



MEMORIA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

“HIDRÓGENO VERDE: EL CAMINO DE EL HIERRO HACIA LA MOVILIDAD SOSTENIBLE”

Autores:

José Alexandre Costa Gomes - NIE: Y2151075Z

Rafael Jesús Ferrez Martín - DNI: 54984916N

Christofer Melián Ramos - DNI: 79199056M

Tutor: Álvaro González Lorente

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Curso 2023-2024

San Cristóbal de La Laguna, 9 de Julio de 2024

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. LOS COMBUSTIBLES FÓSILES Y LAS EMISIONES DE CARBONO.....	3
2.1.1 Una transición sostenible.....	3
2.1.2 El futuro del combustible sostenible, el hidrógeno verde.....	3
2.2 EL NACIMIENTO DE LA PREOCUPACIÓN MEDIOAMBIENTAL INTERNACIONAL.....	4
2.2.1 Transformación de motor a combustión de hidrógeno verde.....	4
2.3 EL HIDRÓGENO VERDE EN ESPAÑA.....	6
2.3.1 Los distintos tipos de producción de hidrógeno.....	6
2.3.2 Contexto actual de la producción de hidrógeno verde en España.....	7
-El caso de la isla de El Hierro.....	8
3. METODOLOGÍA	9
3.1 OBJETIVOS.....	9
4. ESTUDIO DE MERCADO	9
4.1 MERCADO OBJETIVO.....	9
4.2 ANÁLISIS DE MERCADO, DEMANDA EN CANARIAS Y SUS PRINCIPALES COMPETIDORES.....	10
5. ANÁLISIS TÉCNICO	10
6. ANÁLISIS FINANCIERO	11
6.1 INVERSIÓN EN ACTIVOS FIJOS.....	11
6.2 INVERSIÓN EN ACTIVOS INTANGIBLES.....	12
6.3 PROVISIÓN DE FONDOS.....	12
6.4 FINANCIACIÓN.....	12
6.5 INVERSIÓN Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	14
-VAN.....	15
-TIR.....	15
- Payback.....	16
6.6 VARIACIONES.....	16
-Costes.....	16
-Ingresos.....	16
7. ANÁLISIS LEGAL, REGULADORIO Y MEDIOAMBIENTAL	17
8. POSIBLES RIESGOS	17
9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	18
10. BIBLIOGRAFÍA	20

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Proceso de electrólisis.

Ilustración 2: The hydrogen color wheel.

Ilustración 3: Central hidroeléctrica Gorona del Viento.

Ilustración 4: Parque automovilístico de la isla de El Hierro.

Ilustración 5: Motor de hidrógeno.

Ilustración 6: Composición del parque automovilístico de El Hierro (Unidades de vehículos).

Ilustración 7: Electrolizador.

Ilustración 8: Tanque de almacenamiento de hidrógeno.

Ilustración 9: Estación hidrogenera.

Ilustración 10: Costes de producción de hidrógeno verde.

Ilustración 11: Producción, consumo y gastos de un electrolizador de 5Mw.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias, especialmente a nuestros padres, por su incondicional apoyo y amor a lo largo de nuestra formación académica. Su confianza y motivación han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Merecen una mención especial Lionora y Mariana De Los Ángeles, cuyo cariño y respaldo han sido una fuente constante de inspiración y motivación para seguir adelante. Sin ustedes, este sueño no habría sido posible.

Queremos también darle las gracias a nuestro tutor Álvaro González Lorente. Gracias. Gracias por habernos guiado en este proyecto. Gracias por habernos ayudado a tener un punto de vista más claro de lo que queríamos investigar. Gracias por ayudarnos a transmitir nuestra pasión e intriga por la cual decidimos empezar este proyecto. Gracias sobre todo, por acompañarnos en esta última travesía previa a graduarnos.

Gracias a todos vosotros por habernos apoyado, motivado, querido, y habernos tenido paciencia aquellos días que se hacían tarde estudiando en esta investigación. Todo ha sido posible gracias a vosotros, nunca lo olvidéis.

Firmado:

José Alexandre Costa Gomes, Rafaél Jesús Ferrer Martín y Christofer Melián Ramos

RESUMEN

El cambio climático se encuentra en una situación alarmante para la comunidad internacional; incrementos pronunciados en las temperaturas, escasez de agua, ascenso del nivel mar, alteraciones en el clima y las consecuencias que estas acarrearán. El problema principal reside en la emisión de gases de efecto invernadero, ligados a la actividad del ser humano. Es por ello que en este trabajo de fin de grado hemos realizado un análisis de viabilidad, desde el punto de vista económico y sostenible, de la instalación de una planta de producción de hidrógeno verde situada en la isla de El Hierro. Los resultados obtenidos del proyecto confirman la posibilidad de una transición energética hacia un futuro más verde, donde el hidrógeno verde es el candidato para alcanzarlo. Este proyecto tiene diversos objetivos, como el abastecimiento completo de la isla de El Hierro, combustible suficiente para los vehículos que conforman la isla, el transporte de excedentes a las islas más próximas, además de lograr ser un punto de referencia para territorios con similares características. Esta idea de proyecto no se centra exclusivamente en la isla que conforma el estudio, sino que tiene la meta de alcanzar más puntos donde se pueda permitir esta operación.

Palabras clave: Hidrógeno verde, energías renovables, El Hierro, sector automovilístico.

ABSTRACT

Climate change is an alarming situation for the international community; sharp increases in temperatures, water scarcity, rising sea levels, climate alterations, and the resulting consequences. The main problem lies in the emission of greenhouse gases, linked to human activity. Therefore, in this final degree project, we have conducted a feasibility analysis, from an economic and sustainable perspective, of the installation of a green hydrogen production plant on the island of El Hierro. The results obtained from the project confirm the possibility of an energy transition towards a greener future, where green hydrogen is the candidate to achieve it. This project has various objectives, such as the complete supply of the island of El Hierro, sufficient fuel for the vehicles on the island, the transportation of surplus to the nearest islands, and becoming a reference point for territories with similar characteristics. This project idea is not exclusively focused on the island that forms the study, but aims to reach more locations where this operation can be feasible.

Key words: Green hydrogen, renewable energies, El Hierro, automotive sector.

1. INTRODUCCIÓN

"No podemos seguir quemando carbón en nuestras centrales eléctricas. El carbón también es un recurso finito. Debemos encontrar alternativas, y es una mejor idea encontrar alternativas antes de esperar hasta que nos quedemos sin carbón".

- *Elon Musk.*

Como menciona Elon Musk, podemos destacar la importancia y el impacto que tienen el carbón, el gas y los combustibles derivados del petróleo en nuestro planeta. Los combustibles fósiles han sido durante años, y siguen siendo en la actualidad¹, nuestra fuente principal de energía, sin embargo, es hora de mirar hacia delante y buscar otros medios. Actualmente, nos encontramos en medio de una revolución automotriz tratando de introducir al mercado vehículos menos contaminantes para así tratar de reducir el impacto en el medioambiente. Se trata de cumplir, entre otros, con lo exigido por el Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, en el que se establece la necesidad de elaboración de estrategias a largo plazo por parte de los Estados miembros con una perspectiva de, al menos, 30 años, modificado posteriormente por el Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de junio de 2021 por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática. El compromiso de España con los objetivos marcados en estos Reglamentos de la Unión quedaron recogidos por la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

Esta estrategia de sustitución del parque automovilístico por vehículos no contaminantes no son solo un vehículo para el cambio en la industria del automóvil, sino también para la sociedad en general y como una herramienta para frenar el cambio climático. Nos damos cuenta de lo importante que es este cambio, entre otros, cuando nos detenemos a pensar qué pasará si no adoptamos otro tipo de tecnologías sustituyendo las actuales por otras limpias y sostenibles para, a su vez, intentar disminuir el impacto de la actividad humana sobre el medioambiente. El principal objetivo que perseguimos con este cambio es reducir los efectos del cambio climático, además de reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles que son limitados. Además, este cambio en la movilidad no solo tiene como objetivo estos aspectos, sino que también son el catalizador necesario para un futuro más sostenible y amigable con el medioambiente.

En este estudio trataremos de ver la viabilidad, tanto desde el punto de vista económico como desde la perspectiva de la sostenibilidad, de la implantación de una planta de producción de hidrógeno verde en la isla de El Hierro, que estaría destinada principalmente a proveer de combustible no contaminante a los vehículos terrestres. Para llevar a cabo esta apuesta se precisa, en primera instancia, de un estudio de viabilidad que debería contemplar, al menos, un análisis financiero, otro de índole técnica y de mercado. Tras obtener dichos resultados, trataremos de concluir si es factible la creación de dicha planta y de determinar la capacidad de

¹ A nivel mundial, en 2021, la distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria era: Petróleo (29,3%); Carbón (26,5%); Gas natural (23,4%); Biocombustibles (10,7%); Nuclear (4,9%); Hidráulica (2,5%); Eólica (1,1%); Fotovoltaica (0,9%); Otra (0,8%).
(<https://es.statista.com/estadisticas/600585/suministro-de-energia-primaria-a-nivel-mundial-por-fuente/>)

producción que pueda llegar a tener. De esta forma podríamos llegar a saber el previsible alcance que tendría el proyecto, tanto si es para abastecer sólo a la propia isla de El Hierro o, incluso, si se podría plantear la existencia de un exceso que pudiera llegar a exportarse a nivel regional o nacional.

