



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

INVERSIÓN EN HIDRÓGENO: EL ACTIVO DEL FUTURO

Autor: Ana Daguerre Torres

Director: Karin Alejandra Irene Martín Bujack

ÍNDICE

1.- PROPÓSITO	7
2.- OBJETIVOS	8
3.- METODOLOGÍA	8
4.- INVERSIÓN EN HIDRÓGENO	9
4.1.- ASG	9
4.2.- POLÍTICAS GUBERNAMENTALES	11
5.- HIDRÓGENO	12
5.1.- CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO	12
5.2.- PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO VERDE	14
5.3.- FUENTE DE ENERGÍA	15
5.4.- ELECTRÓLISIS DEL AGUA	15
5.5.- APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO	17
5.6.- MERCADO ACTUAL Y FUTURO DEL HIDRÓGENO	20
6.- MARCO TEÓRICO	22
6.1.- CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE MARKOWITZ Y LA FRONTERA EFICIENTE	23
6.2.- CRÍTICAS AL MODELO DE MARKOWITZ	25
6.3.- WILLIAM SHARPE	26
7.- ANÁLISIS EMPÍRICO	27
7.1.- BASE DE DATOS	28
7.1.1.- Selección de las empresas utilizadas para el análisis	28
7.1.2.- Horizonte temporal del análisis	29
7.1.3.- Obtención de la información y resumen de la base a utilizar	29
7.2.- EXPLICACIÓN DEL ANÁLISIS EN EXCEL	30
7.3.- ANÁLISIS GLOBAL	32
7.3.1.- Mínima varianza	33
7.3.2.- Máxima rentabilidad	34
7.3.3.- Máximo ratio de Sharpe	35
7.4.- ANÁLISIS POR ZONAS GEOGRÁFICAS	36
7.4.1.- Europa	37

7.4.2.- <i>Norteamérica</i>	39
7.4.3.- <i>Asia</i>	39
7.4.4.- <i>Japón</i>	41
7.4.5.- <i>Resumen del análisis geográfico</i>	42
7.5.- ANÁLISIS SEGÚN LA CADENA DE PRODUCCIÓN	43
7.5.1.- <i>Materiales y componentes</i>	44
7.5.2.- <i>Pilas de hidrógeno</i>	46
7.5.3.- <i>Producción de hidrógeno</i>	48
7.5.4.- <i>Almacenamiento de la energía</i>	48
7.5.5.- <i>Aplicación de la energía</i>	49
7.5.6.- <i>Resumen del análisis de la cadena de valor</i>	50
7.6.- ANÁLISIS DE AQUELLAS EMPRESAS DEDICADAS EN EXCLUSIVIDAD AL HIDRÓGENO	52
7.7.- RESUMEN DEL ANÁLISIS	53
8.- CONCLUSIONES	54
9.- ANEXOS	57
10.- BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Esquema del proceso de obtención de energía a través del hidrógeno	14
Gráfico 2. Esquema 3D de un reactor PEC	17
Gráfico 3. Proceso esquemático de la electrólisis	17
Gráfico 4. La curva de pato	19
Gráfico 5. Proyectos de hidrógeno a nivel mundial, organizado según la cadena de producción	21
Gráfico 6. Mercado potencial del hidrógeno por sectores para 2050	22
Gráfico 7. Esquema de la estructura del análisis realizado	31
Gráfico 8: Distribución geográfica cartera Europa	38
Gráfico 9: Distribución geográfica cartera Asia	41
Gráfico 10. Resumen del análisis geográfico	42
Gráfico 11. Resumen del análisis de la cadena de valor	51
Gráfico 12. Resumen de la relación rentabilidad/riesgo de las carteras analizadas	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los tipos de hidrógeno	13
Tabla 2. Cartera global con la mínima varianza	33
Tabla 3. Cartera global con el máximo ratio de Sharpe	35
Tabla 4. Cartera de inversión en empresas europeas relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	37
Tabla 5: Cartera de inversión en empresas norteamericanas relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	39
Tabla 6: Cartera de inversión en empresas asiáticas excluyendo Japón, relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	40
Tabla 7. Cartera de inversión en empresas japonesas relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	41
Tabla 8. Cartera de inversión en empresas dedicadas a la producción de materiales y componentes para el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	44
Tabla 9. Cartera de inversión en empresas dedicadas a la producción de pilas de hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	46
Tabla 10. Cartera de inversión en empresas dedicadas a la producción de hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	48
Tabla 11. Cartera de inversión en empresas dedicadas al almacenamiento de la energía que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	49
Tabla 12. Cartera de inversión en empresas dedicadas a la aplicación de la energía que maximiza la relación rentabilidad/riesgo	50
Tabla 13. Cartera de las empresas dedicadas en exclusividad al hidrógeno, maximizando la relación rentabilidad/riesgo	52
Tabla 14. Resumen de los ratios de Sharpe de las carteras analizadas	53

RESUMEN

Este trabajo pretende ofrecer una mayor claridad en relación con la inversión en hidrógeno. El desarrollo de esta fuente de energía, en particular del hidrógeno verde, es uno de los objetivos energéticos y de sostenibilidad que mayor crecimiento e inversión ha tenido en los últimos cinco años. En este trabajo se ha realizado un análisis de distintas carteras modelo formadas por empresas de la base de datos de *Infinergia Consulting*. Siguiendo el modelo de Markowitz y William Sharpe se han comparado las rentabilidades esperadas de estas carteras para determinar los criterios óptimos de inversión en hidrógeno. Se han tenido en cuenta por un lado criterios demográficos, clasificando a las empresas por regiones, por otro lado, los procesos de la cadena de producción, siguiendo con la clasificación preestablecida en la base de datos y por último, la diversificación de la actividad empresarial de cada uno de los activos, pudiendo dedicarse o no exclusivamente a proyectos de hidrógeno. Los resultados indican que las empresas de determinadas regiones y procesos de producción podrían obtener un mayor equilibrio entre la rentabilidad obtenida y el riesgo asumido. Este trabajo demuestra además como la inversión en hidrógeno es rentable, pudiendo ser una opción excelente de inversión gracias al futuro prometedor que se espera que tenga este activo.

Palabras y conceptos clave: hidrógeno, inversión sostenible, Markowitz, Sharpe, región geográfica, proceso de producción, diversificación

ABSTRACT

This paper provides greater clarity regarding hydrogen investment. The development of this energy source, particularly green hydrogen, is one of the energy and sustainability objectives that has seen the greatest growth and investment in the last five years. In this work, an analysis of different model portfolios formed by companies that are part of the *Infinergia Consulting* database has been carried out. Following the Markowitz and William Sharpe models, the expected returns of these portfolios have been compared to determine the optimal investment criteria in hydrogen. On the one hand, demographics have been considered, classifying the companies by regions; on the other hand, the processes of the production chain, following the pre-established classification in the database; and finally, the diversification of the business activity of each of the assets, considering whether they are exclusively dedicated to hydrogen projects or not. The results indicate that companies in certain regions and production processes could obtain a better balance between the profitability obtained and the risk assumed. This

work also demonstrates how hydrogen investment is profitable and could be an excellent investment option due to the promising future that this asset is expected to have.

Key words and concepts: hydrogen, sustainable investment, Markowitz, Sharpe, geographic region, production process, diversification

1.- PROPÓSITO

El cuidado del medio ambiente está cobrando cada vez una mayor importancia debido a las repercusiones futuras que podría tener el no gestionar de forma adecuada los recursos del planeta. Al mismo tiempo la población mundial está en constante crecimiento, provocando un aumento relevante de las necesidades energéticas. Ambas circunstancias provocan una mayor necesidad de energía que a su vez sea sostenible y responsable con el medio ambiente. De ahí que hayan surgido numerosas investigaciones para intentar encontrar nuevas fuentes de energía no contaminantes, con el objetivo de preservar el medio ambiente.

En este entorno surgen las investigaciones para el uso del hidrógeno como fuente de energía, teniendo un mayor auge el hidrógeno verde como alternativa energética. Este es aquel proceso que consigue producir energía a través del hidrógeno utilizando otras energías renovables como la eólica o la maremotriz para que la contaminación durante la producción sea prácticamente nula. Estas investigaciones han demostrado que el hidrógeno podría ser una fuente de energía utilizada a nivel mundial gracias a que este elemento está presente de forma abundante. Así, empresas de sectores como el automovilístico han invertido millones de euros en estos proyectos. Además, los gobiernos de más de 130 países han asignado parte de sus presupuestos para incentivar la inversión y el desarrollo de dichos proyectos. Estas circunstancias han favorecido el crecimiento de aquellas empresas en proceso de implementación del hidrógeno como fuente de energía, lo que ha creado una oportunidad de inversión.

Los inversores, también más concienciados por el medio ambiente, han comenzado a introducir criterios medioambientales de cara a la selección de las empresas que vayan a formar parte de sus carteras. Incluso algunos de ellos han creado fondos de inversión en sectores que promuevan el desarrollo sostenible y el cuidado del medio ambiente. Sin embargo, la información en relación con la rentabilidad de las acciones de las empresas que están favoreciendo estos proyectos es escasa. Es aquí donde este trabajo pretende aportar una mayor claridad a través del análisis de la base de datos de *Infinergia Consulting* para dar respuesta a los objetivos propuestos.

2.- OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden conseguir con este Trabajo de Fin de Grado son los siguientes:

1. Entender la importancia del hidrógeno en el mercado actual, así como ofrecer una visión global del funcionamiento y el desarrollo del hidrógeno verde
2. Proporcionar una mayor claridad en relación con la inversión en empresas de hidrógeno verde
3. Crear una cartera de inversión óptima para la inversión en hidrógeno
4. Analizar las diferencias de rentabilidad según las zonas geográficas donde se encuentran las empresas y el proceso de la cadena de valor en el que participan

El objetivo de este trabajo es meramente informativo y en ningún caso pretende ofrecer una recomendación de inversión.

3.- METODOLOGÍA

El trabajo consta de dos partes principales. La primera de ellas más teórica y de tipo descriptiva. Para ello se utilizarán como base las fuentes secundarias más relevantes de aquellos autores que han realizado las investigaciones más recientes sobre la obtención, almacenamiento y aplicación del hidrógeno verde. La fuente principal de información será la base de datos IEEE-Explore creada por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Además, se hace uso de otras bases de datos para la investigación relacionada con el modelo de Markowitz, siendo la principal la base de datos de EBSCO llamada Academic Search Complete.

Posteriormente, en la segunda parte del trabajo se realiza el análisis de los distintos activos. La investigación que se pretende llevar a cabo en esta segunda parte es de tipo predictiva, puesto que basándose en el modelo teórico propuesto por Markowitz se pretende estimar la cartera con mayor rentabilidad. Se utilizará para ello un método cuantitativo inductivo. Así, partiendo de la base de datos llamada Indus H2 Database desarrollada por Infinergia Consulting escogemos la muestra de las empresas seleccionadas entre las 911 empresas que conforman la base de datos. El proceso de la selección muestral y los supuestos asumidos se describen con detalle en la parte de análisis de este trabajo. La información de los precios a los que cotizan

las empresas en el mercado se obtiene de Bloomberg haciendo un análisis posterior en Excel. Así, partiendo de la información inicial y con los valores obtenidos tras la aplicación del modelo se obtendrán las conclusiones que darán respuesta a los objetivos previamente planteados.

Hay que tener en cuenta que el mercado de valores es cambiante y por tanto constantemente aparecen nuevas empresas que empiezan por un lado a desarrollar hidrógeno verde y por otro a cotizar en el mercado de valores. Así, este análisis se ha realizado con los datos proporcionados por la base de datos de Indus H2 Database cuya última actualización tiene fecha de agosto de 2021.

4.- INVERSIÓN EN HIDRÓGENO

La inversión en las energías renovables se ha convertido en una necesidad para poder reducir las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente, en un intento por frenar el avance del cambio climático. Las políticas establecidas por el gobierno, así como la preocupación por parte de los inversores de fomentar la estrategia comúnmente conocida como ASG (Ambiental, Social y Gobernanza) ha creado un entorno muy favorable para la inversión en hidrógeno.

4.1.- ASG

Las siglas de ASG corresponden a la nueva perspectiva que define las nuevas estrategias tanto de las empresas como de los inversores: Ambiental, Social y Gobernanza. Estos tres criterios comenzaron a aplicarse como una estrategia común a finales de los años 60. Es en este momento cuando muchas ONGs querían poner el foco de las organizaciones en estos tres aspectos (Eccles & Strohle, 2018). La presión social por aumentar el cuidado del medio ambiente y la protección a los grupos sociales más vulnerables ha provocado un cambio en la perspectiva económica. Aunque la rentabilidad para las empresas continúa siendo lo más importante, ya no es a cualquier coste. En 1990 la empresa KLD Research and Analytics creó el primer índice de empresas socialmente responsables (KLD Research & analytics, INC, 2007). Debido a la popularidad que adquirió dicho índice, formar parte de la lista de empresas seleccionadas implicaba una mejora de la reputación empresarial, lo que provocó que muchas empresas quisieran ser incluidas. Para conseguirlo, las empresas desarrollaron políticas

alineadas con los principios de ASG. Se crearon planes para la introducción de criterios medioambientales para la selección de los proveedores, algunas empresas establecieron medidas para la reducción de residuos mientras que otras fomentaron la integración de las mujeres en el mundo empresarial (Ionescu, Firoiu, Pirvu y Dana, 2019). Los inversores le dieron también una mayor importancia a estas tres dimensiones por lo que comenzaron a invertir en proyectos que mejorasen las condiciones actuales tanto climáticas como sociales. En consecuencia, redujeron sus inversiones en empresas cuyos niveles de contaminación eran elevados (Escrig, Muñoz y Fernández, 2010). Todas estas tendencias se han desarrollado hasta el punto de que los criterios de inversión han cambiado. En 2006, la Organización de Naciones Unidas promovió la creación de los Principios de Inversión Responsable (PRI por sus siglas en inglés), una nueva institución para fomentar la integración de los criterios ASG en las decisiones de inversión (PRI, 2016).

Siguiendo las directrices de la PRI, los inversores actualmente analizan distintos aspectos más allá de la rentabilidad. Un estudio realizado a más de 250 gestores de activos financieros demostró que la mayoría de ellos han firmado los PIR y por tanto incluyen métricas sostenibles en sus modelos (Duuren, Plantinga, & Scholtens, 2016). Este estudio tiene además dos conclusiones importantes sobre el comportamiento de los inversores. Por un lado, descubrió que estos asocian un mayor potencial de crecimiento a los proyectos sostenibles y es esta la razón última que motiva su inversión. Realmente no están interesados en el impacto que tienen las empresas en las que invierten sino su rentabilidad. Por otro lado, explica que determinados países le dan una mayor importancia a estos criterios que otros. Mientras que en el Reino Unido y la Unión Europea los analistas analizan en detalle la estrategia ASG de las empresas, los inversores americanos apenas las toman en consideración.

A pesar de que determinados inversores decidan no tener en cuenta los criterios ASG, un estudio desarrollado por la empresa MSCI, demuestra que aquellos inversores con unas carteras con un mayor rating ASG obtuvieron una mayor rentabilidad y un menor riesgo sistémico en los últimos años (Giese, 2017). Algunas de las métricas de inversión sostenible más utilizadas por los inversores son los factores medioambientales debido a que su impacto es más sencillo de medir. Se incluyen en los modelos los niveles de polución, los problemas regulatorios futuros y los desperdicios químicos y materiales de las empresas (Semenova & Hassel, 2015). Todas estas métricas favorecen la inversión en proyectos de hidrógeno ya que contamina poco

o nada, según el proceso de obtención utilizado, y no produce desperdicios químicos ya que en el proceso solamente se libera agua (AOP, 2020).

4.2.- Políticas gubernamentales

Invertir en hidrógeno no solo se ha visto favorecido por la estrategia ASG, sino también por las políticas gubernamentales y los objetivos de los países de ser neutrales en carbono. El acuerdo internacional de mayor relevancia en este ámbito es el Acuerdo de París, firmado en 2015 (con entrada en vigor en 2016) durante la COP 21 (la vigésimo primera Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). Firmaron un total de 193 miembros, siendo estos 192 países además de la Unión Europea (United Nations, 2022). Inicialmente el 22 de abril firmaron únicamente 175 miembros debido a que países como Arabia Saudí, Chile o Ecuador fueron más reacios a la hora de firmar el acuerdo (Elcacho, 2016). Se acordó tomar medidas para frenar el avance del cambio climático, limitando el aumento de la temperatura global mediante políticas que lleven a los países a ser neutrales en carbono (Climate Change, United Nations, 2016). Posteriormente a este acuerdo, los países han desarrollado sus propias políticas siguiendo con lo establecido en el acuerdo de París. La Unión Europea (UE) adoptó en mayo de 2020 el Pacto Verde Europeo donde se comprometía a conseguir la neutralidad climática para 2050 (Consejo Europeo, 2022). Además de la UE, más de 110 países se han comprometido a conseguir este objetivo para 2050 entre los que se encuentran Japón o Reino Unido. China ha explicado que pretende conseguir este objetivo para 2060 (Secretary General, United Nations, 2020).

Muchos de estos países han decidido apostar por el hidrógeno como medio para alcanzar la neutralidad en carbono. Concretamente, la Unión Europea a través de programas de financiación como el fondo Next Generation European Union (NGEU) o el fondo de transición del Pacto Verde Europeo estima una inversión media de €35bn en el desarrollo de electrolizadores y una inversión total en hidrógeno para 2040 de €80bn para la implementación de una red de hidrógeno (Clifford Chance, 2021). Dentro de la UE, Alemania ha tenido una estrategia de inversión de las más fuertes a nivel mundial. Su principal objetivo es conseguir que el uso del hidrógeno sea una opción competitiva dentro del mercado energético convirtiéndose en una alternativa rentable y sostenible. Para conseguir este objetivo pretende invertir aproximadamente 10€ bn entre 2020 y 2030 (The Federal Government, 2020). En el

caso de España, se pretende conseguir una capacidad total instalada de 40GW en 2030 para lo que se espera una inversión de 7,5€ bn en el mismo periodo (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Otro de los países cuya política de desarrollo ha sido muy agresiva es Japón, cuya inversión en hidrógeno en 2021 superó los \$500 millones. El país posee además una de las mayores reservas de hidrógeno en Fukushima (Nakano, 2021). En el caso de Estados Unidos tienen un presupuesto de \$20 billones para invertir en proyectos energéticos a través de la Iniciativa del Programa de Prestamos Energéticos. Aunque el país no proporciona en su estrategia un presupuesto exclusivo para el hidrógeno, Estados Unidos ha invertido ya \$4 bn en diversos proyectos de hidrógeno. Un ejemplo es el proyecto en Utah que costó \$1bn para aumentar la capacidad de almacenamiento de esta fuente de energía (U.S. Department of Energy, 2020). Estados Unidos espera un futuro en el que el hidrógeno sea una de las principales fuentes de energía (Office of Nuclear Energy, 2020). Estos son solo algunos ejemplos de países que han implementado también estrategias para fomentar el desarrollo del hidrógeno renovable. Todos estos países consideran que esta nueva fuente reducirá las emisiones considerablemente, proporcionando la energía necesaria para continuar con el desarrollo económico (Agencia Internacional de la Energía, 2022).

