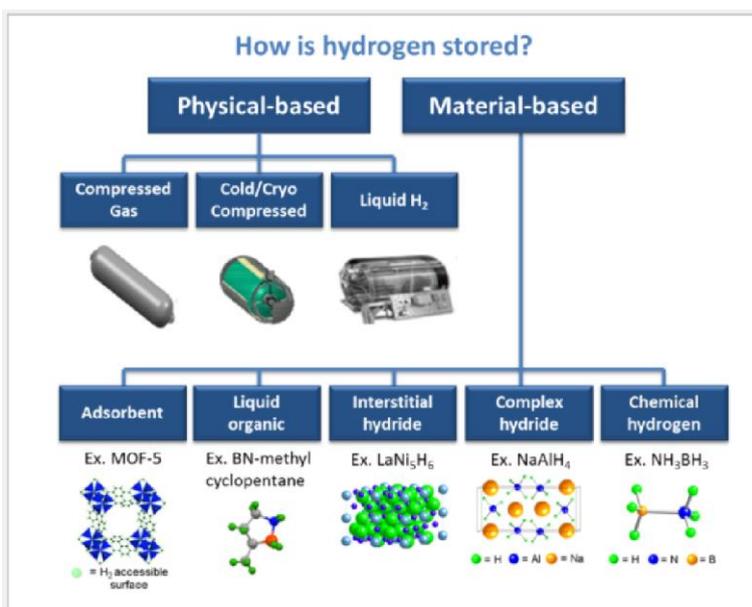


Figura 10: Métodos de Almacenamiento de Hidrógeno. Fuente: Fuel Cells and Hydrogen (FCH)

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

3.3 Transporte y Distribución

El Hidrógeno puede ser transportado en estado gaseoso (a presión) o en estado líquido (criogénico), pudiendo distribuirse a través de tuberías o mediante camiones, barcos o trenes, que incorporan alguno de los métodos de almacenamiento vistos anteriormente.

La distribución es el proceso de puesta a disposición del usuario final del hidrógeno. Actualmente, se realiza desde tanques a presión en el punto de suministro. En un futuro con el uso del hidrógeno normalizado, se diseñarán sistemas de interconexión por tuberías similares a las empleadas para el gas natural (o incluso esas mismas).

En el cuadro a continuación, podemos observar un análisis de los costes de transporte en función del volumen transportado y las distancias:

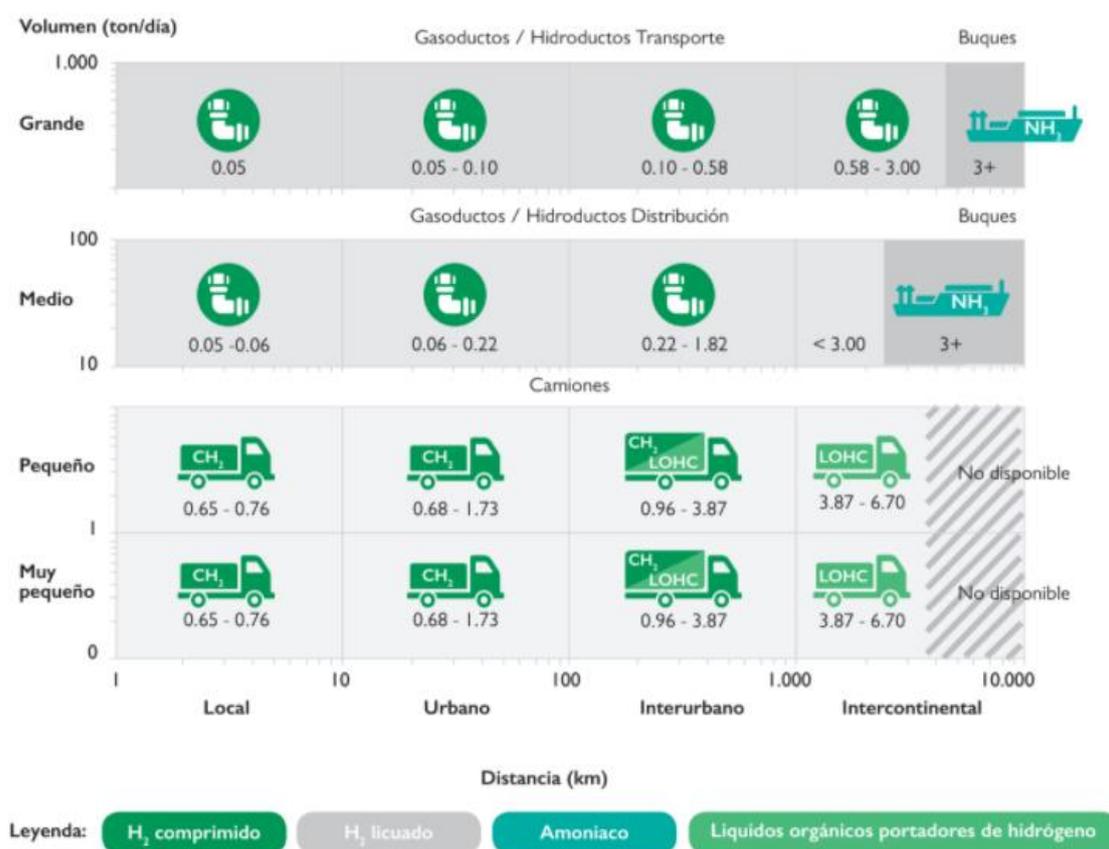


Figura 11: Costes de transporte de Hidrógeno en función de la distancia recorrida y volumen transportado (\$/kg). Fuente: Hoja de Ruta del Hidrógeno publicada por el MITECO.

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

- Transporte por carretera: El transporte por carretera se realiza en camiones cisterna de hidrógeno líquido o hidrógeno comprimido. Los camiones cisterna pueden transportar 360 kg para hidrógeno comprimido y 4.300 kg para hidrógeno líquido;

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

mientras, la distribución en botellas aporta flexibilidad, permitiendo el suministro en distintas purezas y cantidades.

- Transporte por ferrocarril: De igual forma que los camiones cisterna, se utilizan cisternas de ferrocarril para el transporte de hidrógeno, que son más voluminosas que en el caso anterior, alcanzando capacidades entre 2.900-9.100 kg de hidrógeno.
- Transporte marítimo: Los tanques utilizados en los buques de carga para el transporte marítimo tienen una capacidad de unas 70 toneladas de hidrógeno, por lo que se utilizan para trasladar grandes cantidades a puntos de consumo distantes.

Por otro lado, el hidrógeno gaseoso puede ser transportado haciendo uso de las actuales infraestructuras, tanto las propias del sector gasista, mediante la inyección de hidrógeno renovable, como las asociadas a líquidos portadores como el amoníaco.

Estas alternativas favorecen un mayor aprovechamiento de las instalaciones actuales existentes, al tiempo que permiten actuar a costes de operación más bajos. No obstante, presentan ciertas restricciones, como la adaptación de los criterios para la inyección del hidrógeno renovable.

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

3.4 Consumo Final

Quizás la actividad más importante de cara a realizar un análisis del sector es la del consumo. Determinar los usos y aplicaciones más frecuentes en la actualidad así como los futuribles y sus volúmenes de consumo nos aportará mucho valor a la hora de decidir si continuar con el proyecto.

En cuanto a las aplicaciones del Hidrógeno, podríamos agruparlas en tres grandes bloques:

- Industria
- Energía
- Movilidad

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

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

directamente en la propia planta de consumo a través de instalaciones de reformado de vapor con gas natural.



Figura 12: Aplicaciones del Hidrógeno. Fuente: Fuel Cells and Hydrogen (FCH)

3.4.1 Usos Industriales del Hidrógeno

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

H2 en la Industria Metalúrgica:

En la industria siderúrgica, el mineral de hierro puede ser reducido empleando coque o un gas que contenga hidrógeno, monóxido de carbono, o mezclas de éstos. Este gas reductor puede obtenerse mediante reformado con vapor de agua u oxidación parcial de combustibles fósiles.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

Además en la industria metalúrgica, el hidrógeno se emplea como agente reductor y en procesos de producción de otros metales no-férricos (como por ejemplo cobre, níquel, cobalto, molibdeno, uranio, etc).

H2 en la Industria Química:

El hidrógeno es un compuesto de gran interés para la industria química, participando en reacciones de adición en procesos de hidrogenación o como agente reductor en procesos de reducción. A continuación se citan algunos de los procesos más importantes en los que participa:

- Síntesis de amoníaco: el amoníaco se obtiene por la reacción catalítica entre nitrógeno e hidrógeno.
- Procesos de refinería: los procesos de hidrogenación en refinería tienen como objetivo principal la obtención de fracciones ligeras de crudo a partir de fracciones pesadas, aumentando su contenido en hidrógeno y disminuyendo su peso molecular. De forma simultánea pueden eliminarse elementos indeseados como azufre, nitrógeno y metales.
- Tratamiento de carbón: mediante el tratamiento de carbón en presencia de hidrógeno en diferentes condiciones de presión, temperatura, pueden obtenerse productos líquidos y/o gaseosos mediante diferentes procesos (hidrogenación y gasificación hidrogenante).
- Gas de Síntesis: la producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos conduce a una mezcla de gases formada principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono. Esta mezcla de gases se denomina "Gas de

Síntesis" debido a su empleo en procesos de síntesis de productos químicos especiales, como por ejemplo la síntesis de metanol, hidroformilación de olefinas y síntesis de metano y etileno, entre otras.

