



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER ANÁLISIS DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE MERCANCÍAS Y SOLUCIONES PARA SU DESCARBONIZACIÓN

Autor: Alejandro Jesús Morales Cabodevilla

Director: Alberto Mascareñas Brito

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis del transporte terrestre de mercancías y soluciones para su descarbonización
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

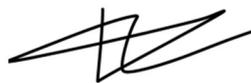


Fdo.: Alejandro Morales Cabodevilla

Fecha: 29/07/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Alberto Mascareñas Brito

Fecha: 29/07/2023



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE MERCANCÍAS Y SOLUCIONES PARA SU DESCARBONIZACIÓN

Autor: Alejandro Jesús Morales Cabodevilla

Director: Alberto Mascareñas Brito

Madrid

Agradecimientos

Por medio de estas líneas, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en mi recorrido a lo largo de este máster. En primer lugar, quiero agradecer a Alberto Mascareñas Brito por su invaluable ayuda y apoyo durante estos últimos meses del proyecto, sin los cuales no hubiera sido posible llevar a cabo esta realización.

También, quiero extender mi profundo agradecimiento a mis padres, Tomás y Pilar, por su inquebrantable acompañamiento y apoyo a lo largo de esta etapa de mi vida. Su constante aliento y dedicación han sido pilares fundamentales para alcanzar este logro académico. Además, quiero agradecer a mis demás familiares y amigos, cuyo apoyo y estímulo han sido imprescindibles para hacer de estos dos años de máster, y de esta etapa en general, una experiencia única, enriquecedora y fructífera.

Una vez más, gracias a cada uno de vosotros por ser parte importante de mi camino y por contribuir a mi crecimiento y éxito académico. Vuestra generosidad y presencia han sido un regalo invaluable en esta travesía.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE MERCANCÍAS Y SOLUCIONES PARA SU DESCARBONIZACIÓN

Autor: Morales Cabodevilla, Alejandro Jesús.

Director: Mascareñas Brito, Alberto.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

La descarbonización en el transporte terrestre representa un fin esencial para lograr la meta de cero emisiones netas en el año 2050, alineándose así con los objetivos del Acuerdo de París. El propósito del proyecto radica en comprender el sistema de transporte terrestre de mercancías y proponer soluciones viables que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas soluciones serán abordadas desde una perspectiva técnica, económica y legal, con un enfoque especial en España, aunque manteniendo en mente que se trata de una cuestión global.

Para alcanzar este objetivo, el proyecto ha sido dividido en dos grandes bloques: uno de investigación y otro práctico. En el bloque de investigación, se llevará a cabo un análisis de la situación actual del transporte de mercancías por carretera, tanto a nivel general como nacional, enfocándose en los aspectos legales. Se incluirá una breve revisión de la historia de la transformación energética y la descarbonización, además de abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados y las ayudas destinadas al sector estudiado. También se llevará a cabo un estudio técnico del mercado actual de las diferentes tecnologías de propulsión, desde las más tradicionales como el diésel, hasta las más recientes, como los vehículos eléctricos o aquellos que emplean hidrógeno, que aún están en fase de desarrollo.

En lo que respecta al bloque práctico, se desarrollará una herramienta para analizar el sector del transporte terrestre de mercancías desde una perspectiva económica y medioambiental en la actualidad. Para esto, se examinarán las cinco principales empresas del sector. Gracias a esta herramienta, también será posible evaluar diversos escenarios en los cuales las tecnologías de propulsión alternativas ganan relevancia, con el fin de comprobar la rentabilidad de invertir en dichos tipos de vehículos.

Palabras clave: Descarbonización del transporte, Cero emisiones, Gases de Efecto Invernadero, Tecnologías de propulsión, Perspectiva Económica.

1. Introducción

En el contexto de España como miembro de la Unión Europea, se está llevando a cabo una importante inversión para lograr una comunidad descarbonizada y hacer frente al cambio climático. El consenso científico, establecido por Naciones Unidas, señala que este cambio climático se debe a la emisión de GEI como el CO₂ y el CH₄, entre otros factores. Reducir el uso de hidrocarburos fósiles es fundamental para combatir este fenómeno, disminuyendo las emisiones de CO₂ a nivel global y local. Este proceso de reemplazar los combustibles fósiles se conoce como descarbonización.