En el siguiente apartado se explicará tanto el proceso de obtención del hidrógeno y sus características, como la situación del mercado actualmente y las expectativas de futuro.

5.- HIDRÓGENO

5.1.- Características del hidrógeno

El hidrógeno (H_2) es el primer elemento de la tabla periódica siendo además el más ligero y el más abundante de todos los que se pueden encontrar en el mundo (Moratilla, 2010). Sin embargo, el hidrógeno se encuentra mayoritariamente en compuestos orgánicos como el agua (H_2O) o el dióxido de carbono (CO_2) en lugar de como un átomo independiente.

A pesar de ello, una vez que se es capaz de conseguir el hidrógeno en su forma atómica es muy versátil puesto que se puede utilizar tanto en su forma líquida como gaseosa produciendo energía (Causapé, 2006). Según este autor, el hidrógeno tiene además un nivel energético por unidad de masa de 119,8kJ/g, valores muy elevados especialmente cuando se comparan con

otros materiales utilizados para producir energía como el metano (55,5kJ/g) o la gasolina (43,5kJ/g) con respecto del cual triplica el poder calorífico. Sin embargo, el autor también señala que no todo son propiedades favorables para su uso. Es un elemento muy inflamable e invisible que puede además dañar el estado de otros materiales como el acero. Para su uso como combustible es necesario aumentar su densidad transformándolo en otro estado.

El hidrógeno es una energía limpia puesto que en el proceso de combustión simplemente se libera vapor de agua en lugar de dióxido de carbono, lo que reducirá notablemente los niveles de emisiones. Aunque si bien es cierto que el producto final no es contaminante, el proceso de obtención del hidrógeno si puede serlo. Por esta razón la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP) clasifica el hidrógeno por grupos de altas emisiones, bajas emisiones y emisiones cero (AOP, 2020). Sin embargo, la clasificación más extendida está basada en los colores, siendo incluso utilizado a nivel institucional tras la incorporación de dicha terminología en el informe realizado por la Agencia Internacional de la Energía para la reunión del G20 en 2019 (IEA, 2019). Es por tanto la que se emplea en este trabajo y que se explica en la tabla 1.

Hay que mencionar que, a parte de estos cinco tipos, los científicos comienzan a hablar del hidrógeno morado, el cual se produce obteniendo la energía de plantas nucleares, sin embargo, este es de entre todos el que tiene un menor desarrollo. Se puede observar en la tabla 1 cómo el hidrógeno verde es de entre todos el menos contaminante para el medio ambiente puesto que su producción no libera dióxido de carbono. Además, el proceso de la electrólisis se puede llevar a cabo mediante sistemas energéticos renovables produciendo cero emisiones en todo el proceso tanto de producción como de utilización (Ursua, Gandia, & Sanchis, 2012). A pesar de que no existe una definición concreta de acuerdo universal acerca del hidrógeno verde, todas ellas comparten la idea de que para que el hidrógeno pueda ser considerado verde este tiene que haberse producido con energías renovables (Velazquez y Dodds, 2020).

Tabla 1. *Resumen de los tipos de hidrógeno*

Color	Método de producción	Fuente	Nivel de emisiones del producto final
Negro	Oxidación de hidrocarburos	Carbón	Alto - Emisiones de CO ₂
Gris	Oxidación de hidrocarburos	Gas natural	Alto - Emisiones de CO ₂

Marrón	Oxidación de hidrocarburos	Lignitos	Alto - Emisiones de CO ₂
Azul	Oxidación de hidrocarburos	Carbón, gas natural u otro hidrocarburo	Medio - Emisiones de CO ₂ con posterior absorción parcial para reducir la cantidad de emisiones
Verde	Electrólisis del agua	Agua	Nulo - Cero emisiones

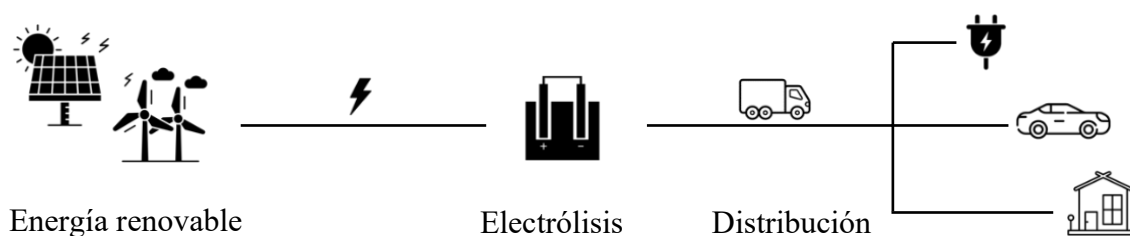
Fuente: Elaboración propia según la información proporcionada por la Agencia Internacional de la Energía para la reunión del G20 (IEA, 2019).

5.2.- Proceso de obtención del hidrógeno verde

El objetivo del desarrollo del hidrógeno es intentar reducir al máximo las emisiones de dióxido de carbono. Así, la fuente de energía que más se acerca a este objetivo es el hidrógeno verde. Es por eso que en este apartado se explicará este tipo de hidrógeno en más detalle.

Según el informe de la Agencia Internacional de la Energía (2019) , en 2019 se produjeron 69 megatoneladas (Mt) de hidrógeno de las cuales menos del 0.5% se produjeron mediante energías 100% renovables. Aunque el proceso de obtención del hidrógeno verde está todavía en desarrollo podemos identificar tres fases claras: la obtención de la fuente de energía, el proceso de electrólisis para la obtención del hidrógeno y finalmente el almacenamiento, transporte y tratamiento en caso de ser necesario. De forma esquemática el proceso se puede ver representado en el gráfico 1.

Gráfico 1. *Esquema del proceso de obtención de energía a través del hidrógeno*



A través de las energías renovables se obtiene energía suficiente para llevar a cabo la electrólisis que permite obtener hidrógeno para su posterior distribución y su uso en el transporte, en la industria y en los hogares. Fuente: Elaboración propia

5.3.- Fuente de energía

El primer paso es obtener la energía a través de fuentes renovables y no contaminantes. Aunque las características de cada geografía permiten el desarrollo más eficiente de unas formas de obtención distintas, la forma más generalizada de obtener la energía es a través de sistemas solares fotovoltaicos (Jamil, Kirmani, & Rizwan, 2012). A esta le siguen la energía eólica, la mareomotriz y la geotérmica. A parte de estos sistemas es importante mencionar el caso de la biomasa, el cual es considerado en numerosas ocasiones como un sistema de energía renovable. Sin embargo, a través del proceso de la biomasa se libera dióxido de carbono que es posteriormente absorbido por las plantas mediante la fotosíntesis, siendo así un proceso de cero emisiones netas (Ni, Leung, & Leung, 2006). Debido a este sistema de emisión y posterior absorción de CO₂ en este trabajo se considerará dentro de la categoría de hidrógeno azul.

Es importante tener en cuenta que, aunque existe la idea general de que las energías renovables no emiten CO₂ es una creencia errónea (Martínez, Sanz, Pellegrini, Jiménez y Blanco, 2009). Para medir las emisiones de carbono se utiliza el ciclo de vida de cada uno de los sistemas, en el cual se tienen en cuenta no solamente las emisiones producidas en el proceso final sino también la fabricación y el uso de materiales. Así se podría decir que la energía solar o eólica contaminan debido a ese proceso de fabricación, sin embargo, el porcentaje es tan pequeño que es prácticamente nulo. La energía producida a través de hidrocarburos es 111 veces más contaminante que los sistemas renovables mencionadas anteriormente. Incluso en comparación con la biomasa, los hidrocarburos son 30 veces más contaminantes (Cerdá, 2013).

5.4.- Electrólisis del agua

La electrólisis del agua es el proceso mediante el cual se obtiene hidrógeno a través del agua mediante el uso de energía. A pesar de que no se conoce con exactitud la primera vez que se realizó el proceso de la electrólisis, los primeros textos que muestran un proceso similar son del año 1800, en un trabajo publicado por William Nicholson y Anthony Carlisle (Keith, 1998). Hay varios sistemas a través de los cuales se puede realizar este proceso, siendo los más importantes la electrólisis alcalina, donde se introducen los electrodos en un líquido alcalino y el sistema PEM (Polymer Electrolyte Membrane), donde se utiliza una membrana con distintas

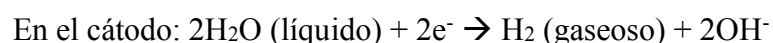
capas. Sin embargo, el proceso de la electrólisis alcalina es la más utilizada ya que el sistema PEM tienen un coste de los componentes mayor (Kumar & Himabindu, 2019).

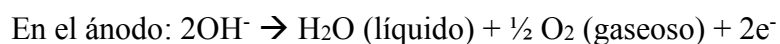
La reacción principal es la siguiente, siendo la misma para cualquiera de los sistemas anteriormente mencionados:



Como podemos observar, no existe emisión de dióxido de carbono o de ningún otro contaminante. Este proceso ocurre porque la electricidad en contacto con el agua separa sus dos moléculas fundamentales (el hidrógeno y el oxígeno) durante un proceso endotérmico. Esto indica que el proceso requiere energía y en el caso de la electrólisis los niveles de energía necesarios son relativamente altos. Esta es la razón por la que muchos científicos continúan investigando nuevas maneras de conseguir un proceso más eficiente (Lin, Hourng, Huang, Tsai, & Hsu, 2017). Uno de los métodos de investigación utilizados es el proceso de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS, Electrochemical impedance spectroscopy). Consiste en aplicar distintas frecuencias eléctricas para alternar la respuesta de la reacción, es decir, se manda una corriente con distintas frecuencias para intentar alterar el resultado final. Este sistema es frecuentemente utilizado en otras industrias como la alimenticia o para el análisis de corrosiones de los metales (Cabrera, Martín, & González, 2007).

Si bien es cierto que todavía hay un largo camino por delante, el proceso base es la electrólisis. Para ello será necesario sumergir dos electrodos, el cátodo (electrodo negativo) y el ánodo (electrodo positivo), en agua. Sin embargo, el agua es un medio poco conductor de la electricidad, es por eso que se añade a la disolución algún compuesto para hacer el medio o ácido o base (Zeng y Zhang, 2010). Como se ha mencionado previamente, entre los métodos más utilizados se encuentra el proceso de la hidrólisis alcalina y por tanto será el caso a explicar. Para ello al agua se le añade una solución alcalina, como el hidróxido de sodio (NaOH) o el hidróxido de potasio (KOH) para conseguir un medio más conductor (Marini y Salvi, 2012). Además, se suele colocar entre medias de los dos electrodos una membrana que permita el paso del hidrógeno, pero no del oxígeno, para así poder separar los dos gases una vez liberados. Se producirán en el proceso dos reacciones:





Como mencionábamos al principio de este apartado, la energía para no ser contaminante tiene que proceder de fuentes renovables. Así los químicos e ingenieros están diseñando diferentes sistemas como las células fotoelectroquímicas (PEC, photoelectrochemical) para llevar a cabo la fotoelectrólisis mediante la luz solar (Qureshy & Dincer, 2021) . Además, no solamente se buscan sistemas más eficientes y menos contaminantes, sino también sistemas más económicos que innovan con los materiales empleados en el proceso de fabricación (Sljukic, y otros, 2016). En el gráfico 2 podemos observar el esquema de una de estas células PEC mientras que en el gráfico 3 aparece representado el proceso de la electrólisis de forma esquemática.

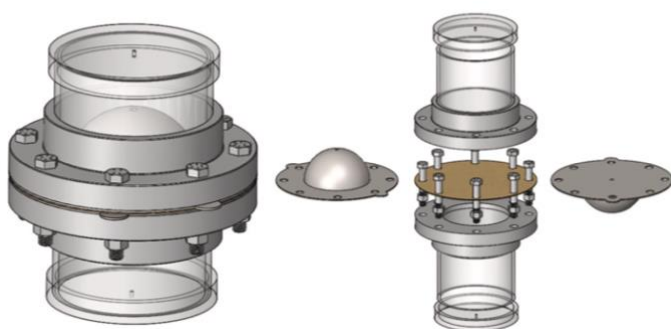


Gráfico 2. Esquema 3D de un reactor PEC (Qureshy & Dincer, 2021).

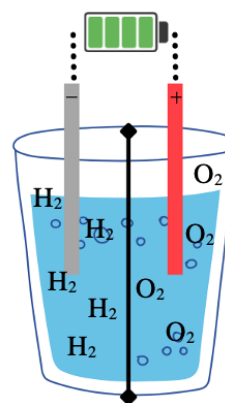


Gráfico 3. Proceso esquemático de la electrólisis. Elaboración propia.

5.5.- Aplicación del hidrógeno

A pesar de que actualmente el futuro del hidrógeno es incierto, tiene muchas aplicaciones muy diversas. Además, las investigaciones apuntan a que su uso no se limitará meramente a sistemas eléctricos grandes (como las maquinarias) sino también para dispositivos más pequeños como pueden ser los vehículos o los ordenadores (Llorca, 2010). Si bien es cierto que el uso del hidrógeno en el sector industrial no es novedoso. Históricamente se ha utilizado el hidrógeno como materia prima para la producción de otros químicos como el amoníaco (NH₃) (Asensio, 2003). Sin embargo, la aplicación que se pretende fomentar es su función como fuente de energía para conseguir así reducir las emisiones de otros sistemas más contaminantes, como puede ser el uso de hidrocarburos en los vehículos personales.

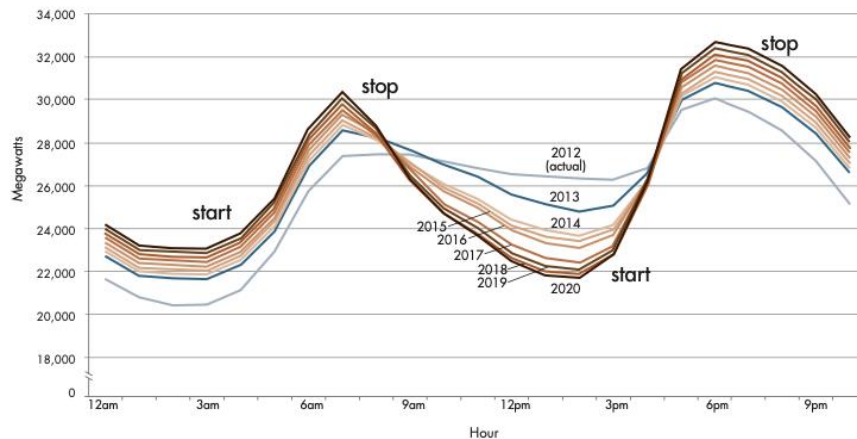
A través del proceso de la electrólisis explicado en el punto anterior, se obtiene hidrógeno y oxígeno. Si revertimos la ecuación partiendo del hidrógeno, al entrar en contacto con el oxígeno se libera energía al ser un proceso exotérmico. Es la idea básica a través de la cual se consigue energía partiendo del hidrógeno. De hecho, el peso tan bajo que tiene el hidrógeno ha hecho que sea un sistema idóneo para su uso en los viajes espaciales. Es por eso que la NASA ha sido uno de los pioneros en trabajar con este elemento como fuente de energía. Se utiliza el hidrógeno en su forma líquida, tras un proceso de criogenización a menos de 200°C (Granath, 2017). No solo les proporciona energía, sino que además el agua liberada durante el proceso es utilizada posteriormente por los astronautas como medio de hidratación. La primera vez que se implementó este sistema en una nave espacial fue en 1957 en la misión Centauro, la cual fue un éxito (NASA, 2012).

Se pretende así seguir estudiando distintos sistemas de compresión y almacenamiento del hidrógeno para implementarlo de una forma eficiente y eficaz en otros medios de transporte como en la industria automovilística o aérea, dos de los más contaminantes. Para ello, ya hay numerosos proyectos en marcha, como el denominado HYCARUS (HYdrogen Cells for AiRborne USage), una investigación promovida por Francia, Alemania, Bélgica, España y la República Checa y que cuenta con un presupuesto de 12 millones de euros para desarrollar estas células de hidrógeno.

Finalmente, hay que destacar un último uso importante del hidrógeno. Uno de los problemas más importantes en la red energética no es solamente aumentar el nivel de producción a través de fuentes renovables, sino ser capaces de almacenar la energía sobrante. La energía solar es la fuente renovable cuyo uso es más frecuente, generando energía durante las horas de luz. Sin embargo, es precisamente en estos momentos cuando se da un menor consumo energético. Se produce así un fenómeno conocido como la Duck Curve (la curva del pato). Recibe este nombre debido a la forma de pato que hace el gráfico que representa la relación entre las horas y los niveles de producción (Schmalensee, 2021). La primera institución en diseñar la famosa gráfica con dicha curva es California Independent System Operator (CAISO) en 2013 (gráfico 4). Esto provoca por tanto una pérdida de energía puesto que aunque se creasen nuevos sistemas solares para la producción de energía no habría suficiente demanda, ya que está se concentra a primera y última hora del día. La solución para quitar presión de la red energética almacenar la energía sobrante en baterías, para poder utilizarla durante los momentos de mayor demanda (Kosowatz, 2018). Sin embargo, las baterías actuales, incluso aquellos sistemas más eficientes pierden

aproximadamente el 25% de la energía almacenada, y cuanto mayor es el tiempo de almacenamiento mayor es la pérdida (Emad, García y Hepburn, 2019).

Gráfico 4. *La curva de pato*



Fuente: Figura obtenida del informe publicado en 2013 por la California Independent System Operator sobre la gestión de las redes eléctricas (CAISO, 2013).

El hidrógeno ofrece una solución para mejorar la eficiencia energética y almacenar el exceso de energía en la red. Con los vatios sobrantes se produciría hidrógeno verde que se podría almacenar. Posteriormente este, se podría transformar de nuevo en agua durante un proceso que libera energía. Este proceso, al contrario que con las baterías, se puede mantener almacenado durante períodos de tiempo más largos. Según estos estudios, el uso del hidrógeno como sistema de almacenamiento, podría reducir el consumo de combustibles fósiles en unos 40,000MWh anualmente (Wikramanayake, Acharya, Kapner y Bahadur, 2021).