El hidrógeno verde generado con energías renovables, se presenta como una alternativa, que además de aportar valor al proceso de descarbonización, podrá impulsar el crecimiento de la economía sostenible. En la actualidad presenta grandes retos en su implementación, tales como los altos costes y la necesidad de grandes infraestructuras, aunque existen estrategias y apoyos regulatorios por parte de diversas instituciones gubernamentales que pueden facilitar el desarrollo de este nuevo combustible.

Esta “transformación inevitable” que mencionamos es cada vez más notoria y cobra mayor relevancia en nuestro planeta. Uno de los acontecimientos más importantes a destacar ha sido la introducción de la ley de cambio climático y transición energética en el año 2021. Esta ley hace mención a múltiples objetivos enfocados al medio ambiente, entre ellos; la descarbonización, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lograr una red eléctrica basada en energías renovables y crear una transición hacia una movilidad limpia y sostenible.

Esta ley pone fin a las nuevas matriculaciones de coches de combustión fósil para el año 2040, tratando de introducir en el mercado nuevos tipos de vehículos respetuosos con el medio ambiente. Prevemos que la recaudación del impuesto de productos derivados del petróleo disminuirá con el tiempo, hasta llegar a cantidades ínfimas después de 2035-2040, lo que supondría un problema fiscal y recaudatorio. Sin embargo, la proliferación del hidrógeno verde determinará un avance significativo en la economía al no depender de los barriles de petróleo importados.

El estudio se dividirá en los siguientes apartados. En primer lugar, nos situaremos en el contexto histórico de los coches de combustión fósil y lo que representa cambiar los vehículos de combustión fósil a vehículos de combustión de hidrógeno verde. En segundo lugar, a través de técnicas de recolección de datos, definiremos los objetivos de la investigación. Seguido de esto, haremos un estudio de mercado donde definiremos los stakeholders de nuestro proyecto, para la producción y comercialización de hidrógeno verde. Desarrollaremos un análisis técnico donde describiremos los procesos de generación, tratamiento, almacenaje y uso del hidrógeno verde; seguido de un análisis financiero donde podremos estudiar la rentabilidad del proyecto, así como la inversión necesaria para lograr que una planta de producción de hidrógeno verde en la isla de El Hierro sea eficiente y eficaz a largo plazo. Analizaremos las ventajas fiscales y medioambientales de la implementación de hidrógeno verde en la industria automovilística; y por último, concluimos con futuras vías de investigación.

2. ANTECEDENTES

2.1. LOS COMBUSTIBLES FÓSILES Y LAS EMISIONES DE CARBONO

2.1.1 Una transición sostenible.

Los combustibles fósiles representan aproximadamente un 80% del consumo de energía a nivel global (Raso, 2023). El continente más contaminante es Asia del Pacífico, representando el 50% de las emisiones de dióxido de carbono, con China como el país en cabeza.

El primer vehículo de combustión fósil nació el 29 de enero de 1886 en Berlín, Alemania. Su creador, Carl Benz, creó el primer vehículo motorizado por un motor de gasolina, en un carruaje de tres ruedas. Ese mismo año, Gottlieb Daimler adaptó ese motor para un carruaje de cuatro ruedas. Empezó así la larga historia del mundo del motor, con la compañía de automóviles más longeva, Mercedes-Benz, con la fusión de las compañías de Carl y Gottlieb.

En la actualidad, los motores han ido evolucionando en prestaciones y durabilidad, buscando la eficiencia en combustible y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Pero esto no es suficiente. Según el último informe de Global Carbon Project, en el año 2023 se emitieron 40,9 gigatoneladas de dióxido de carbono (CO₂).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), concretamente el número 7, plantea el acceso asequible a la energía y que sea no contaminante para el año 2030. Es por eso, que se pretende reducir la producción de vehículos de combustión fósil, y lograr una transición a los vehículos eléctricos. Sin embargo, debido a su elevado coste de producción, la escasez de materia prima y el coste de oportunidad que representan, es una solución que se antoja muy complicada.

Desde hace unos cuantos años, se ha estado investigando la opción de implementar el hidrógeno como forma de energía y combustible. El término "hidrógeno verde" o "e-Hydrogen" se dió a conocer mediante el libro "How to avoid a climate disaster", escrito por el empresario Bill Gates. Muchos expertos, como la científica española María Retuerto, investigan la generación de hidrógeno verde para hacerla más eficiente a través de la electrólisis del agua (Ilustración 1), al igual que menciona el ingeniero químico José Luis Aprea, miembro de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

A día de hoy, nos encontramos con un proceso no tan desarrollado para la producción de este tipo de combustible, aunque se busca el completo desarrollo de tecnologías más eficientes y que no consuman tantos recursos para obtener más toneladas métricas (Tm) de hidrógeno verde, según comenta la directora de la Cámara de Hidrógeno de la Andi y Naturgas.

2.1.2 El futuro del combustible sostenible, el hidrógeno verde

El hidrógeno verde, desde su primera aplicación práctica en los globos de reconocimientos utilizados por el ejército francés a finales del siglo XVIII, y hasta la segunda

mitad del siglo XX, ha sufrido un fuerte solapamiento por el carbón, y posteriormente, por el petróleo, debido a intereses puramente económicos, en su mayoría.

No es hasta la segunda mitad del siglo XX que el nombre del hidrógeno verde empieza a resonar. El exceso del uso de los combustibles fósiles no solo trajo consigo su rápido agotamiento, sino que también provocó la preocupación por el ambiente y los efectos adversos sobre el clima. Esto ocasionó un gran impulso para la industria automovilística por la empleabilidad en masa del hidrógeno.

El interés de la industria automovilística en el hidrógeno se centra en la pila de combustible. En esta tecnología, el hidrógeno se quema con el oxígeno para producir electricidad, aprovechando la energía liberada durante la reacción de combustión. Aunque el principio de esta tecnología fue descubierto por el galés William R. Grove, en 1839, su desarrollo significativo comenzó en la década de 1960 por la NASA, que la utilizó para generar electricidad y agua en algunas de sus misiones espaciales. En la actualidad, numerosas marcas líderes en la industria automotriz están desarrollando prototipos de automóviles y autobuses que emplean esta tecnología de pilas de combustible.

2.2 EL NACIMIENTO DE LA PREOCUPACIÓN MEDIOAMBIENTAL INTERNACIONAL

La preocupación y concienciación de que, entre todos, estamos ahogando el planeta, nace en la década de los 60, cuando algunos científicos preveían que para el año 2000, los niveles de dióxido de carbono habrían subido un 25%.

Entre 1960 y los años 2000, se obtuvieron datos que demostraron que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban creciendo a un ritmo desorbitado. A pesar de ello, la comunidad internacional no logró percatarse del gran problema que esto iba a acarrear.

Es por ello que en 1988 se crea el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). Dos años más tarde, este grupo logra demostrar mediante un informe que reflejaba investigaciones de 400 científicos, que el calentamiento de nuestro planeta era un hecho y pedían a la comunidad internacional emprender acciones al respecto.

2.2.1 Transformación de motor a combustión de hidrógeno verde.

Desde la creación del primer motor eléctrico del mundo (1828), en 1888 se logra inventar el primer coche eléctrico, a manos de Andreas Flocken. Alemania consigue así dar el primer paso hacia un futuro prometedor del sector automovilístico.

A pesar de que algunos historiadores estiman que en torno a un tercio de los coches en las calles de Estados Unidos eran eléctricos en 1900, estos fueron opacados rápidamente por los coches de combustión fósil una década más tarde. Esto se debe principalmente al crecimiento exponencial de las necesidades de movilidad tras finalizar la Primera Guerra Mundial, puesto que estos vehículos eran más económicos.

En 1945, una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial que provocó la escasez del combustible, y tras la crisis del petróleo en 1973-1978, resurge así el interés por los coches eléctricos. Más tarde, en 1996 se presenta un arquetipo que sentaría las bases del futuro del sector, el modelo EV-1, permitiendo aumentar la autonomía del kilometraje hasta los 225 km debido a las baterías de níquel-metalhidruro. Sin embargo, la producción se detuvo por sus altos costes y su baja rentabilidad.