El transporte es crucial para la sociedad y la economía, siendo un sistema eficaz y accesible esencial para mejorar la calidad de vida. Los avances en la descarbonización del transporte indican la necesidad de sustituir combustibles fósiles en las carreteras con alternativas que reduzcan las emisiones de GEI.

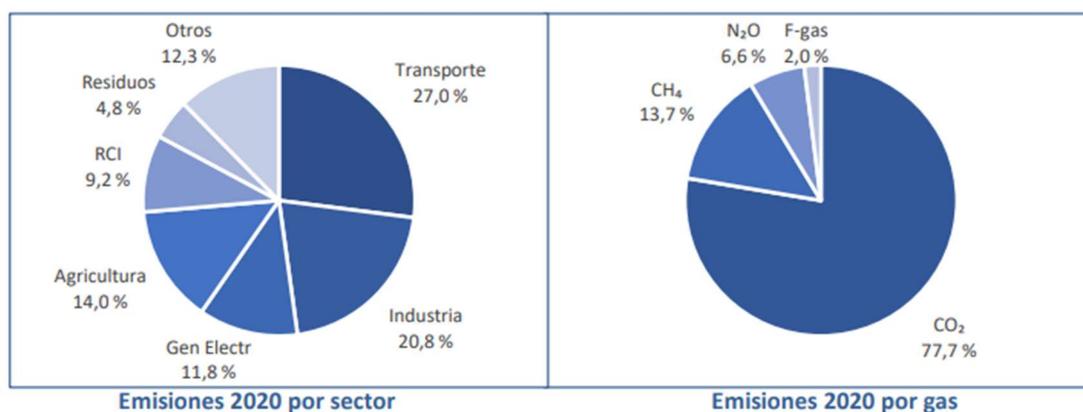


Ilustración 1. Variación interanual de emisiones de gases de efecto invernadero.

El concepto de movilidad sostenible busca satisfacer las necesidades actuales sin dañar el medio ambiente para las futuras generaciones. Se enfoca en reducir la contaminación, los accidentes de tráfico y mejorar la calidad de vida. La Unión Europea tiene objetivos de transición energética y establece estándares para vehículos pesados y promueve el uso de combustibles alternativos.

2. Definición del proyecto

La logística se enfrenta al desafío de descarbonizar su sector con el objetivo de contribuir a una sociedad climáticamente neutra y ecológicamente eficiente. La industria es consciente de su impacto en las emisiones de GEI y ha tomado medidas para reducir su huella ambiental. Sin embargo, el crecimiento en la demanda logística, impulsado por el aumento de la población y la competencia en el mercado, plantea nuevos desafíos para mitigar el impacto ambiental.

Como resultado del aumento en los flujos de comercio internacional, se prevé la aparición de nuevos centros económicos y logísticos más allá de las zonas comerciales tradicionales, como el Reino Unido, Francia o Alemania. Esta situación brinda a España la oportunidad de aumentar su relevancia en el ámbito logístico a nivel europeo.

El estudio comprenderá un análisis detallado de la situación actual del transporte de mercancías por carretera, centrándose en los aspectos legales. Se realizará una revisión breve de la historia de la transformación energética y la descarbonización, así como un enfoque en los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados. Además, se llevará a cabo un estudio técnico del mercado actual de las diversas tecnologías de propulsión, abarcando desde las más tradicionales hasta las más recientes, incluso aquellas aún en fase de desarrollo.

En cuanto al análisis económico y medioambiental, se desarrollará una herramienta para examinar el sector del transporte terrestre de mercancías en la actualidad. Dado que este proyecto se centra en la logística terrestre por carretera, se analizarán las cinco principales empresas que operan en este sector en España.

3. Descripción de la herramienta

Se ha desarrollado una herramienta específica utilizando Microsoft Excel para llevar a cabo un estudio económico en el sector del transporte terrestre de mercancías. Esta herramienta analiza, a corto plazo, la inversión necesaria para que las cinco principales empresas de transporte terrestre de mercancías en España actualicen sus flotas hacia un escenario de mínimas emisiones de carbono, considerando diferentes escenarios y la cantidad de camiones diésel, GLP, eléctricos y de hidrógeno existentes en el sector.