Sin embargo, a pesar del futuro prometedor que parece que tiene el hidrógeno, queda todavía un camino largo por recorrer puesto que los sistemas actuales de almacenamiento y transporte no son lo suficientemente pequeños. Se necesitan tanques muy grandes dentro de los coches para poder almacenar una cantidad suficiente para una autonomía de algo más de 400km (Crabtree & Dresselhaus, 2008). Este problema sin embargo, es el que se está solucionando a través de las investigaciones. El uso del hidrógeno puede darse, como se ha explicado en este apartado, en todos los ámbitos de la vida cotidiana. Cada vez cobra más importancia, por lo que cada vez más empresas deciden invertir en esta nueva forma innovadora de generar energía.

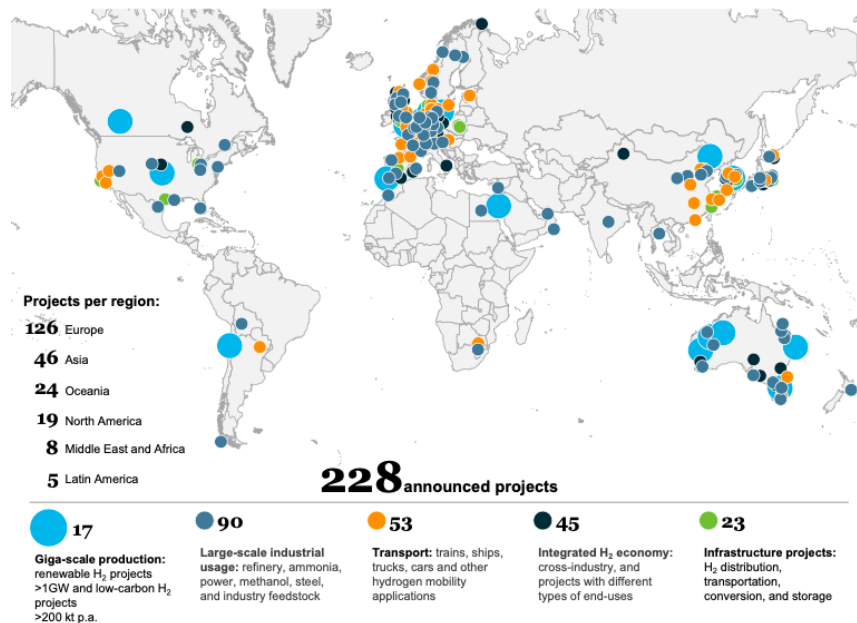
5.6.- Mercado actual y futuro del hidrógeno

El mercado del hidrógeno está en constante crecimiento, prácticamente cada día aparecen nuevos usos y sistemas para su uso. La capacidad de producción de hidrógeno ha aumentado un 29% solo en el último año, donde China ha triplicado su capacidad de producción (International Energy association, 2021). Según estos mismos datos, el 40% de la producción de hidrógeno proviene de Europa. Un estudio de McKinsey & Company explica que la mayor demanda de hidrógeno proviene de Europa, el este de Asia y Estados Unidos (McKinsey & Company, 2021). Es por eso que son estos países los que más están invirtiendo en proyectos de hidrógeno por todo el mundo. Por otro lado, en cuanto a las mejores zonas geográficas destacan Australia y Europa por la cantidad de zonas con sol y viento que permiten la producción de hidrógeno renovable. África es también otra región con un gran potencial debido a la competitividad en costes y a la cantidad de luz solar que recibe el continente (Caspersen, 2017). Aquellos países donde se ha llevado a cabo un mayor desarrollo del hidrógeno en el sector del transporte ha sido en Japón, donde ya cuentan con 134 estaciones de hidrógeno para los coches, y en Alemania, donde cuentan con 90 estaciones de servicio (Sönnichsen, 2022). Muchos países están invirtiendo cada vez más en este sector gracias a las ayudas proporcionadas por el Estado. Estas ayudas ofrecen una mayor financiación a los proyectos de hidrógeno verde, que es el producido con energías renovables, y los de hidrógeno azul, el producido a través de la oxidación de hidrocarburos donde se lleva a cabo además una posterior absorción de las emisiones de carbono (IEA, 2019). Se espera que la producción de hidrógeno verde sea 150 veces superior a la actual, hasta alcanzar los 160 millones de toneladas (Sönnichsen, 2021). Esto unido al hidrógeno azul daría una producción total de hidrógeno de 240 millones de toneladas. Algunos investigadores son incluso más optimistas y consideran que la producción total podría llegar a alcanzar en 2050 los 560 millones de toneladas (Yusaf, et al. 2022). Además, se espera que la demanda aumente en el peor de los escenarios un 60% para 2050 y en el mejor de los casos un 190% (Denman, Porter, Parry y Meijer, 2021).

Por otro lado, también se están sofisticando los procesos de la cadena de producción, donde hay cada vez un mayor número de proyectos de hidrógeno. Actualmente hay 228 proyectos aprobados y en proceso (gráfico 5), de los que el 13% están enfocados en la distribución y el transporte del hidrógeno y más del 80% de los proyectos se centran en el estudio y la aplicación

de esta energía en el sector automovilístico e industrial (McKinsey & Company, 2021). Estos datos indican que el sector del hidrógeno seguirá creciendo en el futuro.

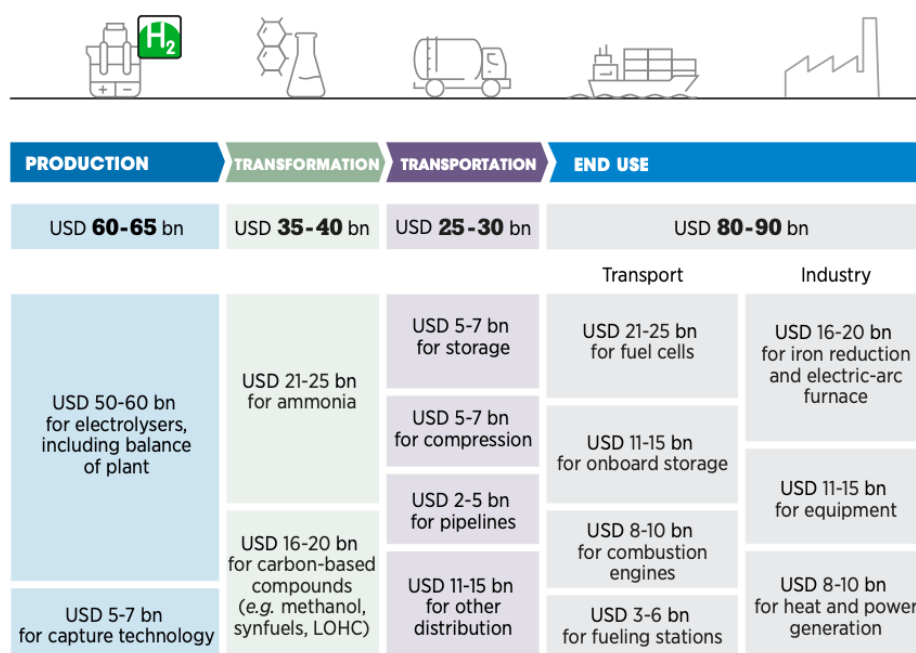
Gráfico 5. *Proyectos de hidrógeno a nivel mundial, organizado según la cadena de producción*



Nota: Recuperado de McKinsey & Company. 2021. Hydrogen Insights. A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness.

Existe un potencial de desarrollo muy alto para todas las fases de la cadena de producción. IRENA (Agencia Internacional de las Energías Renovables por sus siglas en inglés) ha realizado en 2022 una estimación del tamaño del mercado potencial para cada una de las fases (gráfico 6). En concreto se estima un tamaño de \$25 bn en el caso de las pilas de hidrógeno, unos \$ 40 bn en el caso de los materiales y componentes necesarios para llevar a cabo la producción y unos \$ 7bn para el mercado del almacenamiento del hidrógeno. Estos son algunos de los componentes de la cadena de producción, el tamaño total estimado del mercado es de unos \$ 150 bn (IRENA, 2022). Esto supone un crecimiento muy elevado para todas las fases de la cadena de producción. A parte de las estimaciones de IRENA, el mercado espera que uno de los procesos con mayor auge e inversión será el mundo de las pilas de hidrógeno. Este mercado se valoró en 2020 en más de \$260 millones y se espera que crezca a una tasa de crecimiento anual compuesto de más del 26% hasta 2027 (Asim, 2021).

Gráfico 6. Mercado potencial del hidrógeno por sectores para 2050



Nota: Recuperado de IRENA. 2022. Geopolitics of the energy transformation. The hydrogen factor.

Todos estos datos indican que el crecimiento será elevado durante los próximos años. El aumento de la demanda energética del mercado unido a la necesidad de reducir las emisiones de carbono crea un entorno donde el sector del hidrógeno tiene unas condiciones atractivas de crecimiento y desarrollo.

Volviendo a los objetivos de este trabajo, se pretende encontrar información acerca de las inversiones en hidrógeno. Así, una vez entendido el proceso de obtención del hidrógeno, es importante entender el proceso de selección de empresas para crear una cartera de hidrógeno. Las teorías escogidas han sido el modelo de Markowitz y la teoría de William Sharpe, los cuales se explicarán brevemente en los siguientes apartados.

6.- MARCO TEÓRICO

Desde 1980 prácticamente se ha duplicado el número de personas con acceso a los mercados financieros, pasando del 55% de la población mundial al 95% (Grout, Megginson, & Zalewska, 2009). Los analistas consideran que en los últimos cinco años ha habido además una tendencia creciente de los ciudadanos por invertir en la bolsa (Potter, 2022). La mayor parte de los

inversores tienen el objetivo de obtener un rendimiento económico, preferiblemente sin asumir un riesgo excesivo (Abramov, Radygin, & Chernova, 2015). Es por eso que muchos matemáticos y economistas se han dedicado a investigar modelos que pudiesen predecir carteras de inversión óptimas para los objetivos económicos de cada inversor. Uno de los primeros en hacer este análisis fue Harry Markowitz en su artículo publicado en 1952 en *The Journal of Finance* (Markowitz, 1952), aunque debido a la dificultad matemática que llevaba su modelo, no tuvo inicialmente mucho éxito. Posteriormente, con el desarrollo tecnológico y la aparición de los ordenadores su teoría cobró mayor importancia. Es entonces cuando se le concedió el premio Nobel de economía en 1990 por lo que se conoce como la teoría moderna de carteras (conocida por las siglas MPT, del inglés *Modern Portfolio Theory*). Posteriormente a su modelo, muchos otros economistas han realizado aportaciones y propuesto nuevas ideas como William Sharpe y su aportación relativa a los precios de los activos con el modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) (Sharpe, 1977). Este recibiría también en 1990 el premio Nobel junto a Markowitz (The Nobel Prize, 1990). A pesar de todo, el trabajo de Markowitz fue muy importante porque cambiaría la perspectiva de los inversores al hablar acerca de la diversificación de sus carteras. Aunque esto no era un concepto nuevo, fue el primero que lo incluyó en sus consideraciones proporcionando evidencias estadísticas (Benninga, 2014).

6.1.- Características del modelo de Markowitz y la frontera eficiente

Markowitz pretende conseguir a través de su modelo un equilibrio entre el riesgo asumido por un inversor y la rentabilidad que este espera obtener, midiendo el riesgo de la inversión a través de la varianza. Para ello asume que el inversor es racional y quiere conseguir una mayor rentabilidad, pero obteniendo la menor varianza, es decir asumiendo el menor riesgo para dicha rentabilidad. Rechaza así la idea de que un inversor únicamente quiere obtener la máxima rentabilidad puesto que esto puede venir acompañado de una varianza excesivamente alta (Markowitz, 1952). Markowitz aboga por una diversificación de los activos como una manera de reducir esta varianza. Aunque, tal y como especifica en su trabajo, puede darse el caso de que un único activo tenga una varianza tan pequeña que para unos niveles de rentabilidad determinados no fuese necesario llevar a cabo esta diversificación. Así, en función del nivel de riesgo que cada inversor este dispuesto a asumir las carteras de inversión serán distintas. Siguiendo su modelo se necesita conocer la rentabilidad histórica y la varianza de cada uno de los activos, así como la covarianza entre dichos activos para finalmente obtener la proporción

o el peso que debería tener en la cartera cada uno de los activos para cada nivel de riesgo. Además de las hipótesis anteriores, Markowitz basa su análisis teniendo en cuenta un único horizonte temporal y un mercado eficiente. Esto último implica que los precios en el mercado son aleatorios, en el sentido de que rentabilidades y precios pasados no determinan las rentabilidades y los precios futuros. Otra de las implicaciones que tiene que los mercados sean eficientes es que toda la información es pública y accesible, lo que permitirá al mercado valorar de forma correcta cada uno de los activos.

Por lo tanto, Markowitz calcula el rendimiento esperado de una cartera a través del peso destinado a cada activo una vez conocidas su varianza y rentabilidad. Cuando se calcula la cartera correspondiente a la mayor rentabilidad posible para un nivel de varianza determinado estamos calculando lo que Markowitz denomina la cartera eficiente. Así, tendremos para cada nivel de riesgo asumido una cartera con la mayor rentabilidad. El conjunto de todas estas carteras nos dará la frontera eficiente.

Para conseguir todo esto necesitamos resolver una ecuación cuadrática que minimice la volatilidad como en la ecuación 1, maximizando el rendimiento esperado como muestra la ecuación 2 (Perea & Hazael, 2020).

$$\begin{array}{ll}
 \text{Minimizar } \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^N w_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^N w_i w_j \sigma_{i,j} & \text{Maximizar } E[R_p] = \sum_{i=1}^N w_i E[R_i] \\
 \text{s.a} & \text{s.a} \\
 (1) \quad E[R_p] = \phi & (2) \quad \sigma_p^2 = \lambda \\
 \sum_{i=1}^N w_i = 1 & \sum_{i=1}^N w_i = 1 \\
 w_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, N & w_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, N
 \end{array}$$

Donde:

σ_p^2 = varianza de la cartera

σ_i^2 = varianza de cada uno de los activos de la cartera

$\sigma_{i,j}$ = covarianza entre los rendimientos de los valores i y j

w_i = peso destinado a cada uno de los activos de la cartera

$E(R_i)$ = rentabilidad esperada para cada uno de los activos

$E(R_p)$ = rentabilidad esperada de la cartera

N = número de activos de la cartera

Estas ecuaciones están sujetas a dos restricciones importantes. La primera es que no se puede operar en corto, es decir, que no se pueden vender acciones que a uno le han prestado con el objetivo de recomprarlas a un precio más barato para devolverlas. Esto implica que solo podemos tener posiciones largas en el mercado financiero. De ahí que el peso en cada uno de los activos tenga que ser mayor o igual a cero para todos activos de la cartera. Por otro lado, la suma de todos los pesos destinados a cada activo tiene que ser igual a uno. Esto sigue el pensamiento de que no puede darse el caso del apalancamiento financiero. En ningún caso se puede invertir más del 100% de la cantidad total disponible para invertir. Una vez que hayamos construido por tanto la frontera eficiente, habremos encontrado para los activos de nuestra cartera la máxima rentabilidad posible para cada nivel de volatilidad. A través de esta frontera eficiente, cada inversor diseñará su cartera óptima en función del riesgo que esté dispuesto a asumir (Gollinger y Morgan, 1993). Si representásemos la rentabilidad que cada inversor quiere en relación con el riesgo que estuviese dispuesto a asumir obtendríamos la gráfica de lo que se conoce como la curva de utilidad (Buttel, 2010). La tangencia entre la frontera eficiente y la curva de utilidad sería la cartera óptima para dicho inversor. Esto quiere decir por tanto que, para la misma frontera eficiente podemos tener distintas carteras óptimas en función de la aversión al riesgo del inversor.

6.2.- Críticas al modelo de Markowitz

Como mencionábamos al principio, debido a la complejidad de la solución del modelo de Markowitz su utilización fue prácticamente inexistente. Además, aunque posteriormente sus ideas fuesen cobrando cada vez mayor importancia, sus hipótesis son en ocasiones demasiado genéricas, alejándose de la realidad. El modelo de Markowitz sentaría las bases para el análisis futuro de la gestión de carteras, pero economistas como James Tobin o William Sharpe han hecho modificaciones posteriormente. El economista estadounidense James Tobin (1995), explicó en sus análisis que el modelo de Markowitz no podía ayudar a los inversores en la gestión de carteras al no proponer una forma de encontrar la curva de utilidad para cada inversor. Su teoría no proporcionaba a los analistas la información suficiente. Además, este criticaba la hipótesis de la prohibición del apalancamiento financiero. Tobin, tomando como base el modelo de Markowitz decide coger la frontera eficiente y llevarla un paso más considerando la posibilidad de apalancarse (Constantinides y Malliaris, 1995). Sin embargo, se ha decidido para este análisis utilizar el modelo de Markowitz asumiendo que el inversor no se

apalanca, ya que no todos los inversores lo hacen debido al riesgo extra que se asume al apalancarse (Carcasona, 2019).

Por otro lado, a pesar de que los costes de transacción o los impuestos afectan a las decisiones de inversión, estos no se tienen en cuenta en el modelo de Markowitz (Mendizábal, Miera y Zubia, 2002). Además, otros autores critican que el modelo es demasiado racional, es decir, que no tiene en cuenta aspectos subjetivos que puedan afectar al movimiento del activo en bolsa. Por ejemplo, si el BCE anuncia una subida de tipos probablemente se de una inversión mayor en sectores como el financiero que puedan verse beneficiados por este cambio (Focardi & Caroline, 1997). Estos mismos autores argumentan que esta subjetividad es la que da trabajo a los miles de analistas que trabajan en la profesión de gestión de carteras en el mundo. A esto es a lo que se dedican los inversores que realizan un análisis fundamental de la bolsa, es decir, teniendo en cuenta otras variables como la situación macroeconómica en un intento de establecer el valor de la acción (Yue, 2018). Sin embargo, intentar entender estas circunstancias más subjetivas es muy complicado al incluir demasiadas variables. Así, con el objetivo de simplificar el modelo se ha decidido mantener Markowitz como modelo base para la realización del análisis.