Posteriormente, Tesla recogió el testigo del EV-1 y en 2008 lanzó el modelo Roadster. Este modelo incluía baterías de ion de litio, que permitieron conseguir una autonomía de 300km. Hoy en día, todos los coches eléctricos emplean una técnica similar a la de Tesla. El mayor rendimiento de estas pilas de litio animó a varias marcas a lanzar nuevos modelos sostenibles con el medio ambiente.

En un principio se creía que los coches eléctricos serían el futuro prometedor del sector automovilístico, sin embargo, esto finalmente no parece ser así. Muchos estudios y expertos de los países nórdicos apuntan a que los coches eléctricos no tendrían cabida en el largo plazo debido a lo altamente contaminante que supone la producción de las baterías de dichos vehículos. Esto se debe a los materiales de su composición, tales como, el litio, cobalto, níquel, etc.

Debido a los materiales requeridos para fabricar los coches eléctricos, un estudio de La Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente (T&A), afirma que la cantidad disponible de dichos materiales sería suficiente para fabricar únicamente 14 millones de coches eléctricos en 2023.

Desde la Universidad Noruega de Ciencias y Tecnología (NTNU), apuntan que la imposibilidad de reciclar las baterías de los coches una vez acaba su vida útil en el sector, hace que sean muy poco sostenibles. Según comenta Sulalit Bandyopadhyay, profesor asociado y experto en pilas del Departamento de Ingeniería Química de la NTNU, "Las baterías podrían diseñarse y producirse de nuevas formas que lo hicieran mucho, mucho más fácil". "Sí, es más caro fabricar pilas más fáciles de reciclar. Pero el día que la normativa sobre reciclaje sea más estricta, costará dinero rediseñar y reconstruir la producción de baterías". "Las baterías podrían diseñarse y producirse de nuevas formas que lo hicieran mucho, mucho más fácil". Este profesor lleva años investigando las posibilidades que tienen las baterías para ser recicladas. Aunque señala que, las fábricas de baterías no las hacen reciclables debido a motivos económicos.

Es por ello que surge la necesidad de buscar otras alternativas que sean más respetuosas con el medio ambiente. Varias marcas de gran reconocimiento, como Hyundai y Toyota, ya están apostando por el hidrógeno verde, con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ a cero. Los únicos vehículos de combustión de hidrógeno que se venden en España actualmente son de estas marcas, el Hyundai NEXO y el Toyota Mirai, sin embargo, el número de estos vehículos en territorio nacional es muy escaso, con un total de 25 unidades, con fecha de 2023.

El hidrógeno verde es una opción mucho más sostenible que los coches eléctricos a la hora de cumplir el objetivo de cero emisiones. Asimismo, los recursos para producir el hidrógeno verde son prácticamente ilimitados, puesto que estos provienen de un proceso denominado electrólisis, proceso en el cual se dividen las moléculas de hidrógeno y oxígeno provenientes del agua. Este procedimiento requiere de electricidad, sin embargo, es importante recalcar que la electricidad requerida puede provenir de diversas fuentes, ergo, el hidrógeno verde no es el único tipo de hidrógeno proveniente de energías renovables.

La principal dificultad que enfrenta la electrólisis y en consecuencia, el hidrógeno verde, radica en la poca madurez de las tecnologías que hay disponibles actualmente. A lo largo de los distintos procesos que el hidrógeno verde se ve envuelto, este pierde una gran cantidad de eficiencia y eficacia, debido a que mucha energía, desde que es producida hasta que es almacenada, se pierde. Según el instituto de investigación independiente Hydrogen Science Coalition, en el proceso de producción de hidrógeno por electrólisis a partir, por ejemplo, de fuentes renovables y durante su transporte por gasoducto, se puede llegar a perder hasta un 80% de la energía invertida.

Con todo ello, si bien los coches eléctricos pueden ser una alternativa a corto plazo, y una transición para un futuro más verde, no hay que olvidar a los coches de hidrógeno sustentados por energías renovables, puesto que esto es, a priori, la alternativa más viable para conseguir el objetivo de cero emisiones a largo plazo.

2.3 EL HIDRÓGENO VERDE EN ESPAÑA

2.3.1 Los distintos tipos de producción de hidrógeno.

Según su procedencia o su proceso de producción, podemos clasificar al hidrógeno en diferentes tipos. La forma de clasificar el hidrógeno se divide por colores. Veamos los diferentes tipos de hidrógeno, del más al menos perjudicial para el medio ambiente (Ilustración 2).

Primeramente nos encontramos con el hidrógeno marrón/hidrógeno negro. Es un tipo de hidrógeno que se obtiene a partir del carbón o el lignito. Se obtiene a través de un proceso de gasificación, donde se quema el carbón a temperaturas muy elevadas, obteniendo el producto deseado, pero es la forma más contaminante de obtenerlo, pues no solo producimos hidrógeno, sino que es donde más dióxido de carbono se produce también (CO₂ de ahora en adelante).

Seguidamente, nos encontramos con el hidrógeno gris, un tipo de hidrógeno que se obtiene a partir del gas natural y otros hidrocarburos ligeros, sin embargo, libera grandes cantidades de CO₂, aunque menos que la forma anterior. Actualmente, es el más usado en España.

Nos encontramos ahora con dos tipos muy similares, pero que su resultado final los diferencia. Por un lado tenemos el hidrógeno turquesa, que se obtiene a partir de pirólisis de metano, generando carbono sólido, y además, capturando el CO₂ en su interior. Y por otro lado, nos encontramos con el hidrógeno azul. La diferencia radica en que el hidrógeno azul libera

hidrógeno y que el CO₂ posteriormente ha de ser capturado y almacenado por un sistema llamado CCUS, una tecnología que usan petroleras como Repsol en España y que buscan reducir la liberación de CO₂ a la atmósfera.

Otro tipo de hidrógeno es el púrpura, rosa y rojo. Estos tipos de hidrógeno son obtenidos como resultado de una reacción nuclear, por lo que no genera tanto CO₂ como otros tipos de obtención del hidrógeno, pero genera grandes cantidades de residuos nucleares que tardan miles de años en desaparecer.

Nos encontramos ahora con los tipos de hidrógeno más sostenibles. Primero destacamos el hidrógeno dorado, que se obtiene a partir de residuos orgánicos y la captura del CO₂ con tecnologías que reducen sus emisiones. En segundo lugar, destacamos el hidrógeno blanco, que es el que se obtiene naturalmente de depósitos en el subsuelo. El tercer lugar, nos encontramos con el hidrógeno amarillo, que se obtiene a partir del uso de la energía solar. Y por último, nos encontramos con el hidrógeno verde, una manera de obtener hidrógeno a partir de la electrólisis usando energías renovables, separando el agua en moléculas de hidrógeno y oxígeno sin liberar CO₂. Esta es la forma más sostenible de producir hidrógeno y es por ello que nos centraremos en este tipo de producción en nuestro proyecto.

2.3.2 Contexto actual de la producción de hidrógeno verde en España.

Actualmente en España se consumen aproximadamente 500.000 toneladas de hidrógeno al año, siendo el 99% de hidrógeno gris y se utiliza principalmente en refinerías y fabricación de productos químicos. Este tipo de hidrógeno no cumple en absoluto con los parámetros establecidos en la hoja de ruta hacia la descarbonización de nuestro país en los próximos años.

El hidrógeno verde supone una parte diminuta (menor del 1%) del total de producción de hidrógeno en España y de dicha producción se destina el 80% a la producción de amoníaco, el 18% a otros usos y solo un 2% a la movilidad. Dicha fuente de energía ha despertado mucho interés en la comunidad internacional, tanto en el sector privado como en el público. Desde un enfoque energético, es una alternativa sostenible, limpia (emite cero emisiones) y rentable en el largo plazo, ajustándose a los ODS, a las políticas aprobadas por la UE y a la descarbonización del país.

Dicha fuente de energía se encuentra en una fase inicial de investigación (iniciación y desarrollo), con lo que es un momento clave para todas aquellas entidades que desean involucrarse y comprometerse con esta línea de negocio, ya que se prevé que puede generar un alto impacto en la sociedad y en nuestro medio ambiente.

En los últimos años, uno de los principales retos que ha enfrentado el hidrógeno verde como combustible para el sector automovilístico y su implantación como fuente de energía renovable que pueda sustituir a los combustibles fósiles, reside en los altos costes presentes en la producción y la alta inversión necesaria para crear las plantas de producción, la instalación de suficientes puntos de carga e hidrogeneras que puedan cubrir las necesidades de la demanda.

Según diversos análisis expuestos en la estrategia canaria del vehículo eléctrico se prevé que en 2030 el parque automovilístico en Canarias será de 1.669.825 vehículos, de los cuales solo habrán 262.897 descarbonizados, y de estos ya habrán 23.716 propulsados por hidrógeno. Además, serán necesarias aproximadamente 17 hidrogeneras como mínimo, 249.765 puntos de recarga y 1.700 estaciones de servicios que también sirvan como puntos de emergencia.