El análisis tiene en cuenta factores como el número de camiones y la facturación de cada empresa, impuestos, inflación del mercado, tipo y número de viajes anuales, y costes fijos. Es relevante mencionar que los costes variables del transporte están vinculados al número de kilómetros recorridos anualmente por cada camión, por lo que se ha asumido un número de viajes constante para comparar los diferentes escenarios. Los resultados económicos varían según el escenario seleccionado debido a diferentes inversiones o costes variables considerados para cada modelo de propulsión.

Para comparar los escenarios y obtener resultados económicos, se han seleccionado factores como la inversión total, el valor presente, el valor actual neto, el período de recuperación y la tasa interna de retorno.

Es importante destacar que la herramienta está diseñada para permitir la flexibilidad de análisis en caso de que se desee evaluar diferentes contextos, como distintas empresas, impuestos, inflación, tipo y número de viajes por camión, costes fijos, costes variables o modelos de camiones. Para ello, se han dividido las hojas de entrada y salida de datos, facilitando la modificación del contexto. Además, la herramienta se adapta para analizar cualquier cantidad de viajes por camión que el usuario requiera. En total, esta herramienta consta de 11 hojas interconectadas entre sí.

A la hora de implementar la herramienta es necesario definir el marco en términos del tipo y número de viajes realizados por cada uno de los camiones en un año determinado. A continuación, se resumen los aspectos considerados:

- Número de viajes al año: Se realizarán 300 viajes por camión en un año determinado.
- Horas al día de conducción óptimas: Se ha tomado como referencia que un conductor trabajará 22 días al mes y conducirá un máximo de 90 horas cada dos semanas.
- Kilómetros por viaje: Se calculan dividiendo los 200,000 kilómetros que recorre en un camión al año entre el número de viajes seleccionados.
- Horas al día disponibles de conducción: se supone una jornada de 8 horas al día.

Los diversos escenarios seleccionados para la ejecución de este proyecto posibilitan la comparación entre distintos mercados, dado que cada uno presenta una configuración distinta en términos del número de camiones para cada una de las cuatro tecnologías de propulsión. A continuación, se enumeran los escenarios empleados:

INPUT DE DATOS

CAMIONES DE CADA TIPO SEGÚN ESCENARIOS

	% Camiones Diesel	% Camiones GLP	% Camiones Electricos	% Camiones Hidrógeno	Suma
Escenario Base	99,1%	0,8%	0,1%	0,0%	100,0%
Escenario Diésel	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Escenario GLP	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Escenario Eléctrico	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
Escenario Hidrógeno	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Escenario 1	90,0%	7,0%	3,0%	0,0%	100,0%
Escenario 2	85,0%	10,0%	5,0%	0,0%	100,0%
Escenario 3	70,0%	20,0%	10,0%	0,0%	100,0%
Escenario 4	60,0%	25,0%	10,0%	5,0%	100,0%
Escenario 5	50,0%	30,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 6	40,0%	40,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 7	30,0%	40,0%	25,0%	5,0%	100,0%
Escenario 8	30,0%	30,0%	30,0%	10,0%	100,0%
Escenario 9	30,0%	30,0%	20,0%	20,0%	100,0%
Escenario 10	20,0%	20,0%	40,0%	20,0%	100,0%
Escenario 11	15,0%	15,0%	40,0%	30,0%	100,0%
Escenario 12	10,0%	15,0%	45,0%	30,0%	100,0%
Escenario Extra	5,0%	15,0%	35,0%	45,0%	100,0%

Ilustración 2. Escenarios según tecnología que se analizarán en el proyecto. Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

Se presentan los resultados correspondientes al marco económico y medioambiental en el sector logístico, basados en las cinco principales empresas españolas. Los resultados obtenidos se han agrupado en tres bloques principales. En el primer bloque, se realiza un análisis del escenario actual del mercado de transporte logístico por carretera. En el segundo bloque, se examina el mercado desde cuatro perspectivas diferentes, correspondientes a las cuatro tecnologías de propulsión de vehículos analizadas: diésel, GLP, eléctrico e hidrógeno. Por último, en el tercer bloque, se evalúan varios escenarios en los cuales las tecnologías de propulsión de cero emisiones ganan cada vez más cuota de mercado en comparación con las demás opciones.