- Síntesis orgánica: en química orgánica el hidrógeno participa en un gran número de procesos de hidrogenación o reducción para la obtención de productos químicos e intermedios.
- Síntesis inorgánica: el hidrógeno es imprescindible en procesos de importancia comercial como por ejemplo la producción de ácido clorhídrico, peróxido de hidrógeno, etc.

En los gráficos a continuación, podemos observar la distribución de la demanda de hidrógeno dentro del sector industria en la Unión Europea y a nivel mundial:

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

6.6.2. Top-down approach

6.6.2.1. INDUSTRY

The following graph shows the projected EU H₂ annual demand growth per industrial sector in 2014.

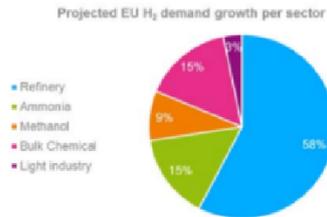


Figure 82: Projected EU H₂ demand growth per industrial sector [43]

6.6.2.1.1. Large industry

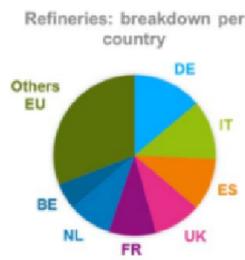


Figure 83: EU country breakdown in refining capacities

Figura 13: Distribución del consumo de H₂ en el sector Industria en la UE. Fuente: International Renewable Energy Agency (IREA)

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

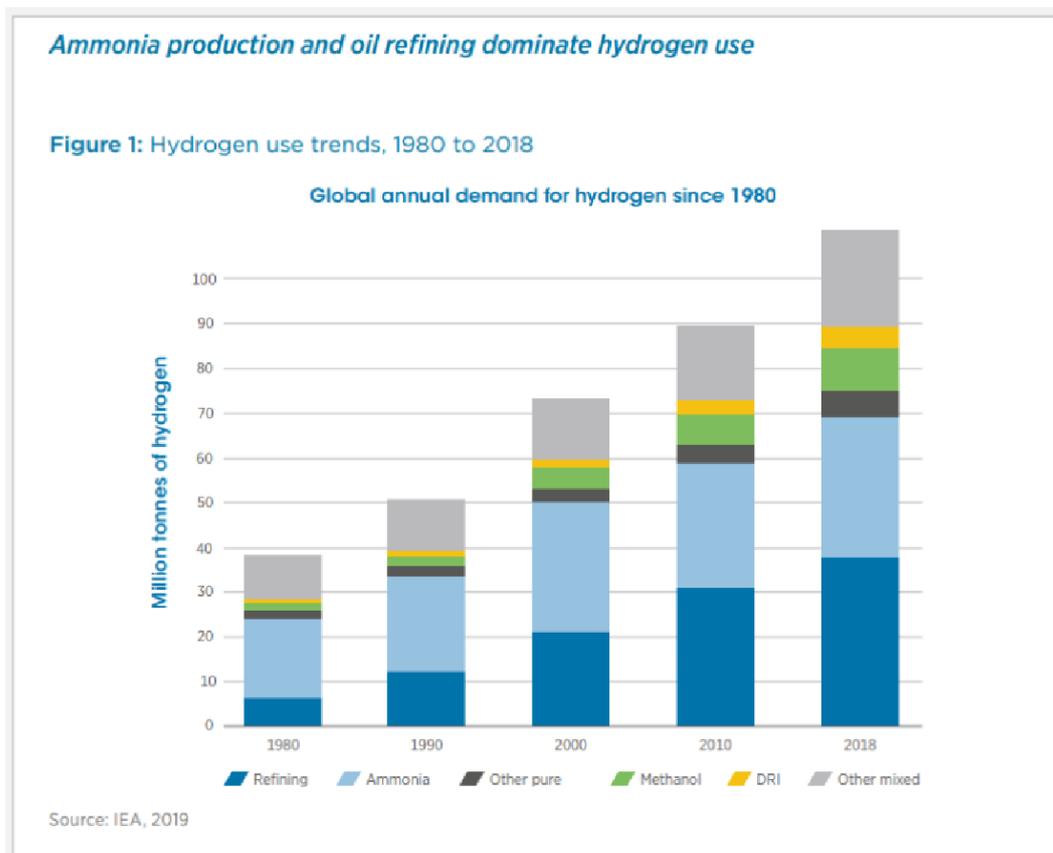


Figura 14: Distribución del consumo de H2 en el sector Industria a nivel global. Fuente: IEA 2019

3.4.2 Usos Energéticos del Hidrógeno

El hidrógeno, debido a su condición de vector energético, es una herramienta clave para la integración de los diferentes sectores, lo que favorecerá una mayor flexibilidad, disponibilidad y seguridad energéticas, así como una mayor eficiencia y rentabilidad en la transición energética, contribuyendo a la descarbonización de la economía.

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

- **Almacenamiento energético:** el almacenamiento de energía a corto y largo plazo puede materializarse mediante la utilización del hidrógeno renovable como vector energético, facilitando el uso de las infraestructuras existentes.
En este sentido, la Estrategia de Almacenamiento y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima reconocen el papel de las aplicaciones del hidrógeno renovable en pilas de combustible o como elemento intermedio en tecnologías Power to X.
- **Sector eléctrico:** el hidrógeno verde permite un mayor grado de gestionabilidad de la red eléctrica absorbiendo los vertidos de la electricidad renovable no consumida en el momento en que esta se produce. El hidrógeno ofrece una gran

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

amplitud al operador del sistema eléctrico tanto para ofrecer resiliencia, como para ofrecer flexibilidad a gran escala.

- Sector gasista: el hidrógeno renovable ofrece la posibilidad de ser incorporado gradualmente en la red gasista, permitiendo hacer uso de sus infraestructuras, y aumentando la integración de los sectores energéticos. No obstante, la mezcla o blending implica la pérdida del valor intrínseco del hidrógeno renovable en la mezcla y, además, presenta dificultades técnicas para una posterior separación de ambos gases en el punto de consumo.
- Economía circular: el hidrógeno puede ser producido a partir de biogás renovable, biomasa o residuos mediante la tecnología de gasificación, favoreciendo la utilización de residuos procedentes del sector agrario o de residuos industriales, y la descarbonización progresiva del sector gasista.

3.4.3 El Hidrógeno en el Transporte

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

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

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

- **Transporte por carretera:** Esta modalidad incluye tanto los vehículos ligeros (turismos y furgonetas), como los vehículos pesados (camiones y autobuses).

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

En 2019, el parque mundial de vehículos ligeros de pila de combustible de hidrógeno ascendía a 12.000 unidades operativas, destacando los volúmenes existentes en Japón, Canadá y Alemania. En el caso de España, de acuerdo con los datos de la Dirección General de Tráfico, existen 10 vehículos pertenecientes a proyectos de demostración realizados desde el ámbito público y privado.

Con respecto a los vehículos pesados, se posiciona como el segmento en el que el uso de hidrógeno renovable como combustible resulta más conveniente. A escala nacional se están llevando a cabo varios programas piloto que analizan la viabilidad de utilizar el hidrógeno renovable en vehículos industriales tales como carretillas elevadoras, así como en autobuses y camiones. Entre ellos destaca la licitación publicada por Transports Metropolitans de Barcelona (TMB) para la compra de 8 autobuses de pila de hidrógeno en 2020.

- **Transporte ferroviario:** en la actualidad, el sector ferroviario utiliza como principal recurso energético la energía eléctrica, si bien todavía existen vías sin electrificar con trenes propulsado por locomotoras diésel. Es precisamente en este último nicho y, concretamente cuando la electrificación no sea viable, donde las pilas de combustible alimentadas por hidrógeno renovable podrían tener una clara aplicación. En desarrollo de esta alternativa en España, Renfe en colaboración con Enagás y el Centro Nacional del Hidrógeno, ha iniciado un proyecto apoyado por la UE para la realización de pruebas en el túnel de ensayos de la Fundación Barredo en Anes (Siero), dependiente del Principado de Asturias.
- **Transporte marítimo:** la aplicación del hidrógeno renovable para el transporte marítimo abarca no solo la utilización de pilas de combustible en embarcaciones, sino también en la maquinaria empleada en los puertos y terminales de carga. En relación con las embarcaciones, actualmente, el empleo de pilas de combustible para el transporte marítimo se limita a proyectos de demostración en pequeños buques, pero se espera su análisis de viabilidad en grandes embarcaciones. En España destaca la iniciativa H2Ports, dedicada al desarrollo de un proyecto piloto localizado en el Puerto de Valencia para incorporar el hidrógeno en las operaciones logísticas portuarias con el objetivo de reducir su impacto ambiental. El proyecto H2Ports ha recibido financiación de la Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU) y cuenta con la participación de la Autoridad Portuaria de Valencia, la Fundación Valenciaport, el Centro Nacional del Hidrógeno, y empresas privadas.
- **Aviación:** en línea con lo que ocurre en el transporte marítimo, en el caso de la aviación se espera que las pilas de combustible constituyan una alternativa como medio de propulsión para aeronaves y para la maquinaria empleada en los aeropuertos y terminales de carga. En la actualidad, solo se han desarrollado proyectos demostrativos para su uso en vuelos no comerciales. Además, en el sector

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

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

En la siguiente gráfica se representan los objetivos de España para 2030 en relación al sector del hidrógeno:



Figura 15: Objetivos de España a 2030. Fuente: Hoja de Ruta del Hidrógeno publicada por el MITECO.