Se considera que la implementación del hidrógeno verde como combustible para los vehículos terrestres requerirá de una alta inversión en I+D en distintas áreas, tanto a nivel tecnológico como a nivel socio-económico. El desarrollo de estas nuevas tecnologías podría facilitar la gestión de un nuevo panorama basado en energías renovables, dejando atrás los combustibles fósiles.

Dentro de la estrategia sostenible en las islas canarias, se estima que la descarbonización del archipiélago contará con un presupuesto de 467,67 millones de euros, que se aplicaran en diversos ámbitos, involucrando nuevos usos del alto potencial de la energía, como la transformación en hidrógeno y sus respectivas aplicaciones, la optimización del uso del agua en la producción de dichas energías, entre otros.

El hidrógeno verde dentro de este contexto cobra gran relevancia ya que es un vector energético de gran versatilidad, con capacidad de adaptación en diversas aplicaciones (energía térmica, sistema de almacenamiento tras re-electrificación, combustible marítimo y aéreo, elaboración de queroseno y amoniaco, etc.), siendo el combustible para vehículos, principalmente vehículos pesados o turismos, la aplicación con mayor expectativa de alcanzar los niveles más altos de eficiencia y rentabilidad.

La estrategia canaria del hidrógeno verde, contempla la instalación de plantas destinadas a la producción que se alimenten en su totalidad de energías renovables con la intención de cumplir con los objetivos fijados en la declaración de emergencia climática, en función a la posible demanda de hidrógeno para 2040. Se estudia la posibilidad de instalar dichos centros de producción en polígonos industriales, alimentados por energías renovables, originarias de parques eólicos y plantas fotovoltaicas.

-El caso de la isla de El Hierro

La isla de El Hierro es la más avanzada del archipiélago canario en cuanto a las energías renovables, siendo un referente internacional en sostenibilidad. Esta isla cuenta con el proyecto de la central hidroeléctrica “Gorona del Viento” (Ilustración 3), conformada por dos grandes depósitos de agua, una central hidroeléctrica, un parque eólico y una central de bombeo. El Hierro ha logrado hitos históricos a nivel mundial, logrando ser la isla que más tiempo ha generado la electricidad suficiente de origen renovable, para abastecer la demanda íntegramente.

Por dicho motivo, analizaremos la viabilidad de crear una planta de hidrógeno verde que pueda contribuir a la descarbonización de nuestro archipiélago. Conectada a la central

hidroeléctrica de la isla, puede nutrirse de las energías renovables, y al mismo tiempo, sirve para almacenar grandes cantidades de energía y aumentar la cantidad de tiempo que puede abastecer la demanda de la isla.

3. METODOLOGÍA

La metodología a seguir en este proyecto es la siguiente: comenzaremos definiendo un problema que abordaremos durante todo el estudio. Posteriormente, buscaremos la información existente sobre el problema y las soluciones que se han podido obtener. Para todo este proceso de búsqueda de datos y definición del problema, la información previamente elaborada nos ayudará a tener un contexto actual. Realizaremos un estudio de mercado evaluando la demanda actual y futura, las tendencias del mercado, sus productos sustitutos, y su alcance. Tras definir el mercado objetivo, haremos un análisis técnico considerando diferentes aspectos operativos, los recursos disponibles, la capacidad de producción y logística. Posteriormente, llevaremos a cabo un análisis financiero para determinar la rentabilidad de la planta, así como de los aspectos financieros más importantes a tener en cuenta. Por último, antes del informe final concluyente y las futuras líneas de investigación, realizaremos un análisis regulatorio y medioambiental para determinar el impacto de la planta de producción de hidrógeno verde.

3.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es determinar la rentabilidad a largo plazo, de la creación de una planta de hidrógeno verde en la isla de El Hierro. Nuestra meta es que la isla emita cero emisiones de CO₂, tanto en el sector energético como en el automovilístico. Debemos situar la planta de producción en un espacio físico idóneo; analizar la posibilidad de conectar el centro de producción de hidrógeno verde al sistema eléctrico renovable existente en la isla. Estudiar los diferentes factores económicos claves que ejercen una influencia significativa en el proyecto, estimar el tiempo que tomaría obtener beneficios sobre la inversión, e investigar las subvenciones que podrían aplicarse al proyecto.

4. ESTUDIO DE MERCADO

En este apartado trataremos de definir el mercado objetivo del hidrógeno verde, analizar la demanda de hidrógeno en Canarias, los principales competidores a los que se enfrenta y las tendencias de consumo de hidrógeno verde.

4.1 MERCADO OBJETIVO

El hidrógeno verde va dirigido a todas aquellas personas que buscan un estilo de vida más sostenible y que muestren interés por preservar el medioambiente para las futuras generaciones. Este proyecto se centra en el hidrógeno verde como alternativa de combustible para los vehículos, por lo que restringimos la edad del público objetivo a partir de los 18 años de edad. Restringimos la ubicación a la isla de El Hierro, pues es donde aplicaremos el estudio de este proyecto. Actualmente podríamos cuantificar el tamaño de nuestro mercado objetivo a unas 10.385 personas (según el INE, 2023), puesto que es el parque automovilístico que compone la isla de El Hierro.

4.2 ANÁLISIS DE MERCADO, DEMANDA EN CANARIAS Y SUS PRINCIPALES COMPETIDORES

Si bien el mercado de hidrógeno verde está en una fase inicial, el crecimiento del mismo se encuentra actualmente en constante desarrollo, debido a la urgencia de encontrar una alternativa más sostenible a largo plazo que reemplace a los combustibles fósiles. En Canarias, Migdalia Machín, consejera de Universidades, Ciencia e Innovación y Cultura del Gobierno de Canarias, apunta que el 74,6% de la demanda de energía final de Canarias va destinada al sector de movilidad, el sector terrestre representa el 35,4%; el aéreo un 8,2% y el marítimo el 31% (Gobierno de Canarias).

Debido a que nos centraremos en el sector de la movilidad y el transporte particular, en un primer momento buscaremos tener la capacidad de abastecer el total del parque automovilístico de la isla de El Hierro (10.385, Ilustración 4). De esta forma, se prevé cubrir la demanda de combustible. A medida que se pueda aumentar la producción, buscaríamos cubrir la demanda de la siguiente isla de la provincia con menor densidad de población, La Gomera. La demanda estimada de hidrógeno verde en la isla de El Hierro la podemos estimar en función de la cantidad de vehículos, ya sean de combustión fósil o eléctricos, su demanda de abastecimiento, y la autonomía que ofrece el hidrógeno verde.

Destacamos, que al ser un tema tan novedoso, contaremos con escasos competidores. En Canarias, actualmente solo hay dos proyectos similares al nuestro, localizados en la localidad de Granadilla de Abona en Tenerife, y otro en Pozo Izquierdo en la isla de Gran Canaria. A nivel nacional y europeo existen distintos proyectos de la misma naturaleza, lo que no supone una amenaza para nosotros puesto que nuestro enfoque está dirigido a la isla de El Hierro. Es muy importante tener en cuenta que nos encontramos en el momento idóneo para posicionarnos en el mercado, y sobre todo, lograr que la isla de El Hierro sea un referente en el proceso de descarbonización.

5. ANÁLISIS TÉCNICO

Cualquier motor actual puede optar a usar el hidrógeno verde como su fuente de combustible principal. A través de una actualización en el motor, podemos dejar atrás el diésel y la gasolina, y actualizarnos a este combustible más sostenible. Esta transformación se consigue integrando un nuevo inyector en la cámara de combustión, para que así el motor pueda aceptar la entrada de hidrógeno. Además, se necesita una instalación de depósitos donde almacenar el hidrógeno (Ilustración 5). Actualmente estos depósitos pueden ser de compresión o hidrometálicos de diferentes modelos. Es relevante mencionar, que podemos hacer los cambios en cualquier tipo de vehículos, desde compactos turismos particulares, hasta camiones de uso industrial, aunque la diferencia radica en los costes de transformación del motor. Mientras que la transformación de turismos puede estar entre los 3.500€ y los 4.000€, la transformación en vehículos industriales puede estar en torno a los 20.000€. Esta diferencia se debe principalmente al número de cilindros y a los depósitos que se deben instalar.

El parque automovilístico de la isla de El Hierro cuenta con 10.385 vehículos, de los cuales 10.139 son propulsados por motores de combustión fósil, lo cual representa un 97,63%, y solo un 2,73% son vehículos con motores impulsados por otras energías alternativas (Ilustración 6). Los cálculos que se realizarán en este proyecto se harán tomando en cuenta una autonomía media del depósito de 500 km.