6.3.- William Sharpe

William Sharpe en 1966, partiendo de la matriz de varianzas-covarianzas y las hipótesis del modelo de Markowitz, propuso analizar lo que se conoce comúnmente como el ratio de Sharpe (Sharpe, 1966). Este serviría para comparar la rentabilidad esperada con el riesgo que el inversor tenía que asumir para conseguir dicha rentabilidad. Sin embargo, esta primera aproximación sería reajustada en 1994 para terminar de definir el ratio que se utiliza actualmente (Sharpe, 1994). Este ratio se calcula como se muestra en la ecuación 3 para un mismo período de tiempo:

$$(3) \quad S = \frac{R_c - R_f}{\sigma_c}$$

Donde:

S = ratio de Sharpe

R_c = rentabilidad de la cartera

R_f = rentabilidad del activo libre de riesgo

σ_c = volatilidad de la cartera

Así, cuanto mayor sea el ratio de Sharpe, mejor será el equilibrio entre la rentabilidad y riesgo. Dicho ratio se utiliza por gestoras de activos a nivel mundial para comparar distintos fondos o carteras de inversión (Cano, 2020). Es por eso que, para este trabajo se ha tenido en cuenta dicho ratio para comparar las distintas carteras. El activo libre de riesgo es aquel activo que presenta la menor volatilidad, considerando dicho activo como la deuda emitida por cada uno de los Estados. El periodo que se deberá escoger para dicho activo, será el periodo que se quiera mantener el activo en la cartera (Eaton y Conover, 2001). Esto dependerá de cada uno de los inversores, pero al ser un activo reciente se ha escogido el periodo de un año. Así, si tenemos en cuenta los valores mínimos y máximos de las últimas 52 semanas de la rentabilidad de los bonos a 1 año de Estados Unidos, Japón y Alemania (los países con un mayor número de empresas dentro de la muestra) las cifras varían considerablemente debido a la alta volatilidad actual del mercado. En el caso de Estados Unidos, el valor mínimo ha sido de -0.376% y el máximo de 1.664%, para Alemania ha sido de -1.006% y -0.402% y en el caso de Japón de -0.181% y -0.014% (Bloomberg, 2022). La volatilidad es muy alta debido a la inestabilidad política a nivel mundial en este momento. De cara al análisis habrá que asumir un valor concreto para la rentabilidad del activo libre de riesgo. El objetivo de este trabajo es comparar carteras en distintas circunstancias, por lo que si para cada análisis se escogiese un activo libre de riesgo distinto, esto podría distorsionar las conclusiones. Por lo tanto, teniendo en cuenta tanto el objetivo del trabajo y de cara a una simplificación de los cálculos, se ha decidido asumir que la rentabilidad del activo libre de riesgo es del 0%.

7.- ANÁLISIS EMPÍRICO

El hidrógeno es por tanto un activo que presenta *a priori* un entorno de inversión bueno debido a las altas expectativas de crecimiento del sector además de ser una energía cuya contaminación en el caso del hidrógeno verde es nula y en el del hidrógeno gris es considerablemente más baja que la de otros combustibles. Es por eso que con este análisis se pretende ofrecer una mayor claridad acerca de las mejores circunstancias de inversión. Para ello, una vez entendido el mercado del hidrógeno, así como sus distintos procesos se procede a realizar el análisis de la base de datos para crear las distintas carteras de hidrógeno. Por un lado, el objetivo de este trabajo es encontrar siguiendo estrictamente el modelo de Markowitz la cartera de mayor rentabilidad y la cartera con la menor varianza considerando todas las empresas. Además, se buscará aquella cartera que ofrezca el mejor equilibrio entre el riesgo y la rentabilidad a través

del ratio de Sharpe. Por otro lado, el objetivo es encontrar los sectores tanto geográficos como de la cadena de producción que ofrezcan el mejor equilibrio entre el riesgo y la rentabilidad.

7.1.- Base de datos

Para este trabajo se ha utilizado la base de datos creada por *Infinergia consulting*. Esta empresa, fundada en 2009, está dedicada al análisis estratégico de los mercados de energías limpias, entre ellas el hidrógeno. Uno de sus principales focos es el desarrollo de investigaciones de mercado en este sector. *Infinergia* ha desarrollado una base de datos llamada *Indus H2 Database*, utilizada en este análisis en su versión 4.0 cuya última actualización fue en agosto de 2021 (Infinergia Consulting, 2021).

Esta base de datos cuenta con 911 empresas de todo el mundo que están desarrollando proyectos relacionados con el hidrógeno. Dichas empresas están clasificadas tanto por el país como por el sector en el que están especializadas. Pueden ser empresas especializadas exclusivamente en el sector del hidrógeno (denominados “pure players”) o aquellos cuya actividad está diversificada (clasificadas bajo el nombre de “diversified”). Por otro lado, se proporciona información acerca de la parte de la cadena de producción en la que la empresa está involucrada, como por ejemplo la producción de componentes para los generadores. Esta clasificación se explica con más detalle durante el análisis de la cartera por sectores. Por último, es importante mencionar que esta base de datos recopila aquellas empresas que están desarrollando proyectos de hidrógeno, pero ello no implica que sean exclusivamente proyectos de hidrógeno verde.

7.1.1.- Selección de las empresas utilizadas para el análisis

Debido a que el objetivo de este trabajo es crear distintas carteras de inversión de cara a entender las mejores circunstancias que permitan obtener una mayor rentabilidad en relación con el riesgo asumido, se han seleccionado únicamente aquellas empresas que cotizan en bolsas. Adicionalmente, 19 empresas han sido descartadas del análisis por los siguientes motivos. Las empresas Agility Fuel Solutions, Air Liquide advanced Business & Technologies, BOC, Bouygues Energies et Services, Delphi Technologies, Praxair, Sumitomo Metal Mining, Hyundai Mobis, Hyosung Pwer & Industrial Systems y Thyssenkrupp Uhde Chlorine Engineers no cotizan de forma independiente, sino a través de la empresa matriz, es por eso

que han sido descartadas de este análisis. Además, en siete de esas diez empresas, la empresa matriz ya estaba incluida en la lista por lo que ya está considerada en el análisis. Por otro lado, CaetanoBus, Dongjin Semichem, EM Korea, Hexagon Composites, Siemens Energy, Hyzon Motors, Beijing SinoHytec y Daimler Truck Fuel Cell no tienen datos para el período de análisis de tres años, el cual se explica a continuación, debido a que comenzaron a cotizar en una fecha posterior al 1 de enero de 2019. Por lo tanto, de las 911 empresas de partida de la base de datos se han seleccionadas las 140 debido a que cotizan en bolsa desde al menos el 1 de enero de 2019.

7.1.2.- Horizonte temporal del análisis

En los últimos cinco años ha habido un gran número de avances en relación con el posible uso del hidrógeno como fuente de energía que ha inducido a la creación de nuevas empresas que se dedican exclusivamente a la producción de generadores y a la administración de esta energía (International Renewable Energy Agency, 2019). Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA por sus siglas en inglés) 2019 fue el año donde el hidrógeno empezó a cobrar una verdadera importancia a nivel mundial debido a las necesidades energéticas y las ayudas ofrecidas por los gobiernos (IEA, 2019). Otros autores coinciden en esta fecha como el momento en el que el hidrógeno empezó a considerarse de forma relevante tanto por las empresas como por los inversores (Admiral Markets, 2021). Por este motivo se ha escogido el 1 de enero de 2019 como punto de partida para el análisis. Por otro lado, investigadores que han analizado el impacto de la pandemia causada por la COVID-19 en los mercados financieros recomiendan realizar actualmente análisis histórico de precios de entre 2 y 3 años (Davis, Liu y Sheng, 2022). Por eso el límite temporal de análisis comprende un periodo de tres años entre el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021.

7.1.3.- Obtención de la información y resumen de la base a utilizar

Tras establecer los límites temporales y las condiciones mencionadas anteriormente, se han seleccionado un total de 140 empresas de entre las 911 que inicialmente formaban parte de la base de datos. La información sobre la cotización diaria de estas empresas se ha obtenido de Yahoo Finance utilizando el precio de cierre ajustado (Yahoo Finance, 2022). Se ha escogido este en lugar del precio de cierre bruto puesto que ajusta el precio de la acción a posibles efectos

externos que afectan al precio en un día, como es el caso del efecto de los dividendos. Con esto queda una base de datos diversificada, donde el 25,7% de las empresas tienen su domicilio social en Europa, siendo mayoritariamente de origen alemán y francés. El 51,4% tienen su domicilio social en Asia, principalmente en Japón, de donde provienen el 34% de las compañías en la base de datos. El 22,2% son empresas norteamericanas y finalmente tan solo una empresa tiene su domicilio en África.

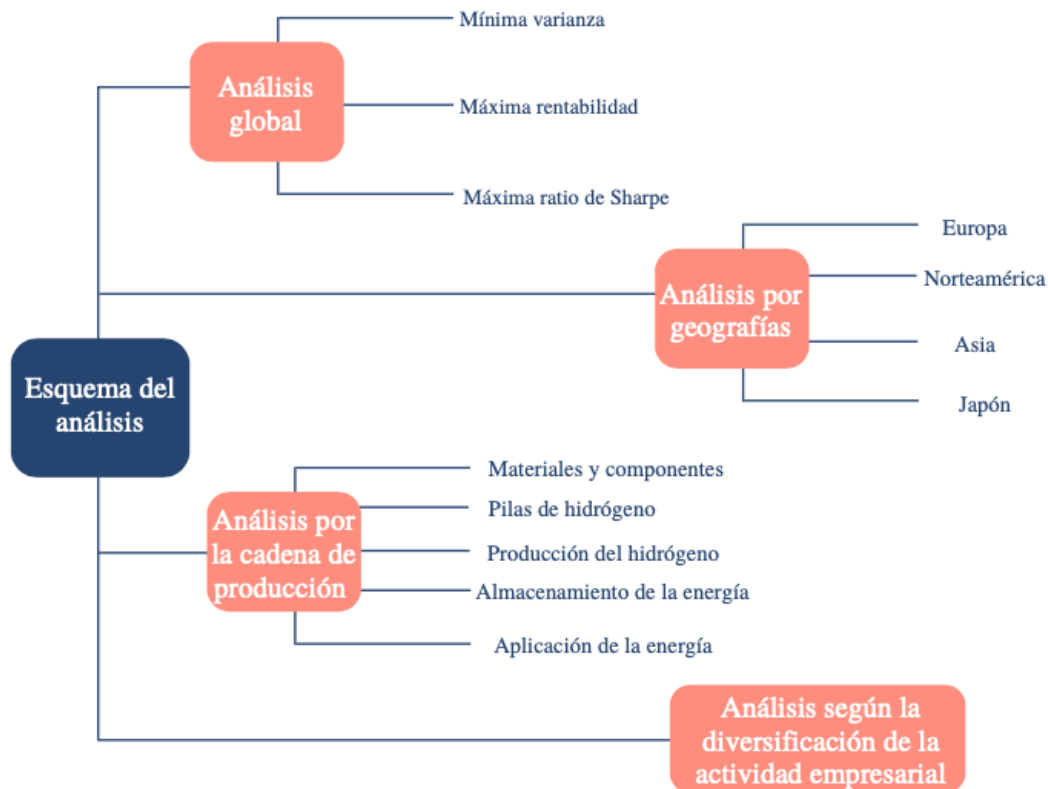
Cada empresa cotiza en una bolsa distinta del mundo y por tanto en unidades monetarias distintas. Para el análisis es necesario unificar todos los precios bajo los mismos criterios. Se ha decidido utilizar el euro como referencia, utilizando los tipos de cambio oficiales a 31 de diciembre de 2021 (Anexo 1). Se han utilizado los tipos de cambio publicados en la Resolución del Boletín Oficial del Estado publicado el 4 de enero de 2022 con los cambios del euro publicados por el Banco Central Europeo. A parte de esta lista, se ha obtenido de Yahoo Finance un tipo de cambio que no aparecía en la lista anterior en relación con el Nuevo dólar Taiwanés. Se ha establecido así que 1 euro equivale a 31,38 de dicha moneda. Finalmente, es necesario obtener las rentabilidades diarias, las cuales han sido calculadas como la variación del precio respecto del cierre anterior.

7.2.- Explicación del análisis en Excel

El próximo análisis consta de varias partes (gráfico 7). La primera de ellas es un análisis cuantitativo de una cartera global realizado con las 140 empresas que cumplen los criterios de la base de datos durante el período temporal de tres años. Para ello siguiendo con el modelo de Markowitz se calculará la cartera que ofrezca la mayor rentabilidad, así como la que ofrezca la menor varianza. Además, siguiendo la teoría de Sharpe se ha calculado la cartera que maximice este ratio encontrando por tanto el equilibrio entre rentabilidad y volatilidad (apartado 7.3). El objetivo de esta primera parte es crear tres carteras modelo bajo tres perspectivas distintas de inversión clasificadas según el nivel de riesgo. Por otro lado, en la segunda parte se hará una distinción por geografías, de tal forma que se analizarán las carteras por regiones geográficas. El objetivo es identificar aquellas regiones que ofrezcan un mejor equilibrio entre la rentabilidad y el riesgo (apartado 7.4). En la tercera parte del análisis se propondrán distintas carteras, cada una de ellas centrada en una parte del proceso de la cadena de producción (apartado 7.5). El objetivo de esta tercera parte será analizar si existe una parte de la cadena de

producción que sea más rentable que otras. Finalmente, se realizará un último análisis teniendo en cuenta únicamente los *pure players* para analizar la rentabilidad de aquellas empresas que se dedican exclusivamente al sector del hidrógeno (apartado 7.6).

Gráfico 7. Esquema de la estructura del análisis realizado



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explica el proceso seguido para el análisis de Excel que será el mismo para todos los cálculos posteriores:

A partir de las rentabilidades diarias de las 140 empresas dedicadas a la industria del hidrógeno que forman parte de la muestra, tal y como se ha explicado anteriormente, se calculan sus medias ($=promedio (R0:Rn)$ donde R es la columna de las rentabilidades, cero es el primer valor y n el último valor) y su desviación típica ($=desvest.p(R0:Rn)$). Estas son las variables necesarias para llevar a cabo Markowitz (rentabilidad y riesgo), como se había explicado previamente en la parte teórica. De modo aclaratorio, la varianza es el cuadrado de la desviación típica por lo tanto a nivel comparativo, para calcular el riesgo es indiferente calcular la desviación típica o la varianza. Siempre que comparemos varianzas con varianzas o desviaciones con desviaciones las conclusiones en relación con el riesgo serán las mismas. Una

tercera variable corresponderá al peso que cada activo tendrá en la cartera final. Inicialmente basta con poner un porcentaje aleatorio a cada uno de los activos y añadir una celda final con la suma de todos estos valores. Dichos porcentajes se calcularán posteriormente. Es el momento de calcular la matriz de covarianzas con los datos de las rentabilidades diarias de los activos (seleccionando la herramienta de *Análisis de datos* dentro de la pestaña de *Datos*).

En otra parte de nuestra hoja Excel vamos a formular tanto el cálculo de la rentabilidad esperada ($=\text{sumaproducto}(R0:Rn;W0:Wn)$ donde R es la columna de las rentabilidades, W la columna de los pesos de cada activo, 0 es el primer valor y n el último valor) como la varianza de la cartera ($=\text{mmult}(\text{transponer}(W0:Wn),\text{mmult}(\text{covar}; W0:Wn))$ activando la fórmula pulsando a la vez las teclas de “*shift*”, “*control*” y “*enter*”). Por último, queda la parte más importante que es solucionar el problema que acabamos de crear. Para ello de nuevo en la pestaña de *Datos* seleccionaremos *Solver*. Nuestra celda objetivo será aquello que se quiera obtener, ya sea la rentabilidad o la varianza para minimizarla o maximizarla o conseguir un valor concreto. Dentro de las restricciones, se mencionaba también en la parte teórica que Markowitz asume que no se puede tomar posiciones en corto. Para ello, será necesario activar la opción de “Convertir variables sin restricciones en no negativas”. Además, el modelo teórico explica que el inversor no se puede apalancar, por lo que la suma del peso de todos los activos deberá ser igual al 100% de nuestra inversión. Para ello, tendremos que agregar una restricción que será que la celda de la suma de todos los pesos deberá ser igual a 1. Por último, nos faltará determinar el método de resolución que será GRG Nonlinear y pulsar el botón de Resolver¹.

7.3.- Análisis global

Uno de los objetivos de Markowitz es conseguir una mejor rentabilidad con un menor riesgo a través de la diversificación. Esto se puede conseguir invirtiendo en sectores diferentes, pero en este caso es necesario encontrar dicha diversificación a través de otras vías dado que el sector es común para todas las empresas, ya que el objetivo es invertir dentro del sector del hidrógeno ya que tiene aparentemente una gran proyección futura. La diversificación se consigue cuando los activos no están perfectamente correlacionados. Así, en la cartera con los 140 activos la diversificación se ha basado en una diferencia de correlación por ser empresas presentes en distintas geografías, así como por tener un número de activos alto. Esto último implica que a

¹ La hoja Excel utilizada para el análisis está a disposición del lector interesado bajo petición al autor

mayor número de activos podría conseguirse una mayor diversificación que sea capaz de reducir el riesgo (Chua, Kritzman, & Page, 2009). Sin embargo, hay un punto en el que un mayor número de activos no favorece la diversificación. Existen estudios que intentan estimar el número de activos necesarios en una cartera para conseguir la diversificación óptima. Aunque comúnmente existe una idea generalizada de que 10 activos es el número óptimo hay estudios que demuestran lo contrario. Un artículo académico establece que el número ideal de activos para una diversificación óptima es de entre 30 y 40 activos dependiendo de las condiciones del inversor (Bessembinder, 1987). Posteriormente, en la revisión de la literatura realizada por Zaimovic, Omanovic y Arnayt-Berilo (2021), estos determinan que no existe un acuerdo acerca de dicho número pero que lo ideal sería entre 20-50 activos. En conclusión, siguiendo con los objetivos del trabajo y lo explicado en este punto, se pretende encontrar una cartera con un máximo de 35 activos que ofrezca por un lado la máxima rentabilidad, por otro lado, la menor varianza y por último una cartera que ofrezca el mejor equilibrio entre rentabilidad y riesgo a través de la maximización del ratio de Sharpe. Así, se ha resultado el modelo para cada uno de estos supuestos añadiendo una nueva restricción a la hora de realizar el análisis de Solver. Para ello, se ha añadido una segunda restricción además de la ya explicada de que el total de la cartera debe ser igual al 100%. Se ha añadido la condición de que el número total de activos con un peso superior a 0% debe ser como máximo 35, de tal forma que el modelo haga una recomendación de inversión en 35 activos a lo sumo.

7.3.1.- Mínima varianza

Para encontrar la mínima varianza, siguiendo estrictamente el modelo de Markowitz se ha resuelto el modelo en Excel. Los resultados muestran una cartera con 29 activos donde la varianza es la mínima que se podría encontrar en cualquiera de las carteras creada con la cartera de la base de datos (tabla 2). Esta varianza ha sido de tan solo un 0.002% diaria, siendo la rentabilidad media diaria esperada de la cartera de 0.083%.