4. Modelo de Negocio

4.1 Análisis DAFO



Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen



Figuras 16, 17, 18 y 19: Análisis DAFO. Fuente: Elaboración propia

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

Estrategias para aprovechar las Oportunidades a través de nuestras Fortalezas

Contactar con generadores de EERR para asegurar energía barata

Aprovechar el conocimiento de las necesidades del sector EERR para ofrecer soluciones a medida

Localizar la planta en un lugar donde, teniendo disponibilidad de EERR competitivas, no haya mercado de hidrógeno verde

Buscar vías de financiación a fondo perdido o a través de ayudas

Hacer lobby con administraciones para lograr apoyo directo vía incentivo o indirecto vía regulación que facilite la operación

Ofrecer la inyección en la red de gas de H2 verde con garantías certificadas de origen

Establecer ventas a largo plazo con las estaciones de servicio de combustible

Establecer relaciones con fabricantes de vehículos interesados en reducir la huella de carbono

Estrategias para minimizar Debilidades a través de las Oportunidades

Plantear el H2 verde como la mejor alternativa tecnológica por encima de otras como el coche eléctrico o las baterías tradicionales para resolver los retos del sector (exceso energía barata, no gestionabilidad, consumo sector transporte)

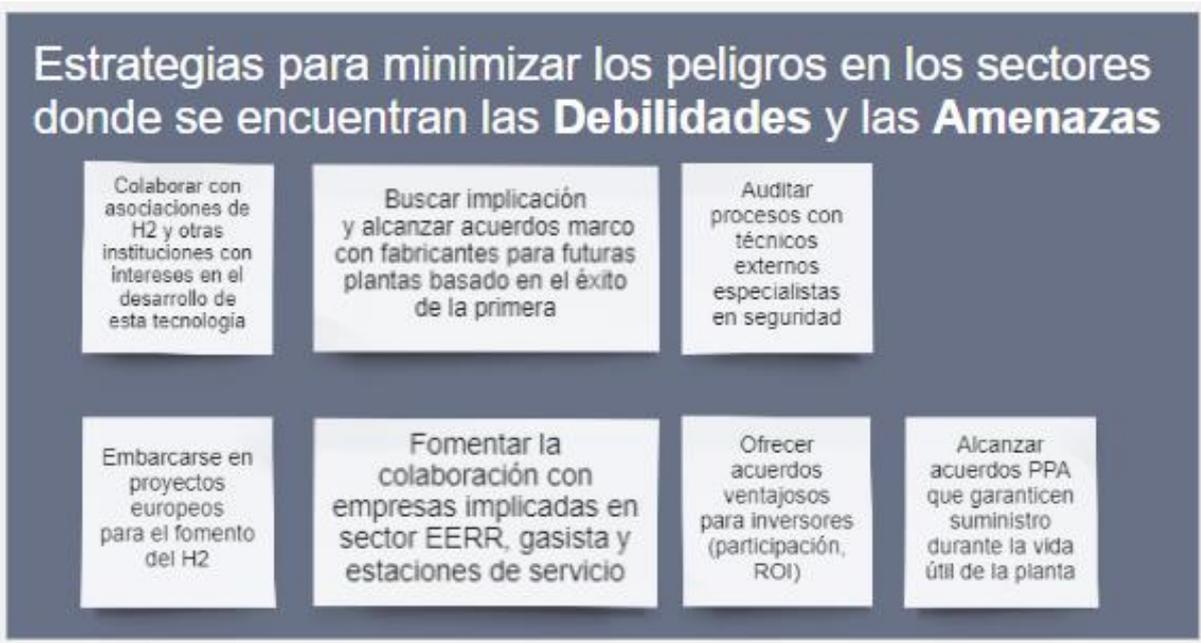
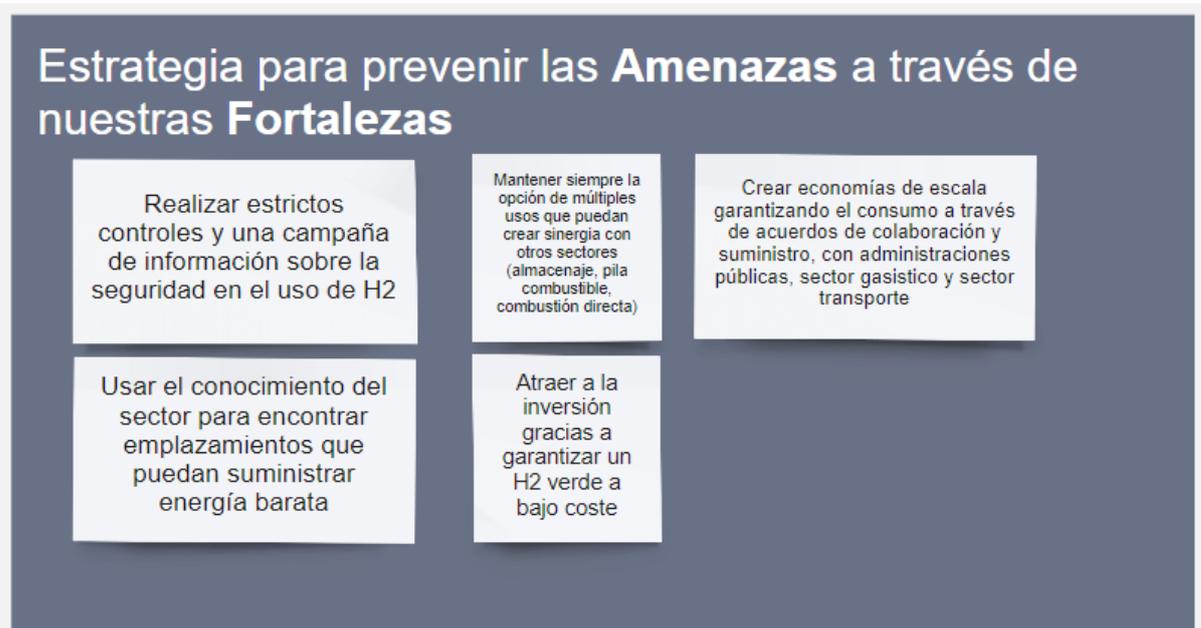
Aprovechar la falta de competencia para justificar la necesidad de crear una nueva compañía

Continuar el proceso de profundización en el sector para adquirir conocimientos necesarios H2

Aprovechar contactos en el sector para acceder de la mano de ellos a los principales fabricantes

Aprovechar ayudas públicas o financiación a fondo perdido para cubrir parte del project finance, disminuyendo el riesgo para los inversores=

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen



Figuras 20, 21, 22 y 23: Estrategias Análisis DAFO. Fuente: Elaboración Propia.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

4.2 Modelo de Negocio

<p>Socios claves </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Empresas generadoras de electricidad. 2. Empresas gasistas 3. Proveedores 4. Asociaciones relacionadas con el Hidrógeno. 5. Administraciones públicas 6. Empresas de Comunicación y de Marketing 	<p>Actividades claves </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Firma <u>Join Venture</u> con empresa generadora de energía renovable. 2. Dimensionamiento y compra de los equipos 3. Análisis para la forma de la contratación de los servicios 4. Almacenamiento y venta del H2 <p>Recursos claves </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Planta de Electrolisis. 2. Acceso fuentes renovables de energía 3. Sistemas de almacenamiento y distribución 4. Personal cualificado en las diferentes áreas 	<p>Propuesta de valor </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Producción de H2 aprovechando la generación con fuentes renovables 2. Almacenamiento y comercialización de H2 verde 3. Contratos de compra de H2 con compañías consumidoras 4. Aumento de la rentabilidad de las EERR 5. Vector energético para los objetivos de <u>descarbonización</u> establecidos para 2050 	<p>Relación con el cliente </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sinergias entre generación eléctrica y producción de H2. 2. Relaciones comerciales a través de contratos. <p>Canales </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prensa especializada 2. Mercado energético 3. Asociaciones y empresas de sector 4. Ferias y eventos 5. Internet, redes. Posicionamiento online. 	<p>Segmento de clientes </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Empresas gasistas (comercialización y distribución) 2. Sector movilidad. Transporte (<u>hidrogenas</u> y flotas de transporte) 3. Industrias consumidoras de H2 (como plantas refinerías, de amoniaco, <u>etc</u>)
<p>Estructura de coste </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Construcción, operación y mantenimiento planta 2. Costes de almacenaje y distribución 3. Costes fijos (personal, financieros, estructura, <u>etc</u>) 4. Energía requerida para la producción del H2 		<p>Fuentes de Ingreso </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Venta de H2 verde mediante acuerdos puntuales o <u>largoplacistas</u> con empresas consumidoras. 2. Incentivos y subsidios de las Administraciones para el desarrollo de la tecnología 		

Figura 24: Model Canvas. Fuente: Elaboración propia

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

Dentro del modelo Canvas realizado por el equipo de proyecto, en el cual se analiza el modelo de negocio planteado y su propuesta de valor, consistiendo este en la producción de H2 verde aprovechando la energía renovable que se produzca en el enclave de generación donde se consensue nuestra instalación (explicado en el punto 5), se establece un segmento de socios y clientes que consideramos clave:

- **Socios**

- Empresas gasistas.- empresas del sector GAS (Distribuidoras y comercializadoras), donde podamos inyectar el H2 verde Generado, que puedan ofrecer a su oferta de productos la posibilidad de incluir un valor fundamental como es el consumo de gas con origen renovable.
- Generadores de Energía Renovable.- empresas generadoras de Energías Renovables, con las cuales poder realizar una Join Venture para:
 - Alcanzar un precio competitivo de energía que genere el parque renovable, que no se inyecte a red, con la que producir el H2
 - Poder construir nuestras instalaciones dentro del parque renovable elegido.
- Asociaciones del Hidrógeno.- asociaciones que promuevan, asesoren y sean un vector para la introducción en la sociedad del H2 como energía.
- Empresas de comunicación y Marketing.- empresas centradas en labores de comunicación y marketing energético para dar a conocer y posicionar la empresa y sus cometidos dentro de este sector, ante la alta competencia que existe hoy en día en el mismo.
- Administraciones públicas.- encargadas de distribuir las distintas ayudas existentes, como por ejemplo las recientemente aprobadas por la UE y que van directamente enfocadas a la proliferación del H2 como vector energético.
- Proveedores.- fabricantes de los diferentes componentes (electrolizadores, compresores, bombas, tubería, etc.) necesarios para la construcción de la planta de electrólisis.