La demanda prevista para los 10.139 vehículos, teniendo en cuenta una autonomía media de depósito de 500 km, y teniendo en cuenta que la cantidad de hidrógeno que se necesita para lograr dicha autonomía es de 5 kg de hidrógeno, supone una producción mínima de 50.695 kg de hidrógeno verde. Al año, la media de kilómetros que suele recorrer un individuo está entre los 15.000 y los 27.000 kilómetros. Tomando los datos del extremo superior, puesto que es el escenario de mayor demanda prevista, al año se recorrerán un total de 273.753.000 kilómetros, requiriendo así un total de 2.737.530 kilogramos de hidrógeno verde para poder sustentar toda la isla de El Hierro durante un año natural. Para poder cubrir la demanda de hidrógeno verde que presenta la isla se prevé la instalación de 3 electrolizadores (tipo PEM) de 5 MW, capaces de producir aproximadamente 717.120 kilogramos de hidrógeno verde al año.

6. ANÁLISIS FINANCIERO

6.1 INVERSIÓN EN ACTIVOS FIJOS

En primer lugar, necesitamos un terreno apropiado. El terreno debe ser amplio y llano. Calculamos aproximadamente 3000 metros cuadrados, para así reunir las condiciones suficientes para la instalación de la planta de producción, el sistema de almacenamiento y una hidrogenera. Además, se debe tener en cuenta que algunas máquinas no pueden estar a la intemperie, por lo que se deberá realizar una pequeña construcción que pueda resguardarlas.

En segundo lugar, y siendo lo más importante de la planta, planeamos instalar 3 electrolizadores de 5 Mw cada uno (Ilustración 7); 5 tanques de almacenamiento de hidrógeno de con una capacidad de 2.700kg cada uno (Ilustración 8); y por último, una estación hidrogenera (Ilustración 9).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, estimamos un presupuesto que se desglosa en la siguiente tabla:

Descripción	Unidades	Precio
Terreno	3000m ²	100.000€
Construcciones	-	185.000€
Electrolizador 5 Mw	3	12.000.000€
Tanque de almacenamiento de hidrógeno	5	7.500.000€
Construcción de puesto hidrogenera	1	3.875.000€

Fuente: Tabla de elaboración propia

6.2 INVERSIÓN EN ACTIVOS INTANGIBLES

Por la parte de los activos intangibles, nos encontramos con las licencias para la producción y comercialización del hidrógeno verde, las patentes y la propiedad intelectual, y por último, las certificaciones y normas con que debe contar la planta.

En primer lugar, las licencias necesarias para la producción y comercialización del hidrógeno son la licencia de operación industrial, la licencia ambiental y el permiso de emisiones, el permiso de construcción de la fábrica y por último, el permiso de seguridad y salud operacional. Por otro lado, para poder almacenar el hidrógeno, se debe contar con la licencia de almacenamiento de materiales peligrosos.

En lo que se refiere a propiedad intelectual y patentes, solo haría falta registrar alguna patente si se logra encontrar una forma más eficiente de gestionar los recursos (agua, luz, etc.).

Respecto a las normas y certificaciones que ha de cumplir la planta, destacan la certificación ISO 14687 (especificaciones de calidad del hidrógeno) y la ISO 16110 (especificaciones para la producción de hidrógeno). Además, a la hora de comercializar el hidrógeno se necesita el certificado de Conformidad Europeo, asegurando que se cumplen con los requisitos de salud y control.

El coste total para adquirir todos estos permisos, se encuentra entre los 200.000€ y los 350.000€, debido a que ciertas certificaciones no tienen un coste predeterminado y son en base al proyecto que se propone.

6.3 PROVISIÓN DE FONDOS

Debido al continuo funcionamiento de la maquinaria, estimamos un valor de mantenimiento anual del 4% sobre el valor de compra. Partiendo de estos datos, podemos desglosar el importe de los mantenimientos en: 480.000€ para el mantenimiento de los electrolizadores, 300.000€ para el mantenimiento de los tanques de almacenamiento y 155.000€ para el mantenimiento de la estación hidrogenera (Ilustración 6), sumando un total de 935.000€ al año.

Respecto a los empleados de la planta, estimamos contratar el servicio externalizado de 2 técnicos que realicen el mantenimiento de los electrolizadores y los tanques de almacenamiento una vez por semana; y además, requerimos de 4 empleados que se dedicarán exclusivamente al funcionamiento de la estación hidrogenera. Este presupuesto alcanzaría el valor de 1.700€/mes por cada técnico, y 1.950€/mes por cada empleado de la estación hidrogenera, sumando un total de 11.200€ al mes (134.400€ al año).

6.4 FINANCIACIÓN

Los mecanismos de financiación, provenientes tanto del sector público como del privado, cobran gran relevancia para poder llevar a cabo proyectos innovadores y tecnológicos como el nuestro, por lo que a continuación detallamos diferentes instrumentos nacionales y europeos.

A nivel nacional se encuentran los siguientes:

Proyectos CIEN: Impulsado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial. Dirigido a grandes proyectos de investigación industrial, en los cuales deben estar involucradas un mínimo de 3 empresas y fomenta la colaboración público-privada. El presupuesto que se solicita debe encontrarse entre los 5 y los 20 millones de euros, y consiste en una cobertura financiera que puede soportar hasta el 85% del presupuesto aceptado, con un tipo de interés EURIBOR de 1 año y un periodo de devolución de entre 7 a 10 años.

Misiones Ciencia e Innovación: presentada también por el CDTI pero en este caso se trata de una subvención que se ofrece a grandes iniciativas estratégicas implicadas con la innovación y el desarrollo, las cuales deben tener el objetivo de contribuir a ciertas misiones (Energía segura, eficiente y limpia para el siglo XXI, Movilidad sostenible e inteligente, Impulsar a la industria española en la revolución industrial del siglo XXI) de gran relevancia en los retos económicos y de descarbonización de nuestro país.

Dicha subvención está dividida en dos categorías: Una destinada a grandes empresas, que abarca un presupuesto entre 5 y 10 millones de euros y otra destinada a PYMES que cubre un presupuesto entre 1.5 y 3 millones.

Plan MOVES II: Se trata de una subvención coordinada e impulsada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y se puede acceder a ella mediante distintas convocatorias gestionadas por las comunidades y ciudades autónomas. Su principal objetivo es contribuir a la descarbonización del sector del transporte mediante el uso de energías alternativas como el hidrógeno verde.

Esta subvención está implicada en diferentes actuaciones como la adquisición de vehículos de energías alternativas, implantación de infraestructura de recarga de vehículos, implantación de sistemas de préstamos de bicicletas eléctricas y la implantación de medidas de movilidad sostenible al trabajo. La cuantía de la ayuda variará en función de lo que se solicita; en el caso de la implantación de medidas de movilidad, como es el caso de la instalación de la estación hidrogenera de la planta, será de un 40 o 50% del coste subvencionable con un límite de 500.000 euros.

Otros mecanismos que pueden ser de gran utilidad son los Programas de la Secretaría general de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa de apoyo financiero a la industria, los cuales ofrecen apoyo financiero a través de préstamos a largo plazo para así mejorar la

competitividad industrial o contribuir a la reindustrialización. La secretaría que ofrece este instrumento financiero pertenece al Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

A nivel europeo existen diferentes instrumentos que cuentan con un gran potencial para apoyar e impulsar proyectos como el nuestro, a continuación mencionamos algunos:

Innovation Fund: La ayuda de este proyecto podría ser de hasta el 60% de los costes de capital y operativos asociados a la innovación.

Horizon Europe: Continuación del proyecto Horizon 2020, cuenta con un presupuesto de 75.900 millones de euros para los años 2021-2027, centrado en reforzar la ciencia y la tecnología de la Unión Europea, promover la competitividad industrial de la UE y el rendimiento en innovación, y cumplir con las prioridades estratégicas de la Unión.

Clean Hydrogen Alliance: Dirigida por la comisión europea encargada de canalizar un instrumento de financiación que apoye el desarrollo de nuevas tecnologías del hidrógeno verde y las pilas de combustible. Dotada con un presupuesto de 2.600 millones de euros. Los principales pilares de esta ayuda abarcan la producción del hidrógeno mediante la electrólisis, la distribución y almacenamiento del hidrógeno a gran escala y los diferentes usos del hidrógeno en la movilidad, calor, potencia e industria en general.

6.5 INVERSIÓN Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Con respecto a la inversión inicial hemos estimado que necesitaremos un presupuesto de 23.660.000€. En su mayoría, se pretende utilizar fondos ajenos, mediante subvenciones ofrecidas por la Unión Europea, existiendo también la posibilidad de solicitar alguna subvención por medio de diferentes mecanismos nacionales.