Tabla 2. *Cartera global con la mínima varianza*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Hanon Systems	0,07%	0,024	3,29%
Hyosung Heavy Industries	0,11%	0,035	0,91%
Hyundai Rotem	0,01%	0,030	1,41%

ABB	0,12%	0,016	6,27%
Burckhardt Compression	0,11%	0,022	0,58%
Sandvik	0,12%	0,021	4,63%
Aichi Tokei Denki	0,07%	0,015	7,24%
Iwatani	0,08%	0,015	7,62%
Toho Gas	-0,04%	0,020	0,89%
Tokyo Gas	-0,02%	0,015	7,67%
Anglo american plantinum	0,24%	0,034	0,79%
Bosh	0,01%	0,023	2,05%
Everest Kanto	0,33%	0,038	0,94%
Reliance industries	0,13%	0,022	5,04%
Ultra Electronics Holding	0,16%	0,023	2,89%
Chaozhou Three Circle	0,18%	0,026	2,35%
SAIC Motor	0,01%	0,022	3,67%
Coretronic Corporation	0,17%	0,020	2,30%
Kaori	0,13%	0,028	1,77%
SDI	0,19%	0,030	1,57%
Agfa	0,03%	0,018	4,26%
Air Liquid	0,08%	0,013	5,14%
Colruyt Group	-0,04%	0,019	4,65%
Evonik Industries	0,07%	0,018	1,47%
Imerys Craphite and carbon	0,03%	0,024	0,45%
Mahle	0,08%	0,026	2,41%
Merk KGaA	0,14%	0,016	8,18%
Naturgy	0,07%	0,017	4,17%
Veolia Environment	0,11%	0,018	5,40%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz con las 140 empresas presentes en la base de datos de *Infinergia Consulting* con el objetivo de minimizar la varianza de la cartera. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.3.2.- Máxima rentabilidad

En este caso al resolver el modelo para conseguir la máxima rentabilidad, la recomendación es invertir al 100% en la empresa FuelCell Energy. Así la rentabilidad media diaria esperada de la cartera será de 0.51%, una rentabilidad muy elevada. Sin embargo, esta viene a costa de asumir un riesgo también muy elevado, con una varianza de 1.25%. Además de que en estas

circunstancias se tienen todos los huevos en la misma cesta, es decir, se carece de una diversificación, lo que supone de por sí un riesgo muy elevado.

7.3.3.- Máximo ratio de Sharpe

En este caso, el modelo recomienda una inversión en 23 activos (tabla 3). El ratio de Sharpe de la cartera global ha alcanzado un valor de 0.449. La rentabilidad diaria esperada de la cartera es de 0.24%, con una varianza de 0.54%.

Tabla 3. *Cartera global con el máximo ratio de Sharpe*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Hanon Systems	0,07%	0,024	0,42%
Merk KGaA	0,14%	0,016	2,00%
Veolia Environment	0,11%	0,018	2,27%
Ultra Electronics Holding	0,16%	0,023	3,02%
Coretronic Corporation	0,17%	0,020	0,30%
Everest Kanto	0,33%	0,038	7,57%
SDI	0,19%	0,030	4,43%
Anglo american plantinum	0,24%	0,034	12,47%
Hitachi Zosen	0,16%	0,023	1,10%
Chaozhou Three Circle	0,18%	0,026	6,99%
CIMC Enric Holding	0,15%	0,032	0,89%
Sinoma Science and Technology	0,29%	0,032	2,20%
Saint-Gobain	0,14%	0,021	3,86%
Ceres Power	0,30%	0,037	6,07%
Houpu Clean Energy	0,32%	0,046	5,40%
Plug Power	0,55%	0,054	2,63%
Air Liquid	0,08%	0,013	0,14%
Mahle	0,08%	0,026	1,28%
Hyundai Motors	0,12%	0,024	2,53%
Entegris	0,24%	0,026	2,66%
Poco - Entegris	0,24%	0,026	16,07%
Dover	0,15%	0,020	2,33%
SFC Energy	0,28%	0,046	13,39%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz con las 140 empresas seleccionadas de la base de datos de *Infinergia Consulting* con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha explicado en la parte teórica, según las necesidades de cada uno de los inversores la construcción de la cartera es distinta. Se puede comprobar así con los tres casos anteriores cómo en función de los objetivos se crean carteras totalmente diferentes. Por un lado, la cartera con la mínima varianza obtiene una rentabilidad muy baja. Por otro lado, aquella que maximiza la rentabilidad obtiene una rentabilidad esperada 6 veces superior a la cartera de la mínima varianza y 2 veces superior a la del máximo ratio de Sharpe. Sin embargo, su varianza es también muy superior. De hecho, en comparación con la cartera con el máximo ratio de Sharpe, su varianza es 2.4 veces menor a pesar de que la rentabilidad es solamente 2 veces menor. Esto provoca una desproporción entre el riesgo asumido y la rentabilidad obtenida. Así, este primer análisis muestra como en la cartera con el máximo ratio de Sharpe se obtiene el mayor beneficio acorde con el riesgo percibido.

Por lo tanto, si bien es cierto que para los análisis posteriores se podría encontrar cualquiera de estas carteras, se ha establecido como referencia la que maximiza el ratio de Sharpe. Este es el objetivo porque se ha asumido que buscar la mínima varianza a la hora de invertir es una perspectiva demasiado conservadora mientras que buscar la máxima rentabilidad sin tener en cuenta el riesgo es demasiado agresivo. Por eso se asume que los inversores quieren conseguir la máxima rentabilidad en relación con el riesgo asumido y esto se consigue maximizando el ratio de Sharpe.

7.4.- Análisis por zonas geográficas

Retomando la base de datos inicial con 140 empresas, en este apartado se pretende analizar si existen determinadas zonas geográficas donde la inversión en hidrógeno es más rentable que en otras. Existen otros sectores como el del petróleo donde la rentabilidad de la inversión es diferente según el país en el que invirtamos. Un estudio de la agencia internacional de la energía (2020) explica que los países donde ha habido una mayor inversión en el desarrollo de infraestructuras para la obtención de petróleo ha sido en China y en Arabia Saudí. Se da el caso además de que en estos países la rentabilidad de las inversiones en estos activos ha sido mayor

en relación con el riesgo asumido. Esto parece indicar que la región geográfica puede influenciar la rentabilidad de la inversión. Además, las políticas tomadas por los gobiernos en cada región han diferido, pudiendo esto afectar a la rentabilidad en determinadas geografías. Se analizará por tanto si en el caso del sector del hidrógeno se puede encontrar una mayor rentabilidad en determinados países.

Entre las 140 compañías hay más de 15 países distintos, por eso de cara al análisis geográfico estos se han agrupado por continentes. Teniendo así 36 y 31 empresas para los casos de Europa y Norteamérica respectivamente. En el caso de África hay solamente una empresa en la base de datos por lo que dicho continente no se incluirá en el análisis. Por otro lado, hay más de 70 empresas en Asia distribuidas de forma asimétrica entre los distintos países, siendo la mayoría originarias de Japón y Corea del Sur. Se ha decidido analizar por un lado 49 empresas japonesas y por otro 23 del resto de Asia. Esto se ha decidido así porque determinados autores identifican a Japón como un grupo independiente de Asia (Naughton, 2010). Determinados índices bursátiles como el MSCI AC Asia ex Japan (USD) excluyen Japón de sus análisis por estar en una fase de desarrollo más avanzada que los demás países de la región (MSCI, 2022). En los anexos del 2 al 5 se pueden encontrar las empresas incluidas para el análisis de cada una de las regiones.

7.4.1.- Europa

Una vez realizado el análisis en Excel con las 31 empresas europeas que había en base de datos, el resultado ha sido invertir en 16 de ellas (tabla 4). La rentabilidad media diaria esperada obtenida ha sido de 0,146%. Además, la varianza de esta cartera ha sido de tan solo 0,006%, lo que en términos anuales sería de 2,26%. El ratio de Sharpe obtenido ha sido de 0,181.

Tabla 4. *Cartera de inversión en empresas europeas relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Retabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Merk KGA	0,14%	0,016	19,47%
ABB	0,12%	0,016	18,45%
Veolia Environment	0,11%	0,018	12,43%
Ultra Electronics Holding	0,16%	0,023	11,39%

Sandvik	0,12%	0,021	10,74%
Ceres Power	0,30%	0,037	7,30%
Aperam	0,15%	0,024	6,16%
Saint-Gobain	0,14%	0,021	5,79%
SFC Energy	0,28%	0,046	3,19%
Air Liquid	0,08%	0,013	1,78%
OMV	0,10%	0,027	1,40%
Mahle	0,08%	0,026	0,95%
SMA Solar Technology	0,17%	0,035	0,44%
Erling Klinger	0,12%	0,035	0,39%
Naturgy	0,07%	0,017	0,11%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas europeas pertenecientes a nuestra base de datos de 140 empresas con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

Estas empresas forman parte de distintos países, lo que favorece además a que la cartera tenga una mayor diversificación que si se hubiese invertido exclusivamente en el sector del hidrógeno en un único país. Principalmente, el 20% de la cartera estará en Francia, el 24% en Alemania, algo más del 18% en Reino Unido y Austria, un 10% en Suecia y algo menos del 10% entre Luxemburgo, España y Austria. Esto puede observarse en el gráfico 8.

Gráfico 8: *Distribución geográfica cartera Europa*



Fuente: Elaboración propia.

7.4.2.- Norteamérica

Se analizará ahora la cartera formada por empresas de Norteamérica. Mencionar que la base de datos contenía 1 empresa canadiense y 30 americanas. Los proyectos en América del Sur se han llevado a cabo la mayoría a través de empresas cuyo origen es extranjero de ahí que no hubiese ninguna cotizada en nuestra base de datos. Matizar que esto no implica que no existan, sino que la base de datos de Infinergia Consulting no incluye ninguna. Tras realizar el análisis de la muestra norteamericana, se recomienda una cartera con 7 empresas en las proporciones que aparecen en la tabla 5. La rentabilidad diaria esperada para la cartera es de 0,29% lo que supone el doble de la rentabilidad esperada para la cartera europea. Sin embargo, es cierto que la volatilidad, es decir el riesgo, también es mayor. En este caso la varianza obtenida del portfolio es de 0,06% donde todas las empresas son estadounidenses. El ratio de Sharpe obtenido es del 0,0120.

Tabla 5: *Cartera de inversión en empresas norteamericanas relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Plug Power	0,55%	0,054	27,71%
Dover	0,15%	0,020	19,35%
Poco	0,24%	0,026	19,12%
Entegris	0,24%	0,026	18,22%
Linde group	0,13%	0,017	13,08%
Nikola Corporation	0,22%	0,070	2,35%
FuelCell Energy	0,51%	0,112	0,18%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas norteamericanas pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.4.3.- Asia

Para el caso de Asia se ha excluido Japón, como se ha explicado inicialmente. Se ha realizado por tanto el análisis con un total de 23 empresas de las que el modelo propone una inversión

en 14 de ellas tal y como se puede ver en la tabla 6. La rentabilidad esperada con esta cartera es de 0,21% con una varianza de 0,01%. El ratio de Sharpe obtenido ha sido de 0,189.

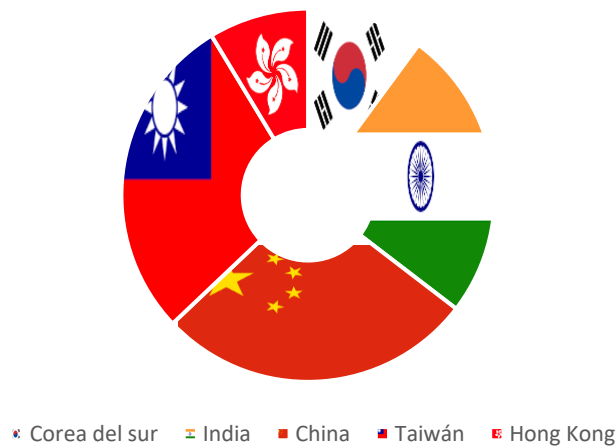
Tabla 6: *Cartera de inversión en empresas asiáticas excluyendo Japón, relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Coretronic Corporation	0,17%	0,020	18,30%
Everest Kanto	0,33%	0,038	13,08%
Sinoma Science and Technology	0,29%	0,032	12,39%
Reliance industries	0,13%	0,022	9,34%
Chaozhou Three Circle	0,18%	0,026	9,09%
CIMC Enric Holding	0,15%	0,032	8,65%
Hyundai Motors	0,12%	0,024	7,57%
SDI	0,19%	0,030	7,06%
Houpu Clean Energy	0,32%	0,046	5,88%
Kaori	0,13%	0,028	3,05%
TataMotors	0,20%	0,036	2,89%
Hanon Systems	0,07%	0,024	1,69%
Hyosung Heavy Industries	0,11%	0,035	0,83%
Dongfan Electric Corporation	0,19%	0,030	0,18%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas asiáticas pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso de Europa, esta cartera está compuesta por empresas cuyas sedes se encuentran en distintos países de Asia. En el gráfico 9 se puede observar cómo la mayor parte de la inversión estaría repartida entre la India, China y Taiwán. Hay que mencionar que se ha separado Hong Kong de China, no por temas políticos, sino porque utilizan monedas distintas. Al tratarse de inversiones económicas donde el tipo de cambio afecta al riesgo se ha decidido mantener esta separación a nivel de análisis, aunque nuestro modelo no incluya los riesgos de tipo de cambio.

Gráfico 9: *Distribución geográfica cartera Asia*



Fuente: Elaboración propia.

7.4.4.- *Japón*

Por último, dentro del análisis geográfico, se ha analizado la rentabilidad esperada de una cartera con empresas japonesas. De entre las 49 posibles opciones, el modelo recomienda una inversión únicamente en 8 de ellas como se muestra en la tabla 7. La rentabilidad esperada es 0,12% con una varianza de 0,013%. El ratio de Sharpe obtenido es 0,109.

Tabla 7. *Cartera de inversión en empresas japonesas relacionadas con el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
JSR	0,17%	0,019	31,43%
Iwatani	0,08%	0,015	16,84%
Aichi Tokei Denki	0,07%	0,015	15,22%
Hitachi Zosen	0,16%	0,023	14,85%
Hitachi Metals	0,11%	0,019	10,13%
Nidec	0,13%	0,020	4,35%
Murata Manufacturing	0,13%	0,019	4,13%
Toshiba	0,09%	0,021	3,04%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas japonesas pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar

el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.4.5.- Resumen del análisis geográfico

Tras llevar a cabo el análisis en las cuatro zonas geográficas, el ratio de Sharpe ha variado considerablemente entre ellas. En Japón se ha obtenido el mínimo ratio (0,109), seguido por la cartera norteamericana (0,120). Los más altos han sido Europa y Asia, con un ratio de 0,181 y 0,189 respectivamente. La rentabilidad esperada más alta cuando se maximiza el ratio de Sharpe ha sido en la cartera norteamericana. Sin embargo, esta asume un nivel de riesgo mayor que no compensa la diferencia de rentabilidad obtenida tal y como explica el ratio de Sharpe. En el gráfico 10 podemos ver representada la desviación típica, que es la raíz cuadrada de la varianza y que por tanto refleja de la misma manera el nivel de riesgo, en relación con la rentabilidad de cada una de las carteras anteriores. Este gráfico refleja también como en el caso de Japón con un riesgo muy similar al de Asia, se obtiene una rentabilidad considerablemente más baja.

Gráfico 10. Resumen del análisis geográfico

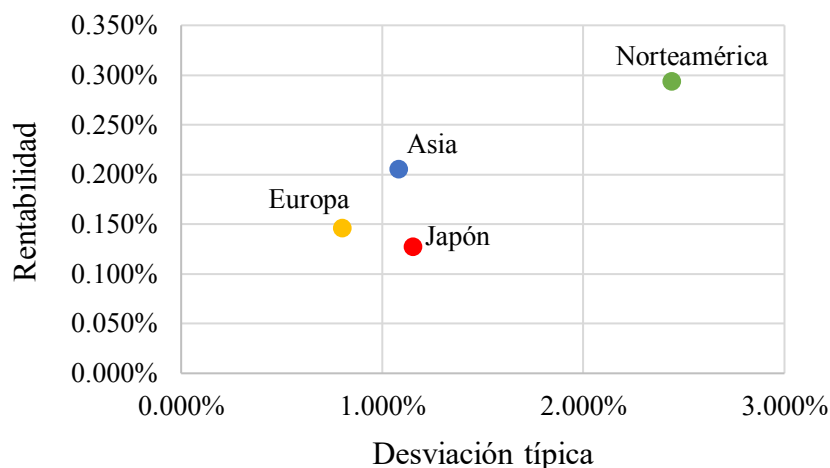


Gráfico elaborado mediante la información obtenida de las carteras resultantes de Europa, Asia, Norteamérica y Japón. Fuente: Elaboración propia.

Tras la realización de este análisis por geografías podemos concluir que la región asiática, excluyendo Japón es aquella que nos da la mayor rentabilidad en equilibrio con el riesgo asumido seguida muy de cerca por la cartera europea. Como se explicaba al principio de esta

sección, el objetivo es determinar si hay regiones donde invertir en hidrógeno pudiese ser mejor por el equilibrio ofrecido al inversor entre la rentabilidad y el riesgo. McKinsey and Company, explicaba que aquellos países donde se ha dado más importancia al desarrollo del hidrógeno han sido Europa, Asia y Japón (McKinsey & Company, 2021). Parece así que como en el caso del petróleo, aquellas regiones donde el hidrógeno ha tenido un mayor apoyo se ha obtenido un mayor ratio de Sharpe. Esto parece indicar que asumiendo que un inversor quisiese obtener la máxima rentabilidad en relación con el riesgo que esta adquiriendo al comprar las acciones de una empresa, las mejores regiones para invertir serían Asia y Europa. De hecho, aunque Norteamérica ofrece la mayor rentabilidad, el riesgo que se corre con esta cartera no se ve compensado con la rentabilidad económica obtenida por lo que no sería la zona geográfica óptima de inversión.