- **Clientes**

Actualmente, los mayores consumidores de H2 los encontramos en la industria química, acerera y el refino de combustibles fósiles, llegando hasta los 325 Twh de consumo en la UE.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

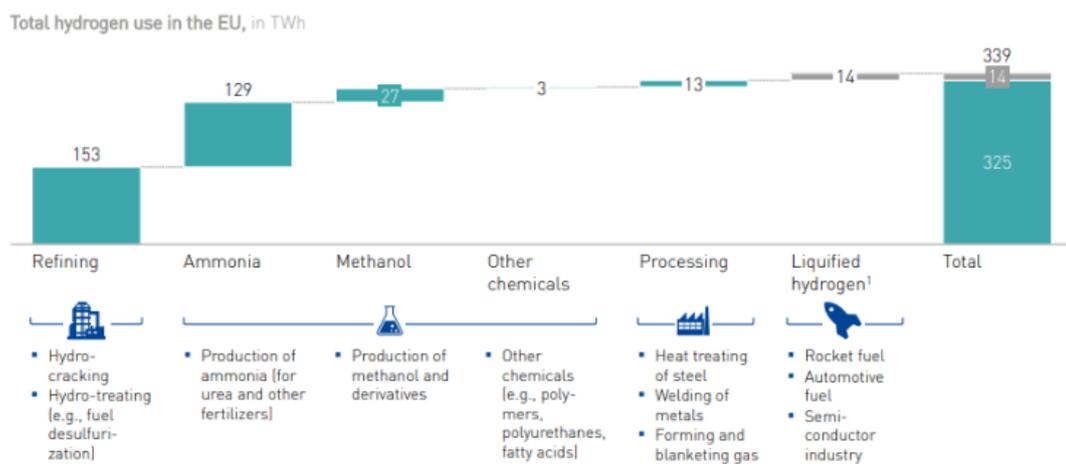


Figura 25: Uso del H2 en la UE. Fuente: Hydrogen Roadmap Europe Report

No obstante, el creciente interés por este combustible y las altas expectativas que se están poniendo en él como vector energético necesario, los potenciales clientes que tendremos serán muchos en diferentes sectores, según vayan afianzándose las diferentes tecnologías asociadas, a corto, medio y largo plazo como podemos ver en la siguiente gráfica:

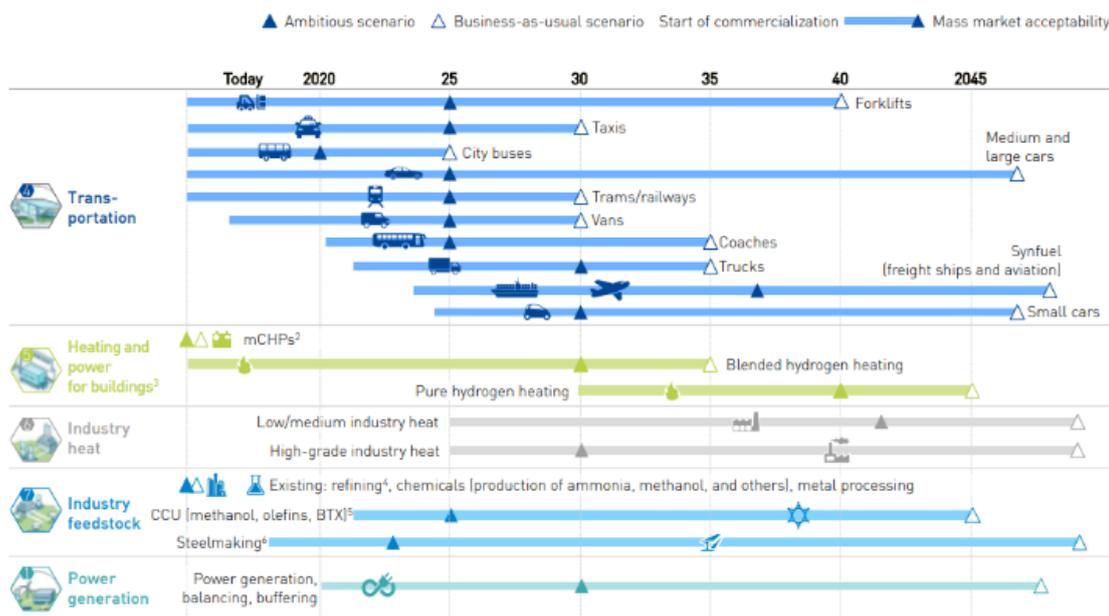


Figura 26: Tecnologías existentes y en desarrollo. Fuente: Hydrogen Roadmap Europe Report

- **Transporte:** son varias las empresas relacionadas con la industria del transporte, tanto de mercancías como de pasajeros, que están desarrollando y produciendo a gran escala vehículos utilitarios, camiones y furgonetas, autobuses, aviones y barcos con H2 como combustible, para satisfacer las necesidades de un mundo en constante crecimiento y con la obligación de descarbonizarse.
- **Sector Gas:** - inyección de H2 en el sistema de distribución gasista para el consumo de esta energía verde por parte de la industria y viviendas.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- Energía en edificios: a lo largo de esta década se asentarán los sistemas para el uso de H2 como combustible cero emisiones en calefacción.
- Industria pesada y semi-pesada: en afianzaran en todo el sector los usos del H2 para la reducción de agentes contaminantes en sus procesos.
- Generación eléctrica: se utilizará el H2 como fuente de generación eléctrica.

- **Recursos y actividades clave**

Para la correcta consecución de los objetivos de la empresa, se han identificado una serie de recursos y actividades esenciales. La firma de una Join Venture con una empresa generadora de energías renovables es el primer punto importante que nos vamos a encontrar para poder continuar, de manera paralela con los demás trabajos, ya que nos proporcionará la energía necesaria para la producción del H2. En función de ese acuerdo y de la disposición del parque donde construiremos nuestra instalación, se dimensionará la planta con los equipos necesarios de producción, almacenamiento y distribución, así como con el capital humano requerido para satisfacer las expectativas de los clientes a los que proveeremos de H2, en un sector con una alta competitividad.

- **Propuesta de valor**

La propuesta de valor de HydroGreen radica en el acceso a la energía eléctrica a un precio muy competitivo reduciendo de forma considerable uno de los principales OPEX, aumentando así la rentabilidad del modelo de negocio. Este bajo coste energético viene derivado de la mencionada canibalización de las EERR. El exceso de oferta por nuevas plantas renovables, la reducción del consumo eléctrico, las mejoras en la eficiencia de la tecnología, el curtailments de la Red Eléctrica y la crisis económica que estamos atravesando son, entre otras, las causas de la bajada del precio en el mercado eléctrico.

HydroGreen propone como primer proyecto la construcción de una planta de producción de H2 verde en las instalaciones del parque eólico 'El Manzanal', ubicado en la localidad leonesa de Torre del Bierzo con una potencia de generación instalada de 40MW. La planta electrolizadora tendrá una potencia de 10MW lo que permitirá una producción anual de 9 millones de metros cúbicos de H2, el equivalente a 800 t de H2 al año. Gracias a la ubicación del parque, para la comercialización del producto se ha optado por dos vías, la inyección del 80% del H2 verde generado a la red de gas, por la proximidad con la red de distribución, y por otro lado se firmarán contratos con empresas municipales de transporte de León y Madrid para abastecer a los vehículos impulsados con este combustible. A medida que el mercado del H2 vaya creciendo a lo largo de esta década y según la estrategia de crecimiento y adquisición de cuota de mercado de HydroGreen, estableceremos más acuerdos comerciales con empresas de diferente índole.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

● **Relación con el cliente y canales de comunicación**

Para garantizar un servicio de calidad, se propone una relación con nuestros clientes cercana abriendo un canal de comunicación y de resolución de incidencias individualizado por cada cuenta.

A su vez, estableceremos una estrategia de comunicación para dar a conocer nuestras propuestas de valor por medio de plataformas web, canales especializados en el sector y ferias nacionales e internacionales.

5. Plan de Operaciones

El contenido de este plan operativo es el primer paso sobre el cual se detallan las actividades, formas y recursos necesarios para la correcta ejecución del proyecto.

Las tareas que se definen a continuación son las que hemos considerado como relevantes al principio del proyecto. La relevancia de cada tarea será susceptible de modificación a medida que el proyecto avance y en función de las necesidades específicas.



Figura 27: Tareas Plan de Operaciones. Fuente: Elaboración propia.

Procesos Estratégicos

- Establecer una Join Venture con una empresa de generación renovable donde podamos adaptar nuestras necesidades a la capacidad de producción de sus parques estableciendo unas condiciones contractuales en las que ambas empresas obtengan un denominado ‘win-win’.
- Elección del parque donde establecer nuestra planta de producción. Dentro del abanico de posibilidades que se nos ofrezca y las necesidades que planteemos.
- Establecer una buena cartera de clientes es crítico para poder cumplir con las exigencias estratégicas que planteamos tanto a corto como a medio plazo.
- Garantizar una producción de H2 continua.
- Investigar las tendencias del mercado para estar siempre a la vanguardia de las necesidades tanto presentes como futuras.