Entre los resultados obtenidos, destacan los siguientes aspectos:

- La situación actual del mercado es crítica en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, ya que está formado casi en su totalidad por camiones diésel y tan solo un 0,1% son eléctricos. En términos económicos, la situación es positiva, debido a que se ha obtenido una TIR superior al 22% y un periodo de recuperación inferior a 5 años, lo cual es menor al horizonte de tiempo establecido para las cabezas tractoras.

Inversión total:	915.654.000,00 €
NPV:	711.043.879,22 €
Payback Period:	4,823 years
IRR:	22,50%
PV/Inv:	177,65%
Emisiones Totales:	1.074.870 ton CO₂

Ilustración 3. Desglose de resultados obtenidos en el Escenario Base.

- En cuanto a los análisis establecidos en el segundo bloque, donde el mercado se compone en su totalidad por cada una de las cuatro tecnologías analizadas,

destaca de manera positiva el mercado GLP. En este mercado se ha obtenido una TIR superior al 30% y un periodo de recuperación inferior a 4 años. Por otro lado, destaca de manera negativa el mercado compuesto por camiones de hidrógeno, donde se ha obtenido una TIR negativa y un periodo de recuperación de 40 años. Desde la perspectiva ambiental, se destaca la solución de camiones eléctricos, que resulta ser una opción asequible económicamente.

Escenario:	GLP	Eléctrico	Hidrógeno
Inversión total:	803.700.000,00 €	972.900.000,00 €	1.008.150.000,00 €
NPV:	1.140.866.816,98 €	847.956.143,95 €	- 1.298.289.113,07 €
Payback Period:	3,801 years	4,634 years	40,000 years
TIR:	30,11%	23,73%	-6,49%
PV/Inv:	241,95%	186,08%	-28,78%
Emisiones Totales:	915.654 ton CO₂	0 ton CO₂	0 ton CO₂

Ilustración 4. Desglose de resultados en escenarios totalitarios.

- En el tercer bloque, se ha presentado una evolución en cuanto a términos medioambientales, conforme los camiones de cero emisiones ganan cuota de mercado. La evolución comienza con un escenario en el que únicamente el 3% del mercado está compuesto por camiones de cero emisiones, y finaliza con el último escenario, donde más del 70% del mercado es de cero emisiones. En términos económicos, sin embargo, destacan, en la actualidad, aquellos escenarios compuestos en su mayoría por camiones diésel, ya que se ha obtenido un periodo de retorno de alrededor de 5 años. En cuanto a la TIR, destacan aquellos escenarios compuestos mayormente por camiones GLP, con valores superiores al 24%.

Escenario	1	4	6	8	12
Inversión total:	910,29 m€	898,52 m€	884,42 m€	908,74 m€	952,45 m€
Present Value:	1.651,98 m€	1.626,49 m€	1.683,91 m€	1.583,57 m€	1.178,43 m€
NPV:	741,87 m€	727,97 m€	799,48 m€	674,81,15 m€	225,98 m€
Payback Period:	4,753 years	6,312 years	6,148 years	7,980 years	15,139 years
IRR:	23,01%	23,01%	24,22%	22,17%	15,34%
PV/Inv:	181,48%	181,02%	190,4 %	174,26%	123,73%
Emisiones Totales:	1.033.612 ton CO₂	875.258 ton CO₂	797.158 ton CO₂	597.868 ton CO₂	245.072 ton CO₂

Ilustración 5. Desglose de resultados en escenarios evolutivos.

5. Conclusiones

La industria europea de camiones está en un proceso de transición hacia la descarbonización, lo cual requiere una infraestructura especializada para la carga de baterías de gran capacidad y el suministro de hidrógeno. Existe incertidumbre sobre la idoneidad de las tecnologías de camiones eléctricos o con pilas de combustible de hidrógeno y baterías para todas las aplicaciones, aunque el hidrógeno se destaca como preferente para viajes de larga distancia debido a su reducido tiempo de parada y ahorro de peso. Sin embargo, estas tecnologías aún no gozan de la misma consideración rentable, a nivel económico, que los convencionales diésel o GLP, y sus costes de adquisición y operación siguen siendo más elevados.