Los costes podemos diferenciarlos entre costes de capital (CAPEX) y costes operativos (OPEX). La empresa TCI GECOMP, nos ofrece la siguiente información (Ilustración 10) con respecto a un proyecto similar al nuestro, en el que se instala un electrolizador de 5 MW, teniendo una producción horaria de 89 kg de hidrógeno por hora, suponiendo una producción anual de 416.520 kg, con un consumo de agua de 4536 metros cúbicos al año. La producción total siempre dependerá de las horas de actividad que tenga la planta.

En nuestro caso, prevemos instalar 3 electrolizadores de 5 MW, con lo que la producción anual, el consumo de agua y el consumo de electricidad sería mayor al expuesto en el proyecto de referencia. No obstante, podemos extrapolar la información y desarrollar nuestro estudio. La empresa FRV, líder en energías renovables a nivel internacional, espera que en 2025 el coste de producir cada kilogramo de hidrógeno verde tenga un coste unitario de 4,41€ (Ilustración 11). Utilizaremos este importe para llevar a cabo nuestro estudio. Es importante recalcar que dicho coste puede variar con el tiempo (con tendencia a la baja), aprovechando las economías de escala y los avances tecnológicos esperados.

El precio medio de venta del hidrógeno verde en hidrogeneras, oscila actualmente entre 10€ y 11,6€. Teniendo en cuenta que cada hidrogenera deberá manejar un margen de beneficios, hemos decidido establecer un precio de 7€/kg. Dicho precio se mantendrá constante en este estudio, al igual que los costes. De esta forma podemos definir un escenario futuro con mayor precisión.

Teniendo en cuenta que, funcionando 13 horas al día, cada electrolizador es capaz de producir 416.520 kg de hidrógeno verde al año, se obtiene un total de 1.249.560 kg al año. Nuestro margen de contribución unitario (MCU en adelante) sería de 2,59€ por cada kg vendido.

A continuación definiremos dos escenarios (optimista y pesimista), en los que podremos estimar los beneficios que generará la planta. En el caso optimista, esperamos vender el 85% del hidrógeno que produzcamos a la industria automovilística, lo que reportaría un beneficio de: 1.249.560 x 0,85= 1.062.126 kg vendidos. 1.062.126 kg X 2,59€ (MCU) = 2.750.906,34€ de ingresos anuales minorados los costes variables. El excedente generado, se mantendrá almacenado para su utilización en la estación hidrogenera principalmente.

En el escenario pesimista estimamos que se logre vender el 45% de la producción total (1.249.560 kg), generando unos beneficios anuales de 562.302 kg X 2,59€ de MCU generando unos ingresos de 1.456.362,18€ anuales descontando los costes variables. En este caso, y siempre que exista un excedente, podemos destinarlo a otras industrias como la química, por ejemplo para la producción de amoniaco, tratando de obtener los máximos beneficios posibles. El precio estimado al que se vendería cada kg de hidrógeno en este caso sería de 5,50€, inferior al que se ofrece a la industria automovilística, buscando ser más competitivos y así poder vender el excedente en su totalidad. En este caso, el excedente sería de 687.258kg X 1,09€ (nuevo MCU) = 749.111,22€. Si sumamos ambos resultados, en este escenario tendríamos unos ingresos de 2.205.473,40€ anuales minorados los costes variables.

Los conceptos económicos que llevaremos a cabo para analizar con mayor profundidad y exactitud la viabilidad de este proyecto son el Valor Actual Neto, el cual puede indicar si el proyecto generará beneficios y su cuantía, en relación a la inversión inicial; la Tasa Interna de Retorno, que nos indicará la tasa de rentabilidad del proyecto y el Payback, que consiste en el periodo de tiempo que se necesitará para recuperar el importe total de la inversión inicial.

-VAN²

$$VAN = -V_0 + \frac{FC 1}{(1+i)^1} + \frac{FC 2}{(1+i)^2} + \frac{FC 3}{(1+i)^3} \dots + \frac{FC n}{(1+i)^n}$$

Teniendo en cuenta los escenarios presentados, los resultados obtenidos serían los siguientes: -1.479.920,42€ en el escenario pesimista y 9.168.815,84€ en el escenario optimista. Cuando el VAN es superior a 0, como es el caso del escenario optimista, la inversión resulta rentable. Sin embargo, cuando es inferior a 0 como es el caso pesimista, la inversión no es

² V₀=Desembolso inicial; FC=Flujos de caja; i=Tasa de descuento

económicamente viable. Este problema se podría resolver aumentando los ingresos obtenidos por la venta de hidrógeno a otras industrias.

-TIR³

$$V_0 = \frac{FC 1}{(1+r)^1} + \frac{FC 2}{(1+r)^2} + \frac{FC 3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{FC n}{(1+r)^n}$$

Teniendo en cuenta los escenarios presentados, los resultados obtenidos serían los siguientes: 1,457% en el escenario pesimista y 5,016% en el escenario optimista. En ambos casos, la TIR arroja un porcentaje superior a la tasa de descuento, por ende, puede cubrir el coste del capital.

- Payback

$$Payback = \frac{Inversión\ inicial}{Flujo\ de\ caja\ anual}$$

Según los resultados que arroja el cálculo del payback para los escenarios descritos, el periodo de recuperación de la inversión para el escenario pesimista se establece en 20 años y 10 meses, y para el escenario optimista se establece en 14 años y 1 mes.

6.6 VARIACIONES

-Costes

Supongamos una reducción del 5% de todos los costes, significa que la inversión inicial se reduciría a 22.477.000€, en el escenario optimista el MCU aumentaría a 2,81€ (7€ precio de venta - 4,19€ costes variables unitarios). Por otro lado, en el escenario pesimista, tenemos un aumento del MCU al vender el excedente, que resulta en 1,31€. Calcularemos la variación del VAN, TIR y payback con estos datos.

-VAN: El cálculo del Valor Actual Neto en el escenario pesimista sería de 6.114.059,45 € y en el escenario optimista de 15.957.736,62€. En este supuesto, ambos escenarios serían favorables, pues aumentan los ingresos en el escenario optimista, y se lograría que la inversión fuera rentable en el caso pesimista.

-TIR: El cálculo de la Tasa Interna de Retorno en el escenario pesimista es de 4,168% y en el optimista, 7,229%, mostrando mayor tasa de cobertura del capital que el supuesto del proyecto.

³ V₀=Desembolso inicial; FC=Flujos de caja; r=TIR

-Payback: En el escenario pesimista el periodo de retorno de la inversión sería de 15 años y 4 meses, y en el escenario optimista sería de 11 años y 5 meses, por lo que se recuperará más temprano que la inversión planteada en un principio.

-Ingresos

Supongamos una reducción del 5% de los ingresos, lo cual significa una disminución del 5% de la producción, que se traduce en que los flujos de caja disminuirán a € en el escenario pesimista y 1.543.961,02€ en el escenario optimista. Calcularemos la variación del VAN, TIR y payback con estos datos.

-VAN: El cálculo del Valor Actual Neto en el escenario pesimista sería de -3.632.843,62€ y en el escenario optimista de 6.483.455,77€. En esta ocasión, en el escenario optimista reduce en gran medida su rentabilidad, mientras que el escenario pesimista se desploma en rentabilidad, mostrando una diferencia del 245% con respecto al supuesto principal.

-TIR: El cálculo de la Tasa Interna de Retorno en el escenario pesimista es de 0,630%, y en el optimista, 4,183%, mostrando menor tasa de cobertura del capital que el supuesto del proyecto. En ambos casos, la TIR arroja un porcentaje superior a la tasa de descuento, por ende, puede cubrir el coste del capital.

-Payback: En el escenario pesimista el periodo de retorno de la inversión sería de 23 años y 1 meses, y en el escenario optimista sería de 15 años y 4 meses, por lo que se recuperaría más tarde la inversión que en el supuesto principal.

7. ANÁLISIS LEGAL, REGULATORIO Y MEDIOAMBIENTAL

Aunque el hidrógeno verde se encuentra en una fase de desarrollo inicial, la comunidad europea se ha encargado de iniciar un proceso de regularización normativa. La dificultad del marco regulatorio se halla en que existen diversos factores a tener en cuenta, por lo que se debe analizar a detalle cada aspecto relacionado a su producción, transporte y suministro en España. En Europa, la normativa que se aplicará en un futuro se encuentra en constante modificación, con la finalidad de adaptarla a los avances que presenta la implementación de dicho combustible en nuestra sociedad.

El objetivo se basa en cumplir con la Ley Europea del Clima, aprobada en junio de 2021, donde se establece como objetivo la reducción de las emisiones netas de CO₂ en, al menos, un 55% para 2030 con respecto a los niveles de 1990. La meta que se persigue es que en 2040 sigan disminuyendo los niveles de contaminación de forma significativa, y que en 2050 dichas emisiones de CO₂ sean nulas.