Procesos de Apoyo

- Los servicios legales se antojan necesarios como proceso de apoyo para garantizar un marco de operatividad dentro de las legislaciones tanto europeas como nacionales.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- Gestión de Recursos Humanos para dar servicio a las necesidades de contratación como al capital humano existente en la compañía.
- El proceso de marketing se refiere a toda la exposición que causará el proyecto, la correcta visualización del mismo en los diferentes medios.
- Gestión de Clientes para poder mantener los estándares exigidos por la compañía de cara a satisfacer las necesidades que puedan presentar nuestros clientes. Favoreceremos con esta actividad el incremento de nuestra cartera de clientes.

Procesos Clave

- Construcción de la planta, habiendo calculado todas las actividades necesarias para la ejecución del proyecto. Nos llevará alrededor de 500 días la ejecución de todos los trabajos para dejar la planta operativa, los cuales podrán sufrir modificaciones en función de los devenires del proyecto.
- El proceso de producción abarca desde la conexión con el parque para recibir la energía de origen renovable, hasta el producto final que se venderá al cliente.
- Como ventas entendemos la gestión y comercialización del producto a cliente final en el formato definido.
- La distribución se realizará según la necesidad del cliente, ya sea como inyección en gaseoducto o bien mediante un proceso logístico con camiones cisterna.

Resumen Técnico

La primera planta desarrollada por HydroGreen, en adelante H₂G, estará conectada mediante un centro de transformación de 10MVA al anillo de media tensión del parque eólico “El Manzanal”, que cuenta con 41,25MW de potencia y está situado en Torre del Bierzo, León.

La localización de la planta se llevó a cabo eligiendo un enclave con un recurso eólico constante que permitiera tener la planta de H₂ funcionando prácticamente 24h diarias, con un total de 5246 horas equivalentes de funcionamiento. Otro de los factores determinantes a la hora de elegir el parque eólico “El Manzanal”, es su proximidad a la red de transporte de Gas Natural nacional, teniendo que recorrer tan solo 2,21km para realizar la conexión y la posterior venta de H₂ verde a los distribuidores de gas.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

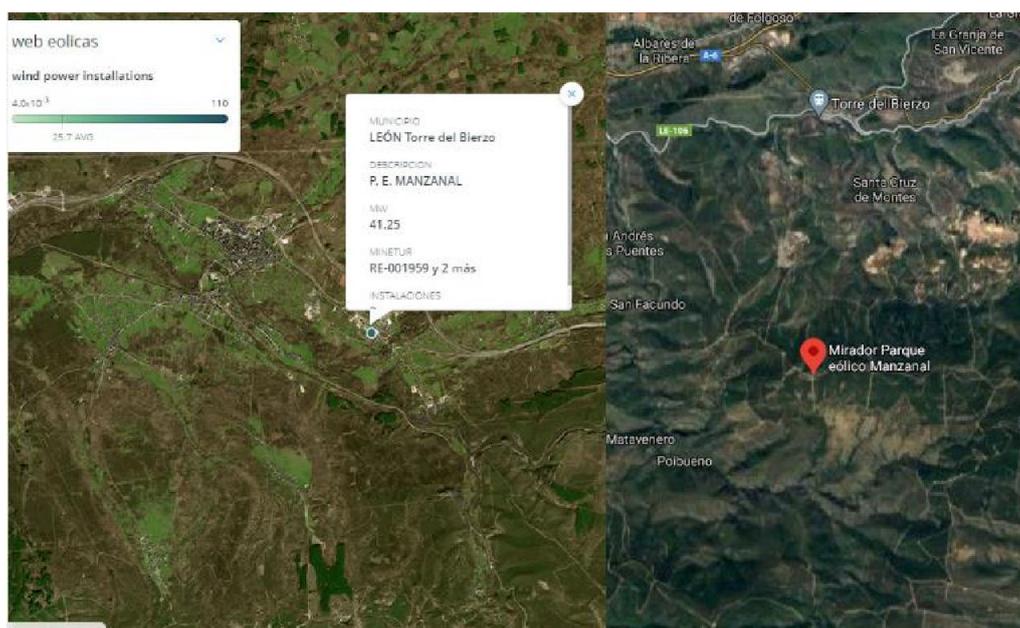


Figura 28: Localización Parque Eólico “El Manzanal” Fuente: Google Earth

La producción de H₂ se llevará a cabo con una solución estandarizada de la compañía NELhydrogen, que consta de cinco electrolizadores A485 en una nave prefabricada, sumando una potencia total de 10MW. La planta tipo desarrollada por H₂G, producirá unas 822Tn/año de H₂ y 400 Tn/año de O₂.

El hidrógeno verde producido se venderá en un 80% a la red de gas a través de una conexión de 2,21 km y otro 20% se destinará a la distribución por carretera para alimentar un total de 15 autobuses de H₂ situados en León y Madrid. Con el fin de garantizar el suministro ininterrumpido a la red de autobuses, se dotará a la instalación de un depósito acero con capacidad para almacenar 6 días completos de consumo. Para lograr dicho objetivo, se almacenará el H₂ a 50bar en un depósito de 510,16m³ sumando 1,35Tn.

Una vez almacenado, será necesario aumentar la precisión del H₂ para su envío a través de canalización a la red de gas o para introducirlo en los camiones de transporte que llevaran el combustible a León y Madrid. Para tal fin se usará un compresor fabricado a medida por Atlas Copco con dos salidas, una a 350 Bar para distribución en camiones y otra a76bar para red de transporte de gas.

Una vez aumentada la presión se redirigirá el 80% del caudal a la red de distribución red de gas situada a 2,21 km para su venta. El otro 20% se inyectará a los dos camiones de transporte que contarán con una capacidad de 360Kg de H₂ al transportarse a 350Bar, recorriendo unos 84km a León (1 viaje por semana) y 362km a Madrid (3 viajes por semana).

6. Plan Estratégico

Según la Hoja de Ruta del Hidrógeno en el periodo 2020-24 el objetivo es la instalación de 300-600 MW y unos 4 GW para el periodo 2025-30. A esto habría que añadir las 500.000 toneladas de hidrógeno que actualmente son necesarias para otros usos.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

El plan estratégico de HydroGreen establece alcanzar una cuota de mercado inicial del 4-8% en 2024 (25 MW) y un 6,5% en 2030 (265 MW).

Por otro lado, según los objetivos del PNIEC y la capacidad de gestión de las principales tecnologías renovables (fotovoltaica y eólica) y después de descontar la capacidad de gestión de instalaciones de bombeo y baterías ión-litio, hay estimaciones en el sector que prevén unos excedentes de generación de energía muchos mayores a los que podría hacer frente la capacidad instalada prevista por la mencionada Hoja de Ruta.

Dichos excedentes podrían rondar los 10 TWh/a en 2025 y unos 30 TWh/a en 2030 y teniendo en cuenta las curvas de aprendizaje y economías de escala que aumentarán la eficiencia y bajarán el coste de las diferentes tecnologías de electrólisis, es probable que el mercado de Hidrógeno Verde pudiera ser mayor y por tanto la cuota del mismo de HydroGreen.

Plan 2020-2024

Para llevar a cabo este plan estratégico HydroGreen construirá en este periodo sus dos primeras plantas. Empezando con una planta de 10 MW de electrólisis alcalina y continuando en 2023 con una planta de 15 MW de la misma tecnología. De esta forma en 2024 se contaría con un total de 25 MW instalados que rondarían un 5% del rango medio del total previsto por la hoja de ruta del Hidrógeno.

Según nuestras expectativas actuales y teniendo en cuenta un acceso competitivo a energía (0,030€/kWh) y una eficiencia del 75%, se podría producir el H₂ de una forma muy competitiva y comercializarlo por 3,7€/kg.

Plan 2025-2030

Teniendo en cuenta el estado actual de las diferentes tecnologías se espera que para algún momento entre el 2025 y el 2030 la tecnología más competitiva sea la de electrólisis PEM (electrólisis de membrana de intercambio de protones por sus siglas en inglés).

Por ello, en los próximos seguiremos de cerca la evolución de los electrolizadores PEM por si resultase ventajoso cambiar la tecnología alcalina utilizada inicialmente para las nuevas plantas. Sin embargo, si consideramos que los avances esperados no son tan significativos en eficiencia o en coste como los que se esperan cuando terminen de desarrollarse los electrolizadores SOEC, en HydroGreen apostaremos por seguir con la tecnología alcalina para aprovechar la curva de aprendizaje de estos primeros años.

En cuanto a potencia instalada, la intención de HydroGreen es la de seguir creciendo orgánicamente en un mercado que va a ser muy dinámico añadiendo otro par de plantas en dicho período de 20 y 25 MW cada una para llegar a 2030 con un total de 70 MW instalados y siendo un claro referente del sector.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

Plan 2030- 2040

En este momento ya se espera que la tecnología más desarrollada sea la del electrolizador SOEC de óxido sólido y que supondrá un aumento significativo de la eficiencia llegando al rango del 77-84%. Para 2030 se espera además que esta tecnología sea competitiva con los costes de la electrólisis alcalina o la PEM.

Aunque HydroGreen hará el debido seguimiento a todas las tecnologías y demás condiciones de contorno del mercado, tenemos previsto pasar entonces de la tecnología alcalina utilizada en las primeras plantas a la tecnología SOEC.

Durante esta década el plan estratégico de HydroGreen pasa por construir cuatro nuevas plantas de electrólisis de óxido sólido de 25 MW, 50 MW (2) y 70 MW para un total acumulado de 265 MW de potencia instalada.