La carencia de una infraestructura adecuada de carga y suministro se convierte en un obstáculo central para la adopción de tecnologías de propulsión alternativa en España, lo que afecta a la expansión del mercado de camiones de cero emisiones. Además, a pesar del progreso en tecnologías de baterías y celdas de combustible, las cabezas tractoras eléctricas e impulsadas por hidrógeno se enfrentan a desafíos de autonomía y eficiencia en comparación con motores diésel o GLP. En este contexto, la inversión en la descarbonización del transporte terrestre debería centrarse en vehículos que cubran la última milla debido a la mayor facilidad de reposición de energía en esos casos.

La regulación también desempeña un papel importante, ya que los cambios en políticas y regulaciones gubernamentales pueden afectar la viabilidad económica de las tecnologías de propulsión alternativa. En conclusión, aunque las tecnologías de propulsión eléctrica e hidrógeno tienen un potencial para reducir emisiones y promover la sostenibilidad, se necesitan avances en investigación, desarrollo y medidas de apoyo para hacerlas más rentables y competitivas en el mercado español de camiones.

ANALYSIS OF ROAD FREIGHT TRANSPORT AND SOLUTIONS FOR ITS DECARBONISATION

Author: Morales Cabodevilla, Alejandro Jesús.

Supervisor: Mascareñas Brito, Alberto.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Decarbonization in land transportation is a fundamental pillar to achieve the objective of net-zero emissions by 2050 and thus comply with the Paris Agreement. The project's goal is to understand the land freight transport system and propose viable solutions to reduce greenhouse gas emissions. These solutions will be addressed from a technical, economic, and legal perspective, with a special focus on Spain, but without forgetting that it is a global issue.

To do this, the project has been divided into two main blocks: one for research and another for practical application. In the research block, the current state of road freight transport will be analyzed both at a general and national level from a legal standpoint. A brief overview of the history of energy transformation and decarbonization will be provided, and the Sustainable Development Goals involved, as well as support towards the sector under study, will be addressed. Additionally, a technical study of this market will be conducted, evaluating the current framework of different propulsion technologies, ranging from traditional ones like diesel to the latest developments such as electric and hydrogen-powered vehicles still in the developmental phase.

Moving on to the practical block, a tool will be created to analyze the economic and environmental aspects of the land freight transport sector in the present day. For this purpose, the five main companies in the industry will be examined. Using the developed tool, it will also be possible to analyze different scenarios where alternative propulsion technologies gain prominence to assess the profitability of investing in such tractor heads.

Keywords: Decarbonization of transportation, Zero emissions, Greenhouse gases, Propulsion technologies, Economic perspective.

1. Introduction

In the context of Spain as a member of the European Union, significant investment is being made to achieve a decarbonized community and address climate change. The scientific consensus, established by the United Nations, points to greenhouse gas emissions like CO₂ and CH₄ as the cause of climate change, among other factors. Reducing the use of fossil fuels is essential to combat this phenomenon and decrease global and local CO₂ emissions. This process of replacing fossil fuels is known as decarbonization.

Transportation plays a crucial role in society and the economy, as an efficient and accessible system is essential to improve the quality of life. Advances in the

decarbonization of transportation highlight the need to replace fossil fuels on the roads with alternatives that reduce greenhouse gas emissions.

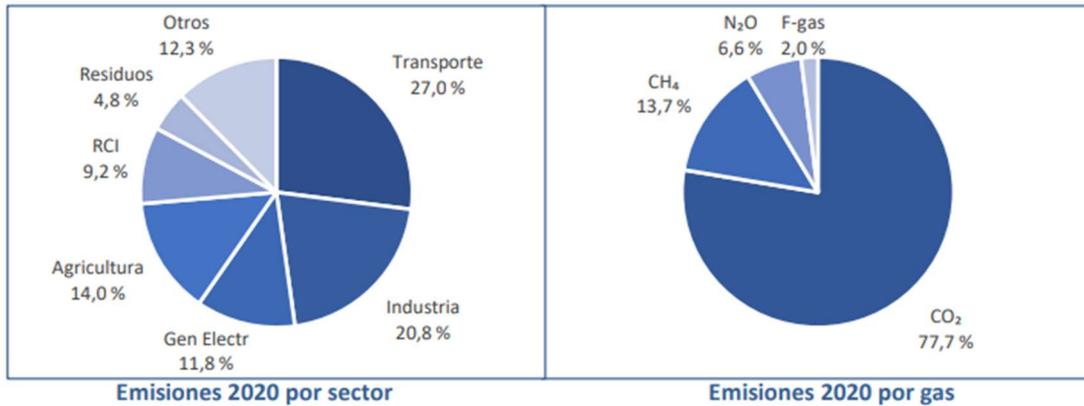


Ilustración 6. Year-on-year variation in greenhouse gas emissions.