7.5.- Análisis según la cadena de producción

La base de datos de Infinergia Consulting añade información para cada empresa acerca del proceso de la cadena de producción en el que se encuentran. Existen cinco niveles distintos que a su vez están agrupados en subniveles. Para este estudio se analizarán los niveles superiores. El primero de ellos recoge a las empresas que se dedican a la producción de materiales y componentes que se utilizarán en procesos posteriores de la cadena de producción. La mayoría de estos componentes se dedican a la producción de pilas energéticas o de las estructuras necesarias para llevar a cabo la electrólisis. En segundo lugar, se encuentran aquellas empresas dedicadas a la producción de los motores o pilas de hidrógeno. Aquí se incluyen tanto aquellas empresas que se dedican a montar las piezas, como aquellas que añaden componentes específicos a las pilas como los refrigerantes. Se incluyen aquí todo tipo de pilas relacionadas con el hidrógeno, ya sean para el transporte, para equipo militar o aéreo o para cualquier otro uso industrial. En tercer lugar, se encuentran aquellas empresas dedicadas a la producción de hidrógeno a través de cualquier proceso. Este puede ser mediante la electrólisis alcalina, a través de restos biodegradables o del proceso PEM entre otros. Por otro lado, encontramos en cuarto lugar de la cadena aquellas empresas que participan en el almacenamiento del hidrógeno en cualquiera de sus formas, ya sea en estado líquido, sólido o gaseoso. Por último, encontramos aquellas empresas dedicadas a crear sistemas para el uso directo de esta energía. Por ejemplo, en este último grupo se incluyen las empresas que comprimen el hidrógeno para que su posterior utilización sea más sencilla.

Hay dos consideraciones a tener en cuenta. Por un lado, hay ocasiones en las que la base de datos especifica que es probable que la empresa participe en un proceso de la cadena de producción, pero no es seguro. Estos casos han sido descartados. Por otro lado, muchas empresas se dedican exclusivamente a uno de estos pasos de la cadena de producción, pero otras participan en varias. De cara al análisis, se incluye una empresa en la medida en la que esta participe en el proceso concreto, aunque no sea de forma exclusiva. Por ejemplo, en el caso de ABB esta participa en la parte de producción de pilas energéticas, así como en los procesos de producción del hidrógeno. Por eso, ABB estará tanto en el segundo análisis como en el tercero. Las empresas incluidas en cada uno de estos grupos pueden encontrarse en los anexos del 6 al 10.

7.5.1.- Materiales y componentes

El primer análisis en Excel se ha realizado para el apartado de materiales y componentes. Dentro de la base de datos había 61 empresas cotizadas participando en esta fase de la cadena de producción. Al maximizar el ratio de Sharpe en el modelo se propone invertir en 47 de ellas (tabla 8). Se ha obtenido una rentabilidad esperada de la cartera de 0,15%. Este se consigue con un riesgo relativamente pequeño, de tan solo 0,005%. Esto hace que el ratio de Sharpe sea 0,213 siendo el mejor de entre los analizados hasta el momento.

Tabla 8. *Cartera de inversión en empresas dedicadas a la producción de materiales y componentes para el hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Anglo american plantinum	0,24%	0,034	5,94%
Ceres Power	0,30%	0,037	5,38%
Plug Power	0,55%	0,054	4,71%
Chaozhou Three Circle	0,18%	0,026	4,33%
Merk KGaA	0,14%	0,016	4,07%
Dongfan Electric Corporation	0,19%	0,030	4,04%
Poco - Entegris	0,24%	0,026	3,80%
Sandvik	0,12%	0,021	3,80%
Saint-Gobain	0,14%	0,021	3,69%

JSR	0,17%	0,019	3,58%
Kaori	0,13%	0,028	3,52%
Air Liquid	0,08%	0,013	3,11%
Aperam	0,15%	0,024	2,80%
Aichi Tokei Denki	0,07%	0,015	2,72%
Hitachi Metals	0,11%	0,019	2,53%
Murata Manufacturing	0,13%	0,019	2,31%
Siemens	0,09%	0,019	2,27%
Clariant	0,07%	0,020	2,21%
Evonik Industries	0,07%	0,018	2,21%
Hyundai Steel	0,03%	0,027	2,19%
Kolon industries	0,08%	0,029	2,19%
Toyota Motor	0,07%	0,014	2,10%
Faurecia	0,09%	0,030	2,10%
Daichi Kigenso Kagaku	0,10%	0,026	1,77%
Asahi Glass Company	0,10%	0,020	1,68%
Erling Klinger	0,12%	0,035	1,62%
Agfa	0,03%	0,018	1,52%
Dowa Electronics Material	0,08%	0,020	1,50%
Basf	0,05%	0,019	1,47%
Keihin	0,04%	0,015	1,38%
Bridgeston	0,05%	0,016	1,30%
Parker Hannifin	0,14%	0,026	1,29%
Solvay SA	0,06%	0,021	1,26%
Toto LTD.	0,08%	0,020	1,23%
Emerson	0,09%	0,023	1,09%
Magna International	0,12%	0,025	1,08%
Kendron	0,04%	0,027	1,08%
Umicore	0,04%	0,025	1,05%
Sumitomo Corporation	0,04%	0,016	0,86%
Imerys Craphite and carbon	0,03%	0,024	0,82%
NGK Insulators - Morimura	0,07%	0,019	0,76%
SGL Carbon	0,09%	0,035	0,58%
Honda Motors	0,05%	0,020	0,47%
Noritake - Morimura Group	0,05%	0,022	0,29%
Nisshinbo Holding	0,05%	0,022	0,23%
FuelCell Energy	0,51%	0,112	0,05%
Kyocera	0,06%	0,016	0,05%

SUMA

100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas dedicadas a materiales y componentes pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.5.2.- Pilas de hidrógeno

Siguiendo con la cadena de valor, el siguiente proceso serían las pilas de hidrógeno donde se ha llevado a cabo el análisis con 65 empresas y seleccionando finalmente 47 para la cartera (tabla 9). En este caso, no existe una diferencia muy grande con respecto a la cartera de materiales y componentes ya que se ha obtenido un ratio de Sharpe y una rentabilidad muy similar (22,10% y 0,16 respectivamente).

Tabla 9. *Cartera de inversión en empresas dedicadas a la producción de pilas de hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Ceres Power	0,30%	0,036	6,05%
Coretronic Corporation	0,17%	0,020	5,42%
Ultra Electronics Holding	0,16%	0,022	4,98%
Chaozhou Three Circle	0,18%	0,025	4,59%
Plug Power	0,55%	0,053	4,36%
Saint-Gobain	0,14%	0,021	4,36%
ABB	0,12%	0,016	4,32%
Reliance industries	0,13%	0,021	4,12%
Dongfan Electric Corporation	0,19%	0,030	4,06%
Kaori	0,13%	0,027	3,87%
Mahle	0,08%	0,026	3,22%
SFC Energy	0,28%	0,045	3,20%
Linde group	0,13%	0,017	3,09%
TataMotors	0,20%	0,035	3,05%
Hyundai Motors	0,12%	0,024	3,03%
Hanon Systems	0,07%	0,024	2,95%
Murata Manufacturing	0,13%	0,019	2,46%

Faurecia	0,09%	0,030	2,36%
Kolon industries	0,08%	0,028	2,17%
Siemens	0,09%	0,018	2,06%
Nidec	0,13%	0,019	2,03%
Toshiba	0,09%	0,020	1,92%
Safran	0,05%	0,029	1,91%
SMA Solar Technology	0,17%	0,034	1,90%
Posco Energy	0,06%	0,020	1,66%
BMW	0,07%	0,020	1,59%
Fuji Electric	0,13%	0,022	1,58%
Lockheed Martin	0,06%	0,017	1,54%
Parker Hannifin	0,14%	0,025	1,39%
Kyocera	0,06%	0,015	1,12%
Erling Klinger	0,12%	0,035	1,11%
Osaka Gas	0,01%	0,014	1,06%
Zhongton Bus	0,09%	0,032	1,01%
General Motors	0,12%	0,027	0,94%
Toto LTD.	0,08%	0,019	0,91%
General Electrics	0,10%	0,029	0,60%
Fojikura	0,09%	0,028	0,56%
Toyota Tsusho	0,11%	0,022	0,55%
Rheinmetall	0,05%	0,022	0,53%
Ballard Power Systems	0,31%	0,046	0,49%
SAIC Motor	0,01%	0,021	0,49%
Panasonic Corporation	0,07%	0,020	0,46%
Mitsubishi Gas Chemical	0,06%	0,020	0,38%
Sumitomo Corporation	0,04%	0,015	0,33%
NGK Insulators - Morimura Group	0,07%	0,019	0,11%
Garret Motion	0,09%	0,055	0,08%
Nikola Corporation	0,22%	0,069	0,04%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas dedicadas a la elaboración de pilas de hidrógeno pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.5.3.- Producción de hidrógeno

23 empresas de la base de datos se dedican a la producción del hidrógeno y para la composición de la cartera se han descartado 10 de ellas (ver tabla 10). En esta ocasión la rentabilidad obtenida es menor (0,13%) así como el ratio de Sharpe (0,017). La varianza de la cartera también es más pequeña debido a la menor rentabilidad obtenida, siendo esta de 0,006%.

Tabla 10. *Cartera de inversión en empresas dedicadas a la producción de hidrógeno que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Air Liquid	0,08%	0,013	26,90%
ABB	0,12%	0,016	20,76%
Entegris	0,24%	0,026	14,55%
Hitachi Zosen	0,16%	0,023	10,26%
Kaori	0,13%	0,028	7,71%
Toshiba	0,09%	0,021	5,20%
Linde group	0,13%	0,017	4,45%
MKK	0,10%	0,023	4,28%
Doosan Corporation	0,09%	0,037	2,56%
Air products	0,11%	0,019	1,76%
FuelCell Energy	0,51%	0,112	0,87%
Hyundai Rotem	0,01%	0,030	0,57%
TP Group	0,02%	0,034	0,10%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas dedicadas a la producción de hidrógeno pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.5.4.- Almacenamiento de la energía

En esta fase de la cadena de producción, se parte con 28 empresas de las que el modelo ha seleccionado 17 (tabla 11). Esta cartera tiene una rentabilidad media diaria esperada de 0,15%, con una varianza de 0,01% y un ratio de Sharpe de 0,185. De nuevo, como en el caso de la

producción del hidrógeno la maximización de la inversión es menor que en aquellas empresas centradas en las primeras dos fases de la cadena de valor.

Tabla 11. *Cartera de inversión en empresas dedicadas al almacenamiento de la energía que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Air Liquid	0,08%	0,013	18,20%
Iwatani	0,08%	0,015	15,95%
Sinoma Science and Technology	0,29%	0,032	11,72%
Everest Kanto	0,33%	0,038	9,76%
Linde group	0,13%	0,017	7,88%
Air products	0,11%	0,019	7,51%
CIMC Enric Holding	0,15%	0,032	6,61%
Toshiba	0,09%	0,021	6,29%
BMW	0,07%	0,020	4,80%
Ballard Power Systems	0,31%	0,046	3,37%
Doosan Corporation	0,09%	0,037	2,54%
Panasonic Corporation	0,07%	0,020	2,03%
Faurecia	0,09%	0,030	1,67%
Keihin	0,04%	0,015	0,81%
Chart Industries	0,20%	0,041	0,49%
FuelCell Energy	0,51%	0,112	0,27%
Chiyoda Corporation	0,08%	0,033	0,10%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas dedicadas al almacenamiento de la energía pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.5.5.- *Aplicación de la energía*

En esta última fase de la cadena de valor se cuenta inicialmente con 25 empresas de las que de nuevo se han descartado 10 para la creación de la cartera (tabla 12). Esta obtendría una rentabilidad de 0,13% con una varianza de 0,006%. Esto lleva a un ratio de Sharpe de 17,69%.

Tabla 12. *Cartera de inversión en empresas dedicadas a la aplicación de la energía que maximiza la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Peso en la cartera
Veolia Environment	0,11%	0,018	15,16%
Iwatani	0,08%	0,015	14,26%
Air Liquid	0,08%	0,013	11,80%
Dover	0,15%	0,020	7,42%
Plug Power	0,55%	0,054	6,77%
Burckhardt Compression	0,11%	0,022	6,58%
Air products	0,11%	0,019	6,36%
OMV	0,10%	0,027	5,76%
BMW	0,07%	0,020	5,53%
MKK	0,10%	0,023	5,25%
CIMC Enric Holding	0,15%	0,032	5,20%
Toyota Tsusho	0,11%	0,022	4,32%
Hyosung Heavy Industries	0,11%	0,035	4,09%
SAIC Motor	0,01%	0,022	0,78%
Shell	0,01%	0,024	0,72%
SUMA			100,00%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas dedicadas a la producción de sistemas para la aplicación de la energía pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.5.6.- Resumen del análisis de la cadena de valor

Tras haber realizado el análisis para las distintas fases de la cadena de valor podemos extraer determinadas conclusiones. Por un lado, hay un mayor número de empresas participando en las dos primeras fases: un 149% más de empresas dedicadas a componentes y materiales y pilas de hidrógeno en comparación con las que se dedican a las demás fases (producción, almacenamiento y aplicación). La inversión en acciones de componentes y materiales, así como en las empresas dedicadas a la producción de pilas de hidrógeno ofrecen de acuerdo con el análisis aquí realizado una rentabilidad mayor en relación con el riesgo asumido. De esta forma,

en el gráfico 11 se observa como, aunque la cartera de almacenamiento tiene una rentabilidad similar a la de componentes y materiales, el riesgo que se asume es un 17% más alto. Se debe tener en cuenta que estas carteras se han realizado siguiendo las teorías de Sharpe y Markowitz, las cuales no tienen en cuenta los costes de comisiones. Esto provoca que determinadas carteras como la de materiales y componentes tengan un número alto de activos. Este análisis por tanto, podría también realizarse limitando el número de activos que tenga la cartera.

Gráfico 11. *Resumen del análisis de la cadena de valor*

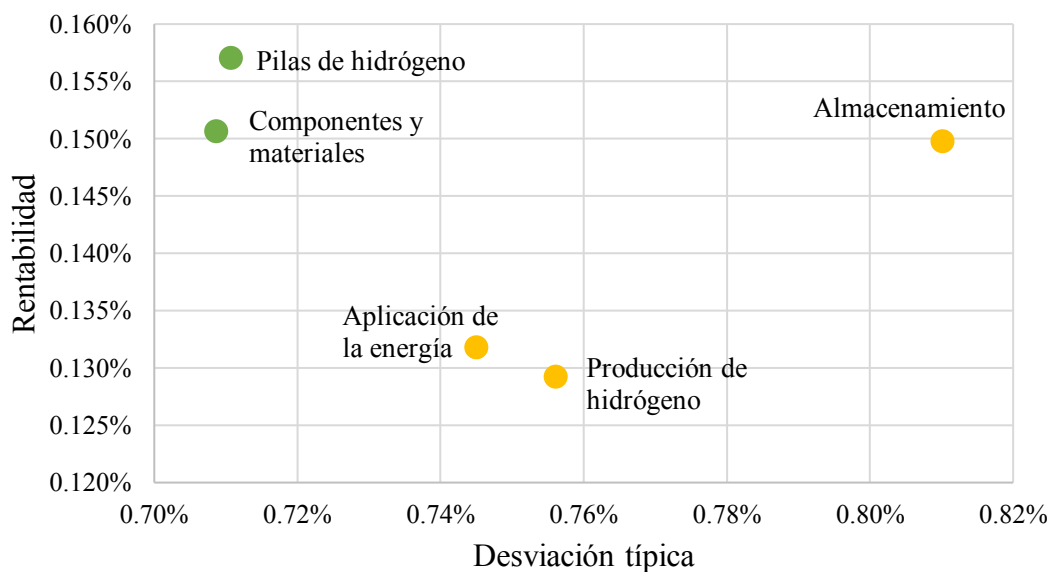


Gráfico elaborado mediante la información obtenida de las carteras resultantes de las Pilas de hidrógeno, Componentes y materiales, Aplicación de la energía, Producción de hidrógeno y almacenamiento. Los puntos verdes son los que han obtenido un mayor ratio de Sharpe. Fuente: Elaboración propia.

Muchos estudios acerca de las tendencias de inversión han demostrado que la producción de pilas de hidrógeno es de los procesos más atractivos para los inversores (Deloitte, 2020). Además, es este sector en el que más empresas multinacionales están poniendo un esfuerzo mayor (Toyota, 2021). El desarrollo tanto de materiales más baratos para la creación de los electrolizadores como la creación de sistemas más eficientes para las pilas de hidrógeno son los objetivos más importantes de los gobiernos actualmente. A modo de ejemplo, este es el caso de la Unión Europea tal y como se explicaba en el marco teórico (Research and Innovation, European Commission, 2020). Sorprende, sin embargo, la menor rentabilidad para el caso de la aplicación de la energía, ya que según los datos de IRENA se espera que tenga un mercado de aproximadamente \$40bn (2022). Sin embargo, esto podría deberse a la falta de

investigación que hay en estos proyectos, que están más centrados en las pilas de hidrógeno para la aplicación en el transporte. Además, un estudio de la consultora Boston Consulting Group explica que el almacenamiento y el transporte del hidrógeno solo puede conseguirse a través de una reforma de la red energética (Hegnsholt, Klose, Burchardt, & Schönberger, 2019). Por los tubos donde actualmente va el gas, podría ir también el hidrógeno, pero esto supone una gran reestructuración que solo puede hacer el gobierno y donde las empresas no tienen un papel tan importante como sí es el caso para las pilas de hidrógeno. A pesar de todo, los datos muestran cómo actualmente la inversión en pilas de hidrógeno y componentes materiales es más rentable que cualquiera de los otros tres procesos de la cadena de valor.

7.6.- Análisis de aquellas empresas dedicadas en exclusividad al hidrógeno

El último criterio que se ha tenido en cuenta es la actividad de la empresa. La base de datos divide la muestra entre aquellas empresas que están diversificadas y aquellas que se dedican en exclusiva a cualquiera de los procesos de la cadena de producción del hidrógeno. El número de empresas dedicadas únicamente a la producción del hidrógeno es considerablemente menor, de hecho, solamente 9 empresas de entre las 140 se dedican en exclusiva al hidrógeno siendo “*pure players*” (un 6,4%). Tras haber calculado esta cartera, los resultados proponen una inversión en 5 empresas (tabla 13), obteniendo una rentabilidad esperada de 0.3% con una variación del 0.03%, siendo al ratio de Sharpe de 0.17. Sin embargo, solamente nos sirven para un inversor que por motivos externos quiera tener una cartera únicamente con empresas que se dediquen de forma exclusiva al hidrógeno. Sin embargo, los resultados no muestran que las “*pure players*” tengan actualmente un mayor ratio de Sharpe y por tanto no son especialmente más atractivos que las demás carteras. A pesar de todo, este apartado es el que necesita un mayor análisis futuro a medida que vayan saliendo a bolsa estas “*pure players*”, ya que la mayoría de las empresas con estas características en la base de datos todavía no cotizan.