7. Plan de Márketing

El plan de marketing del proyecto es una herramienta que se antoja clave debido a la alta competencia que se espera en el sector y ante el cual la empresa deberá generar una capacidad de adaptación constante.

Optaremos en un principio y con el objetivo de reducir costes estructurales, por subcontratar a empresas especializadas en Marketing energético para realizar estas labores, aunque la dirección estratégica de marketing y ventas se realizará desde HydroGreen.

HydroGreen es una empresa cuyo principal cometido será la ejecución de las actividades necesarias generación y venta de H2 Verde, proveniente de energías renovables.

A los partners, inversores y socios en las colaboraciones se les fidelizará con la posibilidad de formar parte de un negocio en auge, con una previsión de crecimiento exponencial, a la vez que se garantiza un aprovechamiento de la energía que no pueden enganchar en la red de distribución española. A su vez, los clientes consumidores de H2 podrán adquirir un producto de fabricación nacional, a un precio competitivo y con la garantía que estará reduciendo su huella de carbono y consumiendo un producto con origen en fuentes renovables.

El segmento de clientes o público objetivo al que HydroGreen se dirige por lo tanto es:

- Empresas Gasistas.
- Industria Química.
- Transporte.
- Edificación.
- Industria pesada y semi-pesada.
- Generación eléctrica.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

7.1 Posicionamiento

El posicionamiento de la empresa es ambicioso, convertirse en un actor de relevancia para la industria del Hidrógeno y energías renovables, ya sea nacional como internacionalmente, a medio plazo, con el objetivo de ser una marca de referencia para cualquier tipo de compañía que precise de los servicios que ofrecemos con el fin de potenciar la industria del hidrógeno convirtiendo a España en líder en la generación de este combustible.

7.2 Branding

Si entendemos el branding como el proceso mediante el cual se define la entidad corporativa de una empresa, el objetivo que perseguiremos en el caso de nuestra empresa será hacer ver a los clientes los valores corporativos de la misma y lo que a su vez representará en sus negocios.

El compromiso con el medio ambiente y la transición energética hacia un futuro cero emisiones serán los mayores activos de HydroGreen, por lo que focalizaremos los esfuerzos para posicionarnos con estos valores como preferencia de nuestros clientes.

Para hacer llegar este mensaje a un mercado muy competitivo, en el cual en los siguientes años la batalla por un puesto preferente en la industria será muy agresiva, se acometerán campañas publicitarias en espacios especializados como ferias y revistas donde la sensibilización sea mayor en los sectores donde el H2 sea protagonista.

7.3 Plataforma WEB

Se acometerá el desarrollo de una plataforma web donde se exponga la parte más visual de nuestro modelo de negocio, los logros de mayor relevancia de la compañía, así como el contacto para interesados.

Además de la publicidad off-line antes comentada, la publicidad online se planea como parte de la estrategia de posicionamiento para poder complementar la captación de clientes potenciales mediante:

- Publicidad Online: invirtiendo en banners de publicidad.
- Publicidad en redes sociales: publicitando la compañía en redes sociales como LinkedIn.

A su vez, en un tiempo en el que el control de los datos se antoja necesario en todas las vertientes de un negocio, en lo que al análisis de datos de marketing se refiere se estudiarán diferentes plataformas para su correcta ejecución, comenzando con Google Analytics y Power BI para su representación.

7.4 Redes Sociales

Se realizará un plan para tener presencia en todas las redes sociales mediante la creación de canales propios, aportando contenidos audiovisuales, webinars y eventos en directo.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

8. Plan de Recursos Humanos

Abordamos este punto con la convicción de que el recurso más importante de una empresa es su capital humano, por lo que la definición del presente plan y la definición de la plantilla necesaria resultan muy relevante.

El organigrama que a continuación se muestra es lo más simplificado posible con el fin de asegurar una buena operatividad de la empresa con un coste estructural (al menos los primeros años) lo más reducido posible.

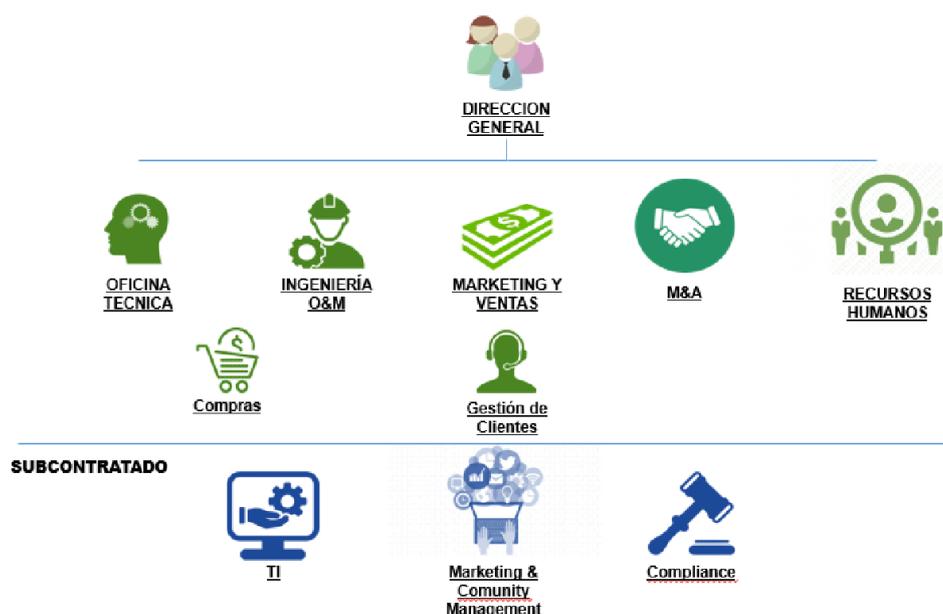


Figura 29: Organigrama HydroGreen. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen se reflejan en color verde la estructura de la empresa y en azul las actividades que consideramos adecuadas subcontratar para reducir estructura. La ampliación de la plantilla dependerá directamente del volumen de actividad detectado a medida que vayan aumentando el número de proyectos encargados a HydroGreen y clientes interesados en nuestro producto.

A continuación se detallan las principales obligaciones de cada área definida:

Dirección General

Las principales funciones de la Dirección General de la compañía serán:

- Coordinación y organización de los procesos, operaciones y personal de la empresa.
- Cumplimiento de los objetivos del plan estratégico.
- Revisión y control presupuestario.

Oficina Técnica

Las principales funciones de la división de la Oficina Técnica serán:

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- Establecer las principales bases tecnológicas para los diferentes proyectos a ejecutar.
- Definición de pliegos de condiciones.
- Apoyo al departamento de compras. Coordinación entre las necesidades requeridas por el proyecto y la ejecución del mismo.
- Realización de informes de seguimiento para la dirección.

Ingeniería y O&M

Las principales funciones de la división de Ingeniería y O&M serán:

- Ejecución y mantenimiento de los proyectos realizados.
- Apoyo al departamento de compras.
- Calidad y Prevención de Riesgos Laborales.

Nos encontraremos dentro de este departamento con las figuras más representativas del control de la planta de H2: desde la dirección de la misma hasta los responsables de PRL y calidad de los trabajos.

Marketing y Ventas

Las principales funciones de la división de Marketing y Ventas serán:

- Desarrollo del plan estratégico de marketing.
- Subcontratación de las empresas necesarias para la ejecución del mismo.
- Colaboración con los diseños adecuados para un buen posicionamiento.
- Captación de clientes y gestión de clientes proporcionando asesoría en las cuestiones necesarias.
- Facturación.

M&A

Las principales funciones de la división de M&A serán:

- Establecer las mejores condiciones para las Joint Ventures realizadas con los generadores renovables.
- Fusiones o adquisiciones de empresas.
- Análisis financiero de las oportunidades de mercado.
- Apoyo a las negociaciones.

Recursos Humanos

Las principales funciones de la división de Recursos Humanos serán:

- Gestión de las necesidades de los empleados.
- Gestión de nóminas y Seguridad Social.
- Formación.

Además, en el organigrama anteriormente presentado, se hace referencia a algunos elementos necesarios para el funcionamiento de la empresa, que nos vemos obligados a subcontratar. Estas actividades son:

- TI: mantenimiento de infraestructuras de telecomunicaciones

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

- Marketing: subcontratación de agencias de marketing para ejecutar los trabajos necesarios.
- Compliance: asesoría legal.

FORMACION

Para mantener a la plantilla y a las empresas subcontratadas con los últimos avances en competencias técnicas como de gestión, se establecerán unos planes formativos anuales. Estos planes se estudiarán por el de RRHH y se impartirán en función de las necesidades. Se establecerá una plataforma de formación online para que el acceso a todos los cursos propuestos se pueda ejecutar desde cualquier punto, facilitando así al empleado la realización de los mismos.

9. Plan Financiero

La estrategia de HydroGreen pasa por desarrollar proyectos financieramente independientes aprovechando en cada momento las mejores condiciones ofrecidas por el mercado desde el punto de vista tecnológico, de disponibilidad de energía y de opciones de financiación.

Por ello, la financiación de cada uno de los proyectos se plantea de forma individual, firmando acuerdos con socios inversores y con bancos en las condiciones más ventajosas posibles cuando llegue el momento de la inversión.