Además del campo legal, existen algunas condiciones medioambientales que deben ser tomadas en cuenta. Si bien los riesgos de contaminación al medioambiente son ínfimos, resulta relevante mencionarlos. Dichos riesgos se centran fundamentalmente en el almacenamiento y transporte, que por las características intrínsecas del propio hidrógeno verde presentan riesgos

de fuga, asfixia y explosión en ambientes cerrados, donde la concentración del gas representa más del 18% y menos del 60%.

8. POSIBLES RIESGOS

Uno de los principales riesgos detectados es la posibilidad de que el hidrógeno verde, en el sector del transporte particular, no tenga la aceptación esperada por parte de los usuarios y los vehículos que utilicen la combustión de hidrógeno verde sólo formen una pequeña parte del total del parque automovilístico. En este caso, habría que destinar el hidrógeno verde producido a otra industria como puede ser la industria química con la producción de amoníaco, o mantener un nivel de almacenamiento suficiente como fuente de energía para la isla.

El hidrógeno verde en sus comienzos ha tenido un gran reto que vencer con respecto a los altos costes de producción, que a medida que se ha avanzado en I+D+i, se han logrado reducir. No obstante, se espera que en los próximos años ese nivel de costes disminuya hasta que se logre establecer un precio final al consumidor rentable y competitivo con respecto a otros productos sustitutos. Resulta relevante mencionar que el proceso para lograr minimizar dichos costes, es muy largo y afecta negativamente a los primeros años de funcionamiento de la planta.

El marco regulatorio es fundamental para el funcionamiento y desarrollo de este tipo de plantas. Al ser una materia innovadora, aún no están definidas ciertas normativas que podrían alterar el futuro de estos proyectos. La permisología es de gran relevancia, por lo que es importante destacar, que el sitio en el que se piensa establecer la planta, debe cumplir con todas las normativas vigentes y se pueda adaptar a las futuras directrices.

En este tipo de proyectos, el apoyo gubernamental es un pilar fundamental. Cuando se trata de subvenciones y colaboración de las entidades públicas, existen riesgos a nivel financiero, ya que es importante que se aprueben los presupuestos dirigidos al sector energético, y que se reciban los fondos necesarios, tanto del sector privado como del sector público.

La posibilidad de que aparezcan otras fuentes de energía renovable, que puedan ser más atractivas, sostenibles, económicas y eficaces, puede representar un riesgo significativo para la producción de hidrógeno verde. Esto implicaría una reducción de la cuota de mercado.

9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Podemos concluir que el hidrógeno verde, considerado un vector energético de gran potencia y utilidad, es una alternativa sostenible a largo plazo. Con el transcurso del tiempo, dicha fuente de energía estimamos que se verá favorecida por las mejoras tecnológicas, la disminución de los costes y el crecimiento que experimentará la demanda. Gracias a ello, se podrá posicionar como uno de los principales referentes en el sector energético y automovilístico.

En nuestro estudio logramos analizar la viabilidad de la instalación de una planta de hidrógeno verde en la isla de El Hierro. Basándonos en distintos supuestos, podemos concluir que la planta podría ser rentable a largo plazo, existiendo cierto grado de incertidumbre en los

primeros años de vida de la planta. Asimismo, estudiamos posibles variaciones que consideramos que podrán ocurrir con alta probabilidad, en las que expusimos una disminución de los costes y en un segundo caso, una disminución de los ingresos.

En el largo plazo, el hidrógeno verde tendrá un comportamiento alcista. Desde una mejora de la tecnología que abarate costes y aumente los ingresos, como de la necesidad de adquirir esta fuente de energía para cumplir con la actual y futuras variaciones de La Ley Europea del Clima. Es por ello que la apuesta hacia un futuro verde acompañado del hidrógeno verde es la alternativa más viable que hay disponible en el contexto actual.

No obstante, debemos recalcar que el apoyo gubernamental es de gran importancia en los primeros años del proyecto, siendo los distintos mecanismos de financiación expuestos, nuestro motor de arranque. El hidrógeno verde se halla en una fase de introducción, en medio de un proceso de transición entre los combustibles fósiles y las energías renovables alternativas, con lo que la rentabilidad de nuestro proyecto dependerá en cierta medida del momento en que empiece a funcionar la planta.

Actualmente la creación de una planta de producción y comercialización de hidrógeno, se encuentra condicionada por el parque automovilístico de la isla. Esto se debe a que la mayoría de vehículos que lo componen, son vehículos propulsados por motores de combustión fósil. Debido a ello, la planta no generaría beneficios en la actualidad. No obstante, se podría destinar la producción hacia otras industrias, como la química. Un producto que está cobrando gran relevancia actualmente por su producción a base de hidrógeno, es el amoniaco verde. Resultaría interesante profundizar en este tema como futura línea de investigación, ya que se podría lograr una sinergia entre el amoniaco verde y el hidrógeno verde. Por otro lado, desde el momento en que se realiza el estudio, y hasta que se constituye la planta en su totalidad, el parque automovilístico podrá cambiar su composición. Otra posible línea de investigación sería analizar las intenciones de compra de vehículos propulsados por hidrógeno verde de los consumidores, o la intención de realizar la inversión en el cambio de motores de combustión fósil a motores alimentados por hidrógeno verde.

Este proyecto, no podría ser posible si no existiera la central hidroeléctrica “Gorona del Viento”, ya que es la principal productora de la energía eléctrica renovable que necesitamos para que funcione la planta. Actualmente, la central se encuentra en fase de ampliación, incluyendo energía fotovoltaica dentro de su producción. Además de esto, sabemos que para un futuro, Gorona del Viento tiene intención de producir hidrógeno verde, resultando muy interesante dada la posible existencia de sinergias entre ambos proyectos.

Por otro lado, se podría estudiar la viabilidad de realizar un proyecto de la misma índole en otra isla del archipiélago, y el transporte del excedente generado en El Hierro, a las islas más próximas, mejorando así la situación medioambiental y económica del archipiélago canario.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Acosta-Febles, E. I. (2021). Análisis del uso del hidrógeno como respaldo a la generación renovable. (Trabajo de fin de grado, Universidad de La Laguna). <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/25468>
- [2] Aguilar-Aguilar, I. R. (2016). Evaluación de alternativas para potencializar el uso de hidrógeno como vector energético. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59336>
- [3] Amrani, L. (2022). Estudio y diseño de un sistema híbrido para producción de hidrógeno. (Trabajo fin de máster, Universidad de Sevilla). <https://hdl.handle.net/11441/131435>
- [4] Ares-Fernández, J. R., Leardini, F., Sánchez-López, C., Fernández, J. F., & Ferrer, I. J. (2019). El hidrógeno como vector energético: Mucho hecho pero casi todo por hacer. Universidad Autónoma de Madrid. <http://hdl.handle.net/10486/688504>
- [5] Arias, P., Agirre, I., Barrio-Cagigal, V.. (2022). Green hydrogen future. DYNA, 97(6). 567-569. DOI: <https://doi.org/10.6036/10685>
- [6] Das, P., Barbir, F., Jiao, K., Wang, Y., & Li, X. (2023). Fuel cells for transportation: An overview. DOI: 10.1016/B978-0-323-99485-9.00013-7
- [7] Espegren, K., Damman, S., Pisciella, P., Graabak, I., & Tomasgard, A. (2021). The role of hydrogen in the transition from a petroleum economy to a low-carbon society. International Journal of Hydrogen Energy.
- [8] Eterovic, J., Alterini, F., Lohigorry, A., & Blanco, G. (2022). Hidrógeno verde: una oportunidad sustentable para el transporte. Universidad Nacional de la Matanza. DOI: 10.54789/reddi.7.1.3
- [9] Eterovic, J., Blanco, G., Alterini, F., Lohigorry, A., & Fauroux, L. (2023). "Green" hydrogen, an alternative as an energy vector in the face of global warming. Universidad Nacional de la Matanza. DOI:10.18687/LACCEI2023.1.1.1213
- [10] García-Conde, A. G. (2010). Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, España.
- [11] Gonzalez-Delgado, A. (2020). Comparación tecnológica entre los diferentes métodos de almacenamiento de hidrógeno. (Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Valencia). <http://hdl.handle.net/10251/144039>
- [12] Gutierrez-Quintana, D. (2022). Análisis de la implantación de hidrógeno como combustible renovable en la isla de Tenerife. (Trabajo fin de grado, Universidad de La Laguna). <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/28773>