Tabla 13. *Cartera de las empresas dedicadas en exclusividad al hidrógeno, maximizando la relación rentabilidad/riesgo*

	Rentabilidad esperada	Desviación típica	Peso en la cartera
Plug Power	0.55%	0.054	18.7%
Toshiba	0.09%	0.021	22.8%
Everest Kanto	0.33%	0.038	22.3%

Ceres Power	0.30%	0.037	23.0%
SFC Energy	0.28%	0.046	13.2%

Elaborada en Excel siguiendo la teoría de Markowitz y William Sharpe con las empresas no diversificadas pertenecientes a las 140 empresas de la base de datos con el objetivo de maximizar el ratio de Sharpe. El horizonte temporal del análisis comienza el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

7.7.- Resumen del análisis

Uno de los objetivos de este trabajo es encontrar la cartera óptima de inversión en empresas que participen en proyectos de hidrógeno. Esta cartera óptima será aquella que tenga el mayor ratio de Sharpe. Por eso, para finalizar el análisis es interesante comparar todas las carteras que se han obtenido. En la tabla 14 se puede observar claramente cómo la cartera global, que es la más diversificada es la que obtiene el mayor equilibrio entre la rentabilidad y el riesgo y sería esta la cartera óptima. Esta conclusión coincide con la teoría de Markowitz de que una mayor diversificación favorece una reducción del riesgo en favor de una mayor rentabilidad. Existe una mayor diversificación debido a que se incluyen tanto geografías como procesos distintos.

En la tabla se puede apreciar además claramente cómo la cartera norteamericana a pesar de tener la mayor rentabilidad diaria esperada, es la que tiene un mayor riesgo. Esto soporta de nuevo la idea en la que se basa el análisis de que conseguir una mayor rentabilidad no debería ser el único objetivo, sino encontrar la mayor rentabilidad en relación con el riesgo. Parece, además, que de media se obtiene un mayor ratio de Sharpe en las carteras clasificadas según el proceso de la cadena de producción en comparación con las carteras clasificadas geográficamente. Esto podría indicar que influye más en la rentabilidad el proceso de producción que la región geográfica. Estas mismas conclusiones están representadas en el gráfico 12.

Tabla 14. *Resumen de los ratios de Sharpe de las carteras analizadas*

	Rentabilidad diaria	Desviación típica	Ratio de Sharpe
Cartera global	0,536%	0,241%	0,449
Pilas	0,71%	0,16%	0,221
Componentes	0,71%	0,15%	0,213
Asia	1,084%	0,205%	0,189

Almacenamiento	0,81%	0,15%	0,185
Europa	0,804%	0,146%	0,181
Aplicación	0,75%	0,13%	0,177
Producción	0,76%	0,13%	0,171
Pure players	1,78%	0,30%	0,170
Norteamérica	2,440%	0,293%	0,120
Japón	1,155%	0,127%	0,110

Elaborado con todos los resultados de las carteras calculadas a lo largo del análisis. Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Resumen de la relación rentabilidad/riesgo de las carteras analizadas

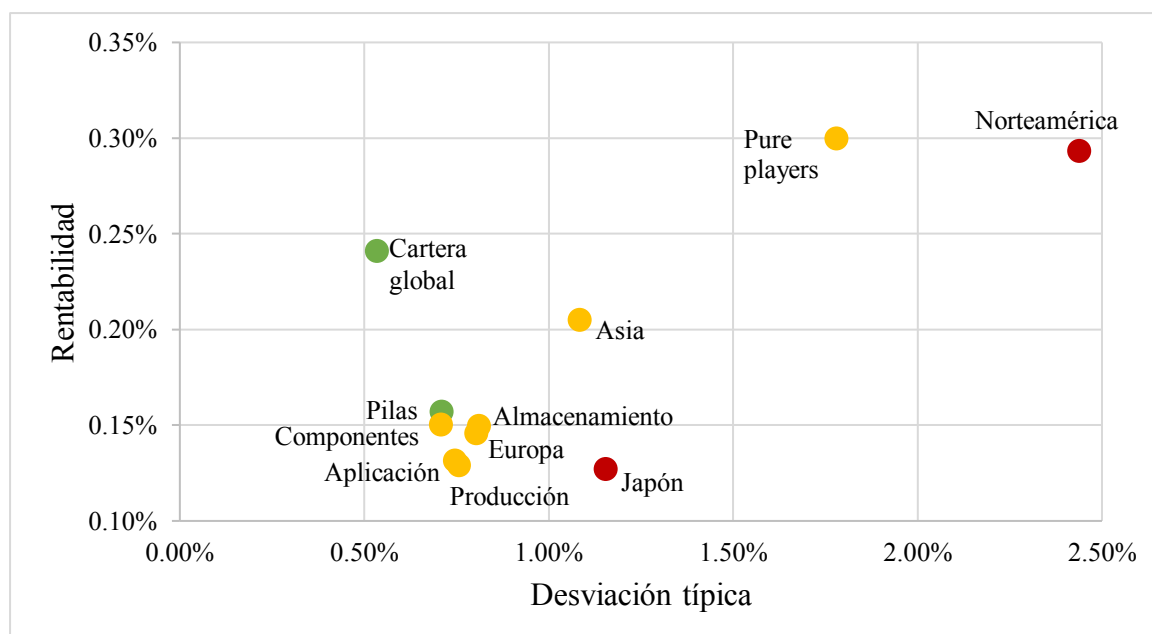


Gráfico elaborado mediante la información obtenida de todas las carteras calculadas a lo largo del análisis. El color verde corresponde a las dos carteras que ha obtenido el mayor ratio de Sharpe, mientras que el color rojo corresponde a dos carteras que han obtenido el peor ratio de Sharpe. Las demás carteras están representadas en color amarillo. Fuente: Elaboración propia.

8.- CONCLUSIONES

Las empresas están desarrollando año tras año nuevos proyectos de hidrógeno. Por su parte, los gobiernos han dedicado billones de euros para financiar las investigaciones en este campo en un intento por encontrar nuevos sistemas energéticos que permitan satisfacer la demanda creciente de energía. Otra de las causas que han favorecido el desarrollo del hidrógeno como fuente de energía ha sido la necesidad de luchar contra el cambio climático. Esto se debe a que la obtención de esta energía puede conseguirse con unos niveles de contaminación ínfimos. Además, las distintas investigaciones parecen indicar que el hidrógeno podría ser la fuente de

energía más utilizada en el futuro gracias a la versatilidad de este componente y a su abundancia en el mundo. Es sin duda un entorno que favorece el crecimiento y el desarrollo del hidrógeno y en particular del hidrógeno verde, gracias a que su proceso de obtención prácticamente no contamina al poder obtenerse con la ayuda de otras energías renovables. Estas circunstancias unidas a la necesidad de los inversores de encontrar nuevas oportunidades de inversión sostenible podrían hacer del hidrógeno el activo de inversión perfecto. Sin embargo, las investigaciones en relación con la inversión en hidrógeno son escasas. Es en este ámbito donde este trabajo aporta una mayor información y conclusiones relevantes respecto a las posibilidades de inversión.

Sin embargo, las investigaciones en relación con la inversión en hidrógeno son escasas. Es en este ámbito donde este trabajo avanza el conocimiento y cubre un gap inexplorado hasta la fecha. De esta forma, se alcanzan conclusiones relevantes para aquellos inversores que deseen incorporar este activo en sus carteras.

Partiendo de la mayor base de datos formada por empresas que desarrollan proyectos de hidrógeno, se ha analizado cómo afecta la geografía, el proceso de la cadena de producción y la diversificación empresarial a la rentabilidad de una cartera de inversión en hidrógeno. Para compararlas, se ha asumido que el objetivo de un inversor es conseguir la mayor rentabilidad para el riesgo asumido. Esto se consigue maximizando el ratio de Sharpe siguiendo los modelos de Markowitz y Sharpe.

En primer lugar, en cuanto a la geografía, Europa y Asia son las regiones donde la rentabilidad obtenida es mayor en relación con el riesgo asumido. Coincide además, que es en estos países donde los informes explican que los gobiernos han fomentado más activamente la investigación e implementación de los sistemas de hidrógeno. Esto podría deberse a que un mayor apoyo de los gobiernos atrae un mayor número de inversiones, favoreciendo el crecimiento de este activo en bolsa.

En segundo lugar, en cuanto al proceso de la cadena de producción, la inversión en empresas dedicadas tanto a la producción de materiales y componentes así como las enfocadas en la producción de pilas de hidrógeno obtendrían la mayor relación rentabilidad-riesgo. El proceso menos atractivo en temas de inversión sería el de la producción del hidrógeno. Para que el hidrógeno pueda utilizarse comúnmente en el futuro, su producción y utilización debe ser

eficiente en costes, es por eso que la mayor parte del foco de investigación, está puesto en estos dos primeros procesos de la cadena de producción.

Por último, la inversión en empresas dedicadas exclusivamente a la producción de hidrógeno no son una buena inversión en términos de Sharpe. Actualmente, estas empresas no son lo suficientemente eficientes como para ofrecer altos niveles de rentabilidad en relación con el riesgo asumido. Por el contrario, en la cartera creada con los activos de la base de datos, sin ningún tipo de distinción ni por geografías o procesos, el ratio de Sharpe obtenido ha sido claramente superior. Esto indica que la mejor estrategia de inversión en hidrógeno consiste en diversificar la cartera, teniendo empresas de varias geografías y que participen en distintos procesos de la cadena producción.

Por lo tanto, aquel inversor que quiera obtener una mayor rentabilidad para el riesgo que este asumiendo, debería diversificar su cartera a nivel global ya que esta estrategia es claramente más eficiente, en términos de Sharpe, que cualquier otro tipo de diversificación.

La volatilidad en los mercados financieros se ha visto afectada por el efecto de la pandemia provocada por la COVID-19, así como conflictos internacionales como las tensiones entre Estados Unidos y Afganistán o entre Rusia y Ucrania. Así, futuras líneas de investigación deberán analizar en mayor profundidad las motivaciones de los inversores para escoger empresas que inviertan en hidrógeno y así poder comprender mejor los motivos que hacen que determinadas regiones o procesos de fabricación obtengan una mayor rentabilidad que otros.

9.- ANEXOS

Anexo 1. Tipos de cambio oficiales.

1 euro =	1.1326 dólares USA.
1 euro =	130.38 yenes japoneses.
1 euro =	1.9558 levs búlgaros.
1 euro =	24.858 coronas checas.
1 euro =	7.4364 coronas danesas.
1 euro =	369.19 forints húngaros.
1 euro =	0.84028 libras esterlinas.
1 euro =	10.2503 coronas suecas.
1 euro =	4.5969 zlotys polacos.
1 euro =	147.60 coronas islandesas.
1 euro =	4.9490 nuevos leus rumanos.
1 euro =	9.9888 coronas noruegas.
1 euro =	1.0331 francos suizos.
1 euro =	15.2335 liras turcas.
1 euro =	85.3004 rublos rusos.
1 euro =	6.3101 reales brasileños.
1 euro =	7.5156 kunas croatas.
1 euro =	8.8333 dólares de Hong-Kong.
1 euro =	1.5615 dólares australianos.
1 euro =	7.1947 yuanes renminbi chinos.
1 euro =	16100.42 rupias indonesias.
1 euro =	1.4393 dólares canadienses.
1 euro =	1346.38 wons surcoreanos.
1 euro =	84.2292 rupias indias.
1 euro =	4.7184 ringgits malasios.
1 euro =	23.1438 pesos mexicanos.
1 euro =	1.6579 dólares neozelandeses.
1 euro =	3.5159 shekel israelí.
1 euro =	57.763 pesos filipinos.

Fuente: Boletín Oficial del Estado (2021). Resolución 31 de diciembre de 2021, 3 (III), 1046.

Anexo 2

Empresas domiciliadas en Asia (excluyendo Japón) y su rentabilidad media diaria en el periodo analizado (1/01/2019-31/12/2021)

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Doosan Corporation	0,09%	TataMotors	0,20%
Hanon Systems	0,07%	Chaozhou Three Circle	0,18%
Hyosung Heavy Industries	0,11%	Dongfan Electric Corporation	0,19%
Hyundai Motors	0,12%	Houpu Clean Energy	0,32%
Hyundai Rotem	0,01%	SAIC Motor	0,01%
Hyundai Steel	0,03%	Sinoma Science and Technology	0,29%
Korea Gas Corporation	0,01%	Zhongton Bus	0,09%
Kolon industries	0,08%	Coretronic Corporation	0,17%
Posco Energy	0,06%	Kaori	0,13%
Bosh	0,01%	SDI	0,19%
Everest Kanto	0,33%	CIMC Enric Holding	0,15%
Reliance industries	0,13%		

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 3

Empresas domiciliadas en Europa y su rentabilidad media diaria en el periodo analizado (1/01/2019-31/12/2021)

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Agfa	0,03%	Saint-Gobain	0,14%
Air Liquid	0,08%	SFC Energy	0,28%
Aperam	0,15%	SGL Carbon	0,09%
Basf	0,05%	Shell	0,01%
BMW	0,07%	Siemens	0,09%
Colruyt Group	-0,04%	SMA Solar Technology	0,17%
Continental	0,01%	Solvay SA	0,06%
Erling Klinger	0,12%	Thyssenkrupp	0,01%
Evonik Industries	0,07%	Umicore	0,04%
Faurecia	0,09%	Vallourec	-0,11%
Imerys Craphite and carbon	0,03%	Veolia Environment	0,11%
Kendron	0,04%	Ceres Power	0,30%
Mahle	0,08%	TP Group	0,02%
Merk KgaA	0,14%	Ultra Electronics Holding	0,16%

Naturgy	0,07%	ABB	0,12%
OMV	0,10%	Burckhardt Compression	0,11%
Rheinmetall	0,05%	Clariant	0,07%
Safran	0,05%	Sandvik	0,12%

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 4

Empresas domiciliadas en Japón y su rentabilidad media diaria en el periodo analizado (1/01/2019-31/12/2021)

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Aichi Tokei Denki	0,07%	Kyocera	0,06%
Aisin Seiki	0,06%	Mitsubishi Gas Chemical	0,06%
Asahi Glass Company	0,10%	Mitsubishi Hitachi Power	-0,02%
Asahi Kasei	0,03%	MKK	0,10%
Bridgeston	0,05%	Murata Manufacturing	0,13%
Chiyoda Corporation	0,08%	NGK Insulators – Morimura Group	0,07%
Daihatsu Diesel	-0,01%	NGK Spark Plug – Morimura Group	0,03%
Daichi Kigenso Kagaku	0,10%	Nidec	0,13%
Dowa Electronics Material	0,08%	Nippon Shokubai	-0,01%
Fuji Electric	0,13%	Nissan Motor	-0,02%
Fojikura	0,09%	Nisshinbo Holding	0,05%
GS Yuasa Corporation	0,06%	Noritake – Morimura Group	0,05%
Hitachi Metals	0,11%	Osaka Gas	0,01%
Hitachi Zosen	0,16%	Panasonic Corporation	0,07%
Honda Motors	0,05%	Sumitomo Corporation	0,04%
Idemitsu	0,00%	Sumitomo Precision	-0,02%
IHI	0,03%	Suzuki Motor	0,01%
Iwatani	0,08%	Toho Gas	-0,04%
JSR	0,17%	Tokyo Gas	-0,02%
ENEOS holding	-0,01%	Toray	0,01%
Kawasaki Heavy industries	0,03%	Toshiba	0,09%
Keihin	0,04%	Toto LTD,	0,08%
Kitz	0,01%	Toyoda Gosei	0,05%
Kobe Steel Group	0,01%	Toyota Tsusho	0,11%
		The Yokohama Rubber	0,03%

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 5

Empresas domiciliadas en Norteamérica y su rentabilidad media diaria en el periodo analizado (1/01/2019-31/12/2021)

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Velan	0.04%	GrafTech International	0.08%
3M	0,02%	HoneyWell UOP	0,09%
AeroVironment	0,04%	Linde group	0,13%
Air products	0,11%	Lockheed Martin	0,06%
Ballard Power Systems	0,31%	Luxfer	0,07%
Bloom Energy Corporation	0,32%	Magna International	0,12%
Chart Industries	0,20%	Nikola Corporation	0,22%
The Chemours Company	0,12%	Parker Hannifin	0,14%
Dana	0,15%	Pentair	0,12%
Dover	0,15%	Plug Power	0,55%
Emerson	0,09%	Poco - Entegris	0,24%
Entegris	0,24%	Tenaris	0,04%
FuelCell Energy	0,51%	Toyota Motor	0,07%
Garret Motion	0,09%	Worthington Industries	0,11%
General Electrics	0,10%	Hyster	0,00%
General Motors	0,12%		

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 6.