Los proyectos previstos por el plan estratégico se pueden encontrar en el siguiente cuadro y el detalle del análisis financiero de cada uno de ellos se puede consultar en el Anexo Plan Financiero.

planta	año inversión	potencia instalada (MW)	puesta en servicio	Tecnología	CAPEX (€/kW instalado)	consumo eléctrico (€/kWh)	Eficiencia	Precio Venta H2 (€/kg)	TIR
Planta 1	2020	10	2021	Alcalina	850 €	0,030 €	75%	3,70 €	10,06%
Planta 2	2023	15	2024	Alcalina	850 €	0,030 €	75%	3,50 €	10,47%
Planta 3	2026	20	2027	Alcalina	800 €	0,025 €	77%	2,75 €	7,83%
Planta 4	2029	25	2030	Alcalina	800 €	0,025 €	77%	2,70 €	8,05%
Planta 5	2033	25	2034	SOEC	750 €	0,020 €	80%	2,30 €	8,84%
Planta 6	2035	50	2036	SOEC	750 €	0,020 €	80%	2,15 €	8,42%
Planta 7	2037	50	2038	SOEC	700 €	0,015 €	85%	1,70 €	8,67%
Planta 8	2039	70	2040	SOEC	700 €	0,015 €	85%	1,65 €	8,35%

Figura 30: Resumen Plan Financiero. Fuente: Elaboración propia.

Para la gestión del conjunto de los proyectos, HydroGreen prevé un Overhead del 3% de los ingresos para gestionar el conjunto de los proyectos obteniendo beneficios a partir del segundo año de operación para un total de €40.5mill (8.2%) de Beneficio Antes de Impuestos (BAI) durante los 20 años analizados para el conjunto de los proyectos.

Como se puede ver a lo largo de los años del plan estratégico se esperan diferentes evoluciones en varios de los parámetros más críticos como el CAPEX del electrolizador por kW

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

instalado, el coste de la energía o la eficiencia de la misma. Dichos avances son tanto por la mejora de la tecnología dominante a día de hoy, la electrólisis alcalina, como para la que se espera que sea dominante a partir de 2030, la electrólisis de óxido sólido (SOEC).

Igualmente, las plantas irán creciendo en potencia como se refleja con el paso de los años adaptándose a la mayor disponibilidad de energía renovable a precios más competitivos.

Con la estrategia anterior, la venta de hidrógeno por encima de los 3.5€/kg de los primeros años hasta el 2027 estaría destinada a usos industriales siendo los precios de las primeras dos plantas muy competitivos con lo que el mercado actual ofrece (6€/kg) dejando margen para posibles mejoras.

A partir de 2027, con mejoras del CAPEX, la eficiencia y el precio de la energía, el hidrógeno podría estar disponible a precios por debajo de los 2.75€/kg y considerando que la tecnología de pila de combustible.

En cuanto a la financiación en sí misma, se propone mantener la misma estructura de equity del 30% por parte de HydroGreen y socios inversores y préstamos para el 70% restante para todos los proyectos ya que se espera que sea más barata la financiación por préstamo que la exigida por socios inversores a través de su TIR.

En este sentido, la TIR objetivo inicial está en el entorno del 10% ya que se trata de una tecnología todavía no consolidada y según se avanza hacia nuevos proyectos, dicha TIR se encuentra en el entorno del 8%.

Por simplificar el ejercicio se ha mantenido la misma estructura de financiación a lo largo de los 20 años pero es esperable que según el mercado del Hidrógeno Verde y las tecnologías de electrólisis vayan consolidándose, pudieran aparecer oportunidades para mejorar los costes de financiación bancaria así como socios inversores como fondos de pensiones con exigencias de TIR mucho más competitivas.

10. Gestión del Tiempo

La gestión del tiempo del proyecto piloto es fundamental, y será llevada a cabo por personal especialista en gestión de proyectos, con el fin de garantizar el cumplimiento en coste, plazo, calidad y seguridad. En esta sección se presenta una primera estimación del cronograma. El proyecto estará dividido en 8 fases principales:

1. presentación del proyecto, punto de inicio del proyecto
2. ingeniería
3. compra
4. Fabricación y transporte
5. obra civil
6. montaje de equipos electromecánicos
7. preparación de la correcta operación y mantenimiento

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

8. puesta en marcha o start-up. Esta fase se considerará como el hito final a la planificación del proyecto,

El hito y punto de inicio del proyecto es la aprobación del mismo por parte de la empresa promotora del parque eólico de El Manzanal y al Ayuntamiento de Torre del Bierzo. La aprobación del proyecto conlleva, una etapa de tramitación de habilitaciones y licencias para operar.

Tras esta fase, comenzará la fase de ingeniería, con el desarrollo de la ingeniería básica y la definición del proceso. Una vez que se termine la ingeniería básica se procederá al proceso de compra. Para ello, se trabajará según los datos básicos de ingeniería, y en conjunto con el departamento de compras y contrataciones de HydroGreen, de manera tal de solicitar ofertas y adjudicarlas a las empresas especialistas. Una vez se han elegido los fabricantes se desarrollará la ingeniería de detalle y la fabricación de equipos comenzará tras la entrega de la ingeniería de detalle.

El proceso de compras inicia cuando la ingeniería básica se ha definido al completamente y todo el proceso de compras, de fabricación hasta el transporte seguirá un modo fast track. La metodología de fast track es empleada también en las tareas que conforman la fase de montaje de equipos electromecánicos.

La obra civil sucede igualmente a la ingeniería básica. Esta fase está subdividida en las tareas del desarrollo de la propia ingeniería civil, tarea que dará comienzo a la vez que la fase de ingeniería de detalle del proceso. Una vez la ingeniería quedé definida se procederán a las tareas de instalación de fundaciones, canalizaciones y drenajes y, finalmente, las instalaciones eléctricas, de fontanería y saneamiento. Para la planificación de estas tareas se han tenido en cuenta los tiempos de tareas inactivas. Tareas que no necesitan de supervisión o seguimiento de personal, como es el fraguado del hormigón.

La fase de preparación de la operación y mantenimiento tiene en cuenta las actividades de recopilación de manuales y formación necesaria para los operarios, así como las piezas de recambio que será necesario tener disponibles dentro del parque industrial.

De manera genérica y de no mediar retrasos significativos o causas de fuerza mayor, desde la presentación del proyecto y hasta la puesta en marcha transcurren 18 meses.

11. Resumen Ejecutivo

Contexto General

El escenario energético actual en España se encuentra marcado por el cumplimiento de los compromisos que como miembro de la Unión Europea ha adquirido para la descarbonización completa en 2050. Como pieza clave para dar cumplimiento al citado compromiso y reducir la dependencia energética del exterior, se encuentra el recién aprobado Plan de Energía y Clima (PNIEC) que propone que en 2030 las renovables aporten el 42% de la energía final en España y el 74% de la electricidad.

Pero la integración de todo este futuro incremento de la producción de renovables presenta grandes retos al sector eléctrico en forma de problemas operativos y financieros.

En primer lugar, la no gestionabilidad de las dos principales tecnologías en las que se basa el aumento de producción de renovables, eólica y fotovoltaica, dificulta la operación del gestor de la red (REE) a la hora de mantener el sistema en equilibrio entre la oferta y la demanda.

Por otro lado, la concentración de los picos de producción de las renovables dificulta el equilibrio financiero y rentabilidad de estos proyectos debido al exceso de oferta en momentos de baja demanda que provocan la bajada de precios en el mercado.

De igual manera, la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles en el sector transporte supone un reto que pasa por las limitaciones a la implementación masiva de las baterías de ión-litio. Dichas limitaciones podrían solventarse introduciendo una segunda tecnología alternativa que utilice el hidrógeno verde como vector energético.

Según el informe *“Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate PlanseI”* elaborado por FCH, se estima un potencial de producción para España de 16 TWh/año en 2030, situándonos como uno de los tres países europeos con mayor potencial de producción de hidrógeno renovable.

En este contexto, y como solución integral para afrontar los retos anteriormente mencionados, nace la compañía **HydroGreen**.

HydroGreen es una compañía que tiene como fin el desarrollo de proyectos de hidrógeno renovable para su producción y posterior comercialización. La energía necesaria para la producción del hidrógeno se obtendrá de plantas eólicas y fotovoltaicas aprovechando el bajo coste energético provocado por los excedentes de producción y el exceso de oferta en el mercado eléctrico.

Primer Proyecto

El primer Proyecto de HydroGreen consistirá en la construcción de una **Planta Electrolizadora de 10 MW** situada dentro del parque eólico “El Manzanal”, de 41,25 MW en la localidad de Torre del Bierzo (León). El Hidrógeno obtenido será almacenado para posteriormente, inyectar un 80% en la Red de Transporte y Distribución de Gas Natural, usando el resto para abastecer a 15 autobuses de las Empresas Municipales de Transporte de León y Madrid.

La Planta Electrolizadora estará conformada por 5 Eelectrolizadores modelo A485 del fabricante Nel Hydrogen de 2 MW cada uno, con una capacidad total de producción de

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020. Grupo 4: Proyecto HydroGreen

Hidrógeno de 2.250 Nm³/h. Incluye bomba y tuberías hacia el sistema de almacenamiento de baja presión con capacidad para almacenar el equivalente a una semana de producción. Incluirá también un sistema de compresión conformado por dos compresores. Uno para aumentar la presión para la inyección en la Red de Transporte y Distribución de Gas Natural (76 bar) y otro para comprimir hasta 350 bar para el transporte en camiones hasta los puntos de consumo. Además, contará con un sistema de almacenamiento de alta presión (350 bar) para llevar a cabo la carga de dichos camiones.

Tomando como referencia las curvas de producción de años anteriores del parque “El Manzanal”, se estima un funcionamiento medio de la Planta Electrolizadora de unas 5.246 h/año, obteniendo una producción media anual de **9.150.855 Nm³ Hidrógeno 100% renovable (40 GWh aproximadamente)**.