- [13] Hunsberger, M.. (2017). Ways to promote innovation in vehicles with hydrogen. DYNA, 92(2). 127-128. DOI: <https://doi.org/10.6036/8282>
- [14] Luna-Calderon, O. (2016). Evaluación de la optimización de un parque eólico situado en Canarias mediante la producción de hidrógeno. (Proyecto de fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid). <https://hdl.handle.net/10016/28481>
- [15] Mañao-Cruz, M. V. (2023). Estudio de prefactibilidad técnica y económica para proyectos de hidrógeno verde a través de energía eólica en la región de Magallanes. (Trabajo de fin de grado, Universidad de Concepción). <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/11501>
- [16] Miranda-Bórquez, F. A. (2013). Estudio de prefactibilidad de una planta de producción de hidrógeno a partir de energía eólica. (Trabajo fin de grado, Universidad Austral de Chile).
- [17] Montero-De-La-Plaza, F. J. (2023). Diseño de una planta fotovoltaica para la producción de hidrógeno verde. (Trabajo fin de grado, Universidad Loyola). <https://hdl.handle.net/20.500.12412/4304>
- [18] Navarro, A. D. (2021). Estudio de viabilidad técnica y económica de una planta para la producción diaria de 20 kilogramos de hidrógeno verde con energía solar fotovoltaica. (Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Valencia). <http://hdl.handle.net/10251/173875>
- [19] Qusay, H., Sameer, A., Aws, Z. S., Hayder, M. S., & Marek, J. (2024). Green hydrogen: A pathway to a sustainable energy future. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 50, Part B, 2024, Pages 310-333,
- [20] Ramiro-Rodríguez, C., Wuthrich, N., Cobos, J., Santa-Cruz, Ricardo., Aisa, S., Jeandrevin, G., & Marcos-Leiva, E.P. (2020). Aspectos económicos y ambientales de la producción de hidrógeno en la provincia de Córdoba, a partir de recursos eólicos. (Trabajo de investigación, Universidad de La Plata). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/98744>
- [21] Sanz Ródenas, V. (2021). Estudio para la descarbonización del sistema eléctrico de potencia de la isla de El Hierro mediante el uso de hidrógeno como vector energético. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/169934>
- [22] Serrano-Casares, F. V., & Cana-Quijada, J. (2015). Generación de hidrógeno a partir de energía solar para su uso en vehículos con célula de combustible. Universidad de Málaga. <http://hdl.handle.net/10630/9958>
- [23] Tisalema-Til, F. E., & Torres-Jumbo, J. G. (2022). Diseño de un sistema de producción de hidrógeno verde utilizando energía fotovoltaica. (Trabajo fin de grado, Universidad técnica de Cotopaxi). <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9784>

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1: Proceso de electrólisis. Fuente: Departamento de energía de EE.UU y Wood Mackenzie.

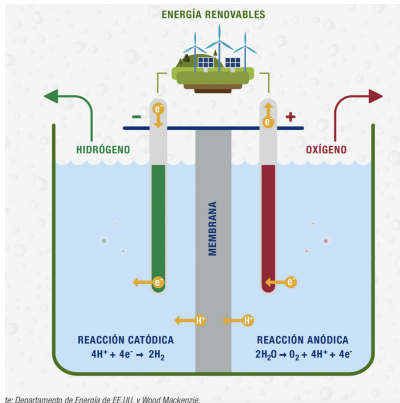


Ilustración 2: The hydrogen color wheel.

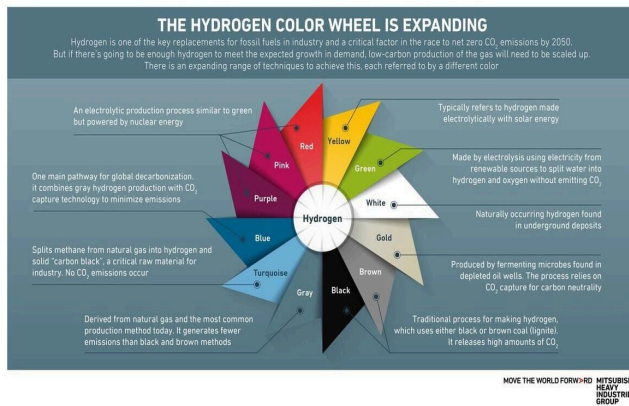


Ilustración 3: Central hidroeléctrica Gorona del Viento. Fuente: Página web oficial de Gorona del Viento.

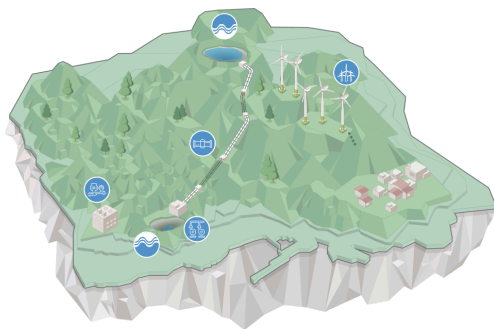


Ilustración 4: Parque automovilístico de la isla de El Hierro. Fuente: ISTAC.

Unidad de medida:	Vehiculos	Periodo de referencia:	Último día del mes
Tipo de dato:	Stock	Periodo base:	-
A precios:	-	Datos ajustados:	-
Ajuste estacional:	-		
Notas:	Mostrar notas a pie de tabla		

► **Tabla de resultados**

2023 Diciembre	
TOTAL	
EL HIERRO	10.385

Ilustración 5: Motor de hidrógeno. Fuente: Empresa Toyota.

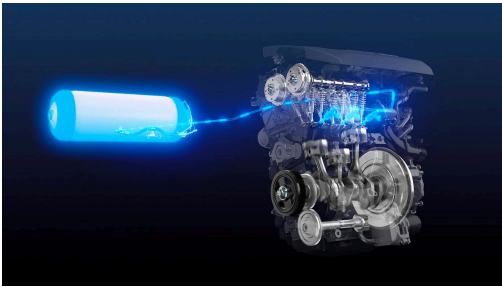


Ilustración 6: Composición del parque automovilístico de El Hierro (Unidades de vehículos).

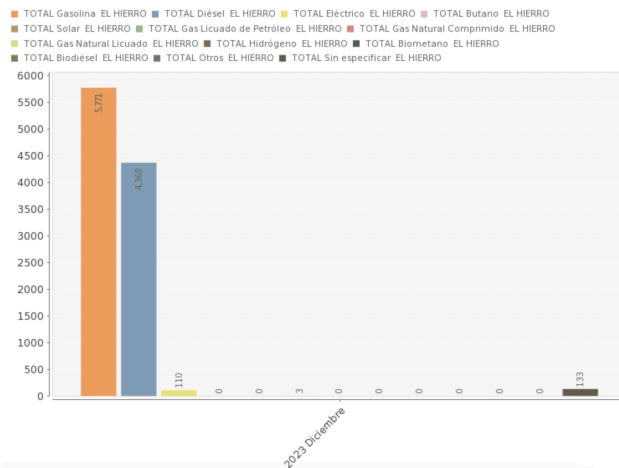


Ilustración 7: Electrolizador. Fuente: Empresa H2B2.

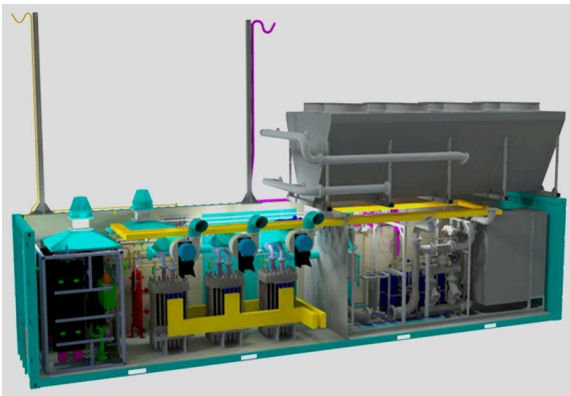


Ilustración 8: Tanque de almacenamiento de hidrógeno. Fuente: Empresa Ariema.



Ilustración 9: Estación hidrogenera. Fuente: Empresa Iberdrola.



Ilustración 10: Producción, consumo y gastos de un electrolizador de 5Mw. Fuente: Empresa TCI GECOMP.

1). Producción de hidrógeno por electrolisis	
TAMAÑO DE PLANTA	5 MW
Producción horaria H2	89,00 Kg/h
Producción anual H2.	416.520 kg/año
Consumo de agua	4.536 m ³ /año
2). Almacenamiento baja presión (deposito 575 m³):	
Equipo:	195.000€
Instalación y obra civil:	25.000€
3) Estación de repostaje de hidrógeno tipo (Compresores, Depósitos a 500bar, Sistema precooling para una carga en 8-12 minutos, dispensadores y sistema de control y gestión diseñada según normativa ISO)	
x Equipos: 2,7 millones de euros. 2 DISPENSADORES	
x Obra civil e instalación 900.000€	
x Servicios de Mantenimiento Anual: 275.000€	
El sistema dispensaría 512.640 kg hidrógeno/año	

Ilustración 11: Costes de producción de hidrógeno verde. Fuente: Estudio hecho por Fotowatio Renewable Ventures (FRV).