Empresas cotizadas dedicadas a la producción de materiales y componentes que se utilizarán en procesos posteriores de la cadena de producción

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Hyundai Steel	0,03%	Murata Manufacturing	0,13%
Kolon industries	0,08%	NGK Insulators – Morimura Group	0,07%
Velan	0,04%	Nippon Shokubai	-0,01%
3M	0,02%	Nisshinbo Holding	0,05%
Ballard Power Systems	0,31%	Noritake – Morimura Group	0,05%
Bloom Energy Corporation	0,32%	Sumitomo Corporation	0,04%
The Chemours Company	0,12%	Toray	0,01%
Dana	0,15%	Toto LTD,	0,08%
Emerson	0,09%	The Yokohama Rubber	0,03%
FuelCell Energy	0,51%	Anglo american plantinum	0,24%

GrafTech International	0,08%	Ceres Power	0,30%
Magna International	0,12%	Chaozhou Three Circle	0,18%
Parker Hannifin	0,14%	Dongfan Electric Corporation	0,19%
Plug Power	0,55%	Kaori	0,13%
Poco - Entegris	0,24%	Agfa	0,03%
Toyota Motor	0,07%	Air Liquid	0,08%
Clariant	0,07%	Aperam	0,15%
Sandvik	0,12%	Basf	0,05%
Aichi Tokei Denki	0,07%	Continental	0,01%
Asahi Glass Company	0,10%	Erling Klinger	0,12%
Asahi Kasei	0,03%	Evonik Industries	0,07%
Bridgeston	0,05%	Faurecia	0,09%
Daichi Kigenso Kagaku	0,10%	Imerys Craphite and carbon	0,03%
Dowa Electronics		Kendron	
Material	0,08%		0,04%
Hitachi Metals	0,11%	Merk KgaA	0,14%
Honda Motors	0,05%	Saint-Gobain	0,14%
JSR	0,17%	SGL Carbon	0,09%
Keihin	0,04%	Siemens	0,09%
Kitz	0,01%	Solvay SA	0,06%
Kyocera	0,06%	Umicore	0,04%
		Vallourec	-0,11%

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 7

Empresas cotizadas dedicadas a la fabricación de pilas de hidrógeno

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Doosan Corporation	0,09%	Nippon Shokubai	-0,01%
Hanon Systems	0,07%	Nissan Motor	-0,02%
Hyundai Motors	0,12%	Osaka Gas	0,01%
Kolon industries	0,08%	Panasonic Corporation	0,07%
Posco Energy	0,06%	Sumitomo Corporation	0,04%
AeroVironment	0,04%	Suzuki Motor	0,01%
Ballard Power Systems	0,31%	Toho Gas	-0,04%
Bloom Energy Corporation	0,32%	Toshiba	0,09%
Dana	0,15%	Toto LTD,	0,08%

FuelCell Energy	0,51%	Toyota Tsusho	0,11%
Garret Motion	0,09%	Bosh	0,01%
General Electrics	0,10%	Reliance industries	0,13%
General Motors	0,12%	TataMotors	0,20%
Linde group	0,13%	Ceres Power	0,30%
Lockheed Martin	0,06%	Ultra Electronics Holding	0,16%
Luxfer	0,07%	Chaozhou Three Circle	0,18%
Nikola Corporation	0,22%	Dongfan Electric Corporation	0,19%
Parker Hannifin	0,14%	SAIC Motor	0,01%
Plug Power	0,55%	Zhongton Bus	0,09%
Hyster	0,00%	Coretronic Corporation	0,17%
ABB	0,12%	Kaori	0,13%
Aisin Seiki	0,06%	BMW	0,07%
Daihatsu Diesel	-0,01%	Erling Klinger	0,12%
Fuji Electric	0,13%	Faurecia	0,09%
Fojikura	0,09%	Mahle	0,08%
Honda Motors	0,05%	Rheinmetall	0,05%
Kyocera	0,06%	Safran	0,05%
Mitsubishi Gas Chemical	0,06%	Saint-Gobain	0,14%
Mitsubishi Hitachi Power	-0,02%	SFC Energy	0,28%
Murata Manufacturing	0,13%	Siemens	0,09%
NGK Insulators – Morimura Group	0,07%	SMA Solar Technology	0,17%
NGk Spark Plug – Morimura Group	0,03%	Thyssenkrupp	0,01%
Nidec	0,13%		

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 8

Empresas cotizadas dedicadas a la producción de hidrógeno

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Doosan Corporation	0,09%	Honda Motors	0,05%
Hyundai Rotem	0,01%	IHI	0,03%

Air products	0,11%	Kawasaki Heavy industries	0,03%
Dana	0,15%	Kobe Steel Group	0,01%
Entegris	0,24%	MKK	0,10%
FuelCell Energy	0,51%	Osaka Gas	0,01%
HoneyWell UOP	0,09%	Panasonic Corporation	0,07%
Linde group	0,13%	Toshiba	0,09%
Parker Hannifin	0,14%	TP Group	0,02%
ABB	0,12%	Kaori	0,13%
Asahi Kasei	0,03%	Air Liquid	0,08%
Hitachi Zosen	0,16%		

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 9

Empresas cotizadas dedicadas al almacenamiento de energía

Empresas	Rentabilidad	Empresas	Rentabilidad
Doosan Corporation	0,09%	Keihin	0,04%
Air products	0,11%	Nippon Shokubai	-0,01%
Ballard Power Systems	0,31%	Panasonic Corporation	0,07%
Chart Industries	0,20%	Toshiba	0,09%
FuelCell Energy	0,51%	Toyoda Gosei	0,05%
Linde group	0,13%	Everest Kanto	0,33%
Luxfer	0,07%	Sinoma Science and Technology	0,29%
Magna International	0,12%	CIMC Enric Holding	0,15%
Tenaris	0,04%	Air Liquid	0,08%
Toyota Motor	0,07%	BMW	0,07%
Worthington Industries	0,11%	Faurecia	0,09%
Chiyoda Corporation	0,08%	Rheinmetall	0,05%
Iwatani	0,08%	Thyssenkrupp	0,01%
Kawasaki Heavy industries	0,03%	Vallourec	-0,11%

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

Anexo 10

Empresas cotizadas dedicadas a la aplicación del hidrógeno

Empresa	Rentabilidad	Empresa	Rentabilidad
Hyosung Heavy Industries	0,11%	Toho Gas	-0,04%
Air products	0,11%	Tokyo Gas	-0,02%
Dover	0,15%	Toyota Tsusho	0,11%
Nikola Corporation	0,22%	SAIC Motor	0,01%
Plug Power	0,55%	CIMC Enric Holding	0,15%
Burckhardt Compression	0,11%	Air Liquid	0,08%
Honda Motors	0,05%	BMW	0,07%
Idemitsu	0,00%	Colruyt Group	-0,04%
Iwatani	0,08%	Naturgy	0,07%
Kawasaki Heavy industries	0,03%	OMV	0,10%
Kobe Steel Group	0,01%	Shell	0,01%
MKK	0,10%	Veolia Environment	0,11%
Nippon Shokubai	-0,01%		

Fuente: Elaboración propia con la información de la base de datos de *Infinergia Consulting*

10.- BIBLIOGRAFÍA

- Abramov, A., Radygin, A., & Chernova, M. (2015). *Long-term portfolio investments: New insight into return and risk*, 1(3), 273-293.
- Admiral Markets. (2021). *¿Cuáles son las mejores acciones para Invertir en hidrógeno en 2022?* Recuperado el 13 de febrero de 2022, de Admiral Markets: <https://admiralmarkets.com/es/education/articles/shares/invertir-en-hidrogeno>
- Agencia Internacional de la Energía. (2022). *Hydrogen is an increasingly important piece of the net zero emissions by 2050 puzzle*. Agencia Internacional de la Energía.
- AOP. (2020). *Hidrógeno verde, azul, renovable, de bajas emisiones... Claves del papel del hidrógeno en la transición energética*. Recuperado el 27 de septiembre de 2021, de Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos: <https://www.aop.es/blog/2020/09/22/claves-hidrogeno-transicion-energetica/>
- Asensio, P. (2003). *Hidrógeno y pila de combustible*. Agencia Europea de Medio Ambiente.
- Asim, H. (2021). *Hydrogen Fuel Cells to Buy Today*. Recuperado el 1 de diciembre de 2021 de Yahoo Finance: <https://finance.yahoo.com/news/10-hydrogen-fuel-cell-stocks-173303405.html>
- Benninga, S. (2014). Efficient Portfolios Without Short Sales. In *Financial Modeling*. The MIT Press.
- Bessembinder, H. (1987). How Many Stocks Make a Diversified Portfolio? *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 22(3), 353-363.
- Buttel, A. (2010). Harry M. Markowitz on Modern Portfolio Theory, the Efficient Frontier, and His Life's Work. *Journal of Financial Planning*, 23(5), 18-23.
- Cabrera, R., Martín, J., & González, I. (2007). La utilización de la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) para identificar diferentes estados superficiales en el proceso de corrosión del acero al carbono en medios amargos. *Sociedad Química de México*, 1(1), 32-41.
- CAISO. (2013). *What the duck curve tells us about managing a green grid*. California Independent System Operator.
- Cano, D. (2020). *Ratio de Sharpe: cálculo e interpretación*. Recuperado el 3 noviembre de 2021 de Afi Inversiones Globales: <https://www.afi-inversiones.es/b60.html>
- Carcasona, R. (2019). Evaluación del riesgo del apalancamiento financiero. *Técnica contable y financiera*, 19, 88-97.

- Caspersen, M. (2017). *Geographic hydrogen hotspots. A look at hydrogen hot spots, distribution corridors, transport and more*. KPMG.
- Causapé, A. (2006). *Las tecnologías de almacenamiento del hidrógeno en vehículos y su proyección de futuro. Anales de mecánica y electricidad*, 20-23.
- Cerdá, E. (2013). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 117-140.
- Chua, D., Kritzman, M., & Page, S. (2009). *The Myth of Diversification*, 36(1), pp. 26-35.
- Clifford Chance. (2021). *Focus on Hydrogen: EU funding programmes for energy projects*. London: Clifford Chance.
- Climate Change, United Nations. (2016). *Key aspects of the Paris Agreement*. Recuperado el 23 de enero de 2022 de UNFCCC: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement/key-aspects-of-the-paris-agreement>
- Consejo Europeo. (2022). Pacto Verde Europeo. Recuperado el 1 de marzo de 2022 de Consejo Europeo : <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>
- Constantinides, G., & Malliaris, A. (1995). *Portfolio Theory*. Elsevier Science.
- Crabtree, G., & Dresselhaus, M. (2008). The Hydrogen Fuel Alternative. *MRS Energy and Sustainability*, 33.
- Davis, S., Liu, D., & Sheng, X. (2022). Stock Prices and Economic Activity in the Time of Coronavirus. *IMF Economic Review*, 70, 32-67.
- Deloitte. (2020). *Investing in Hydrogen. Ready, set, net zero*. Deloitte LLP.
- Denman, A., Porter, M., Parry, P., & Meijer, P. (2021). *Five Imperatives to Thrive in a Hydrogen Future*. Bain & Company.
- Duuren, E., Plantinga, A., & Scholtens, B. (2016). ESG Integration and the Investment Management Process: Fundamental Investing Reinvented. *Journal of Business Ethics*, 138, 525-533.
- Eaton, D., & Conover, J. (2001). Stock and bond sharpe ratios and long-horizon asset allocation. *The journal of Investing*, 10(1), 35-42.
- Eccles, R., & Strohle, J. (2018). *Exploring Social Origins in the Construction of ESG Measures*. University of Oxford.
- Elcacho, J. (2016). *Descubre los 20 países que no firmaron el acuerdo del cambio climático*. Recuperado el 15 de enero de 2022 de La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/natural/20160425/401350299817/paises-boicot-firma-acuerdo-paris-cambio-climatico.html>

- Emad, M., García, B., & Hepburn, D. (2019). Quantification of Efficiency Improvements from Integration of Battery Energy Storage Systems and Renewable Energy Sources into Domestic Distribution Networks. *Energies*, 12(4640), 1-21.
- Escrig, E., Muñoz, J., & Fernández, Á. (2010). Socially responsible investing: sustainability indices, ESG rating and information provider agencies. *Sustainable Economy*.
- Focardi, S., & Caroline, J. (1997). *Modeling the market*. Wiley.
- Giese, G. (2017). *Has ESG affected stock performance? MSCI*. Recuperado el 27 de febrero de 2022, de MSCI: <https://www.msci.com/esg-101-what-is-esg/esg-and-performance>
- Gollinger, T., & Morgan, J. (1993). Calculation of an efficient frontier for a commercial loan portfolio. *Journal of Portfolio Management*, 19(2), 39-43.
- Granath, B. (2017). *Liquid Hydrogen - The Fuel of Choice for Space Exploration*. NASA.
- Grout, P., Megginson, W., & Zalewska, A. (2009). *One Half-Billion Shareholders and Counting-Determinants of Individual Share Ownership Around the World*.
- Hegnsholt, E., Klose, F., Burchardt, J., & Schönberger, S. (2019). *The Real Promise of Hydrogen*. BCG.
- IEA. (2019). *The Future of Hydrogen*.
- Infinergia Consulting. (2021). *Hydrogen Market*. Recuperado el 15 de enero de 2022, de Infinergia Consulting: <https://www.infinergia.com/en/hydrogen-market>
- International Energy Association. (2020). *World Energy Investment 2020: Fuel Supply*. Recuperado el 8 de febrero de 2022, de International Energy Association: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020/fuel-supply>
- International Energy association. (2021). *Hydrogen. More efforts needed*.
- International Renewable Energy Agency. (2019). *Unprecedented Momentum for Green Hydrogen*. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de IRENA: <https://www.irena.org/newsroom/articles/2019/Oct/Unprecedented-momentum-for-green-hydrogen>
- Ionescu, G., Firoiu, D., Pirvu, R., & Dana, R. (2019). *The impact of ESG factors on market value of companies from travel and tourism industry. Technological and Economic Development of Economy*.
- IRENA. (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation. The Hydrogen Factor*. International Renewable Energy Agency.
- Jamil, M., Kirmani, S., & Rizwan, M. (2012). Techno-Economic Feasibility Analysis of Solar Photovoltaic Power Generation: A Review. *Smart Grid and Renewable Energy*, 3(4), 266-274.

- Keith, L. (1998). Historia de la electrólisis. *In Educación Química*, 128-132. Sitesa.
- KLD Research & analytics, INC. (2007). *KLD Launches Global Sustainability Index (GSI)*. Recuperado el 8 de enero de 2022, de https://www.csrwire.com/press_releases/23136-kld-launches-global-sustainability-index-gsi
- Kosowatz, J. (2018). Energy Storage Smooths the Duck Curve. *Mechanical Engineering*, 140(6), 30-35.
- Kumar, S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442-454.
- Lin, M.-Y., Hourng, L.-w., Huang, S.-h., Tsai, T.-h., & Hsu, W.-h. (2017). Analysis and Study on Polarization during Water Electrolysis Hydrogen Production. *Chemical Engineering Communications*, 204, 168–175.
- Llorca, J. (2010). ¿Qué papel jugará el hidrógeno en nuestro futuro? *El hidrógeno y nuestro futuro* energético, 107-123. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Marini, S., & Salvi, P. (2012). Advanced alkaline water electrolysis. *Electrochimica Acta*, 82(1), 384-391.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Martínez, E., Sanz, F., Pellegrini, S., Jiménez, E., & Blanco, J. (2009). Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine. *Renewable Energy*, 34(3), 667-673.
- McKinsey & Company. (2021). Hydrogen Insights. *A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness*.
- Mendizábal, A., Miera, L., & Zubia, M. (2002). El modelo de Markowitz en la gestión de carteras. *Cuadernos de gestión*, 2(1), 34-46.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Hoja de ruta del hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Moratilla, B. (2010). *Hidrógeno: un presente para el futuro*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- MSCI. (2022). *MSCI AC Asia ex Japan Index (USD)*. MSCI.
- Nakano, J. (2021). *Japan's Hydrogen Industrial Strategy*. Center for Strategic and International Studies.
- NASA. (2012). *Centaur: America's Workhorse in Space*. NASA.
- Naughton, T. (2010). A factor analysis of equity market relationships in Asia. *Applied Economic Letters*, 3(11), 725-728.

- Ni, M., Leung, D., & Leung, M. (2006). An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Processing Technology*, 87, 461-472.
- Office of Nuclear Energy. (2020). *Could Hydrogen Help Save Nuclear?* Recuperado el 13 de marzo de 2022 de Office of Nuclear Energy: <https://www.energy.gov/ne/articles/could-hydrogen-help-save-nuclear>
- Perea, A., & Hazael, O. (2020). Diseño de un portfolio óptimo de suministro eléctrico a partir del modelo de Markowitz: el caso de un usuario en México. *Contaduría y Administración*, 65(1), 1-20.
- Potter, S. (2022). *Here's (Almost) Everything Wall Street Expects in 2022*. Recuperado el 28 febrero de 2022 de Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/graphics/2022-investment-outlooks/>
- PRI. (2016). *What is PRI?* Recuperado el 29 de diciembre de 2021 de Principles for Responsible Investment: <https://www.unpri.org/listed-equity/esg-integration-techniques-for-equity-investing/11.article>
- Qureshy, A., & Dincer, I. (2021). Development of a new solar photoelectrochemical reactor design for more efficient hydrogen production. *Energy Conversion and Management*, 228.
- Research and Innovation, European Commission. (2020). *Key driver of the hydrogen strategy*. European Commission.
- Schmalensee, R. (2021). Competitive Energy Storage and the Duck Curve. *IAEE's Energy Economics Education Foundation*, 43(2).
- Secretary General, United Nations. (2020). *Carbon neutrality by 2050: the world's most urgent mission*. Recuperado el 29 de octubre de 2021 de United Nations. Secretary-General : <https://www.un.org/sg/en/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-the-world's-most-urgent-mission>
- Semenova, N., & Hassel, L. (2015). On the Validity of Environmental Performance Metrics. *Journal of Business Ethics*, 132, 249–258.
- Sharpe, W. (1966). Mutual Fund Performance. *The Journal of Business*, 39(1), pp. 119-138.
- Sharpe, W. (1977). *The Capital Asset Pricing Model: A "Multi-Beta" Interpretation*. Academic Press, 127-135.
- Sharpe, W. (1994). *The Sharpe Ratio*. The Journal of Portfolio Management.
- Sljukic, B., Santos, D., Vujkovic, M., Amaral, L., Pocha, R., Sequeira, C., & Figueiredo, J. (2016). Molybdenum Carbide Nanoparticles on Carbon Nanotubes and Carbon Xerogel:

- Low-Cost Cathodes for Hydrogen Production by Alkaline Water Electrolysis. *Chemsuschem*, 9, 1200 – 1208.
- Sönnichsen, N. (2021). *Global hydrogen production outlook by type 2015-2050*. Statista.
- Sönnichsen, N. (2022). *Number of hydrogen fueling stations for road vehicles worldwide as of 2021, by country*. Statista.
- The Federal Government. (2020). *The National Hydrogen Strategy*. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.
- The Nobel Prize. (1990). *The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1990*. Recuperado el diciembre de 2021, de Nobel Prize: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1990/press-release/>
- Toyota. (2021). *Vehículos de hidrógeno. El combustible del futuro*.
- U.S. Department of Energy. (2020). *Hydrogen Plan. United States*: Department of Energy.
- United Nations (2022). Paris Agreement. Status of Treaties, Chapter 27 (Environment), 7.d. del 12 de diciembre de 2015.
- Ursua, A., Gandia, L., & Sanchis, P. (2012). Hydrogen Production From Water Electrolysis: Current Status and Future Trends. *Proceedings of the IEEE*, 100(2), 410-426.
- Velazquez, A., & Dodds, P. E. (2020). Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. *Energy Policy*, 138.
- Wikramanayake, E., Acharya, P. V., Kapner, M., & Bahadur, V. (2021). *Green hydrogen-based energy storage in Texas for decarbonization of the electric grid. IEEE Green Technologies Conference*.
- Yahoo Finance. (2022). Recuperado en octubre de 2022 de Yahoo Finance: <https://es.finance.yahoo.com>
- Yue, S. (2018). *Stock Price Forecasting Using Information from Yahoo Finance and Google Trend*. UC Berkeley.
- Yusaf, T., Laimon, M., Alrefa, W., Kadrigama, K., Dhahad, H., et.al (2022). Hydrogen Energy Demand Growth Prediction and Assessment (2021–2050) Using a System Thinking and System Dynamics Approach. *Applied Science*, 12(781).
- Zaimovic, A., Omanovic, A., & Arnaut-Berilo, A. (2021). How Many Stocks Are Sufficient for Equity Portfolio Diversification? A Review of the Literature. *Journal of Risk and Financial Management*, 3 (27), 37-42.
- Zeng, K., & Zhang, D. (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 307-374.