El **coste** total de esta primera instalación se estima en **16 M€**.

Para la gestión del conjunto de los proyectos, HydroGreen prevé un Overhead del 3% de los ingresos para gestionar el conjunto de los proyectos obteniendo beneficios a partir del segundo año de operación para un total de €40.5mill (8.2%) de Beneficio Antes de Impuestos (BAI) durante los 20 años analizados para el conjunto de los proyectos.

Plan estratégico 2020-30

Según la Hoja de Ruta del Hidrógeno en el periodo 2020-24 el objetivo es la instalación de 300-600 MW y unos 4 GW para el periodo 2025-30. A esto habría que añadir las 500.000 toneladas de hidrógeno que actualmente son necesarias para otros usos.

El plan estratégico de HydroGreen establece alcanzar una cuota de mercado inicial del 4-8% en 2024 (25 MW) y un 6,5% en 2030 (265 MW).

Por otro lado, según los objetivos del PNIEC y la capacidad de gestión de las principales tecnologías renovables (fotovoltaica y eólica) y después de descontar la capacidad de gestión de instalaciones de bombeo y baterías ión-litio, hay estimaciones en el sector que prevén unos excedentes de generación de energía muchos mayores a los que podría hacer frente la capacidad instalada prevista por la mencionada Hoja de Ruta.

Dichos excedentes podrían rondar los 10 TWh/a en 2025 y unos 30 TWh/a en 2030 y teniendo en cuenta las curvas de aprendizaje y economías de escala que aumentarán la eficiencia y bajarán el coste de las diferentes tecnologías de electrólisis, es probable que el mercado de Hidrógeno Verde pudiera ser mayor y por tanto la cuota del mismo de HydroGreen.

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

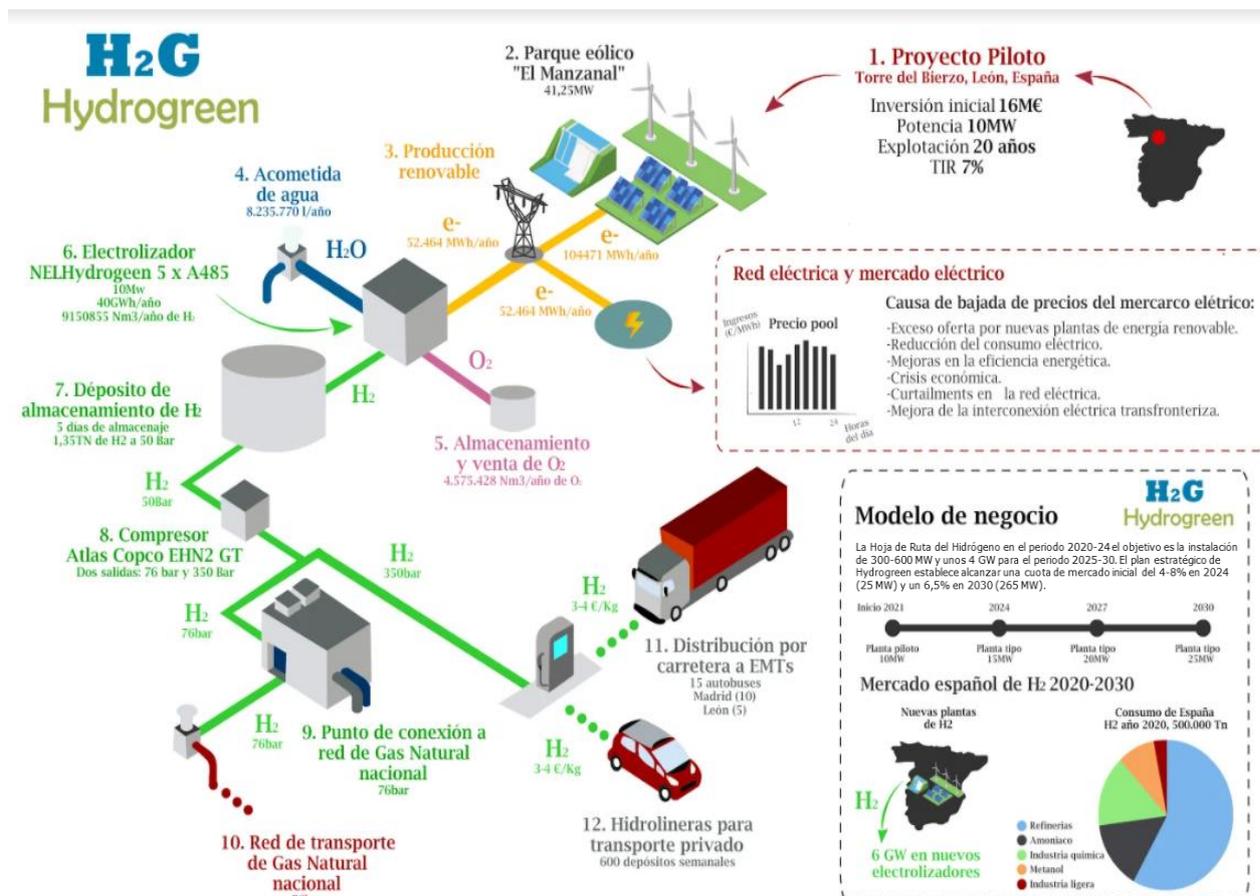


Figura 31: Modelo de Negocio HydroGreen. Fuente: Elaboración Propia

12. One Page

Debido a los desafíos energéticos a los que nos enfrentamos, durante la COP21 se alcanzó un consenso recogido en el Acuerdo de París, por el que la gran mayoría de países se comprometen a la descarbonización de sus sociedades para el año 2050. La Unión Europea, como miembro firmante, deberá reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles haciendo una fuerte inversión en tecnologías renovables. En el marco del citado Acuerdo, España se compromete a que en 2030 las renovables aporten el 42% de la energía final y el 74% de la electricidad.

La apuesta masiva por renovables como la fotovoltaica y eólica ha de ser acompañada por el desarrollo de tecnologías que permitan su gestionabilidad e integración en las diferentes redes eléctricas. En este sentido, el hidrógeno verde se convierte en un vector energético clave y se presenta como la alternativa con mayor potencial para hacer frente a los retos de dicha apuesta.

Para satisfacer las necesidades actuales y futuras, nace HYDROGREEN, con un modelo de negocio basado en la construcción y explotación de plantas de electrólisis para la producción y comercialización de hidrógeno verde, basado en energías renovables con el firme objetivo

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

de ayudar a la descarbonización de sectores como el gasista, transporte, eléctrico, industria química, edificación, etc.

Se promoverá, por tanto, un proyecto inicial en las inmediaciones del parque eólico 'El Manzanal' situado en la localidad de Torre del Bierzo (León), debido a su idoneidad tecnológica y geográfica, firmando un PPA con la empresa propietaria del parque, para adquirir energía renovable a bajo coste. La inversión necesaria se calcula entre 16 M€, susceptibles de financiación mediante programas de subvenciones europeas, así como de financiación privada, obteniendo un TIR del 10% en 20 años.

La Hoja de Ruta del Hidrógeno en España marca como objetivo la instalación de potencia de electrolizadores de 300 a 600 MW en 2024 y 4 GW en 2030 y por tanto establecemos nuestro objetivo inicial en captar una cuota de mercado del 4-8% en 2024 (25 MW) y un 6,5% en 2030 (265 MW).

Sin embargo, teniendo en cuenta los excedentes estimados de renovables que no se podrán gestionar mediante baterías o bombeo y las mejoras de eficiencia y CAPEX de las tecnologías de electrólisis, los objetivos de la Hoja de Ruta podrían ser ampliamente superados y en HydroGreen esperamos también captar parte de ese mercado adicional.

El capital humano que conforma actualmente la compañía es su mayor fortaleza dentro de un sector que se antoja altamente competitivo. Provenientes de distintas áreas de especialización dentro del sector energético, su pasión por contribuir a crear un mundo mejor es su garantía de crecimiento. Apostamos firmemente por la atracción del mejor talento a la compañía formando una combinación óptima para ayudarnos a conseguir los objetivos propuestos.

Por todo esto, esta propuesta representa una gran oportunidad de negocio, con un amplio horizonte de desarrollo y oportunidades tanto en el ámbito nacional como internacional dentro de la inminente economía del hidrógeno.

Desde HydroGreen apostamos clara y decididamente por la sostenibilidad y recalcamos nuestro compromiso con la sociedad para convertir este planeta en un mundo con cero emisiones.

13. Bibliografía y Referencias

- Hoja de Ruta del Hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable (MITECO)
- Fuel cells and hydrogen joint undertaking (<https://www.fch.europa.eu/>)
- Agencia Internacional de la Energía (<https://www.iea.org/>)
- Hydrogen Council (<https://hydrogencouncil.com/en/>)
- Informe Ariema.
- Asociación Española del Hidrógeno AEH2 (www.aeh2.org)
- www.youtube.com
- Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible (www.ptehpc.org)
- Linde-gas (<https://www.linde-gas.es>)
- <https://hydrogeneurope.eu/>
- Nel Hydrogen (<https://nelhydrogen.com>)
- Atlas Copco (<https://www.atlascopco.com/es-es>)

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

14. Anexos

14.1 Anexo I: Plan Estratégico y Financiero

Fichero Excel Adjunto: “Plan estratégico y financiero HydroGreen”

Máster Executive Energía Renovable y Mercados Energéticos - Curso 2019/2020.
Grupo 4: Proyecto HydroGreen

14.2 Anexo II: Infografía Modelo de Negocio HydroGreen Proyecto piloto "El Manzanal"