The concept of sustainable mobility aims to meet present needs without harming the environment for future generations. It focuses on reducing pollution, traffic accidents, and enhancing quality of life. The European Union has goals for energy transition, establishing standards for heavy-duty vehicles, and promoting the use of alternative fuels.

2. Project definition

Logistics is facing the challenge of decarbonizing its sector in order to contribute to a climate-neutral and ecologically efficient society. The industry is aware of its impact on GHG and has taken measures to reduce its environmental footprint. However, the growth in logistics demand, driven by population increase and market competition, presents new challenges in mitigating environmental impact.

As a result of the increase in international trade flows, the emergence of new economic and logistical centers beyond traditional commercial zones like the United Kingdom, France, or Germany is anticipated. This situation provides Spain with an opportunity to enhance its relevance in the European logistics sector.

The study will include a detailed analysis of the current situation of road freight transportation, with a focus on legal aspects. A brief review of the history of energy transformation and decarbonization, as well as a focus on related Sustainable Development Goals, will be conducted. Additionally, a technical study of the current market for various propulsion technologies will be undertaken, ranging from traditional to the latest, including those still in the development phase.

In terms of economic and environmental analysis, a tool will be developed to examine the current state of the road freight transport sector. As this project focuses on road-based logistics, the five main companies operating in this sector in Spain will be analyzed.

3. Tool description

A specific tool has been developed using Microsoft Excel to conduct an economic study in the freight land transportation sector. This tool analyzes, in the short term, the investment required for the top five freight transportation companies in Spain to upgrade their fleets towards a low carbon emission scenario, considering different scenarios and the number of diesel, LPG, electric, and hydrogen trucks existing in the sector.

The analysis considers factors such as the number of trucks and the revenue of each company, taxes, market inflation, type and number of annual trips, and fixed costs. It is important to note that the variable costs of transportation depend on the number of kilometers traveled annually by each truck, so a constant number of trips has been assumed to compare different scenarios. The economic results vary according to the selected scenario, due to different investments or variable costs considered for each propulsion model.

To compare the scenarios and obtain economic results, factors such as total investment, present value, net present value, payback period, and internal rate of return have been selected.

It is essential to highlight that the tool is designed to allow flexibility in analysis, enabling the evaluation of different contexts such as various companies, taxes, inflation rates, type and number of truck trips, fixed costs, variable costs, or truck models. To achieve this, the data sheets have been divided into "Input" and "Output," making it easy to modify the context. Moreover, the tool is adaptable to analyze any number of trips per truck that the user requires. In total, this tool comprises 11 interconnected sheets.

When implementing the tool, it is necessary to define the framework in terms of the type and number of trips made by each truck in a specific year. The following aspects are summarized:

- Number of trips per year: 300 trips will be made per truck in a specific year.
- Optimal driving hours per day: It is assumed that a driver will work 22 days per month and drive a maximum of 90 hours every two weeks.
- Kilometers per trip: These are calculated by dividing the 200,000 kilometers that a truck travels in a year by the number of selected trips.
- Available daily driving hours: A daily working period of 8 hours is assumed.

The different scenarios chosen for the execution of this project allow for the comparison of different markets, as each one exhibits a distinct arrangement concerning the number of trucks for each of the four propulsion technologies. The following scenarios have been utilized:

INPUT DE DATOS

CAMIONES DE CADA TIPO SEGÚN ESCENARIOS

	% Camiones Diesel	% Camiones GLP	% Camiones Electricos	% Camiones Hidrógeno	Suma
Escenario Base	99,1%	0,8%	0,1%	0,0%	100,0%
Escenario Diésel	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Escenario GLP	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Escenario Eléctrico	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
Escenario Hidrógeno	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Escenario 1	90,0%	7,0%	3,0%	0,0%	100,0%
Escenario 2	85,0%	10,0%	5,0%	0,0%	100,0%
Escenario 3	70,0%	20,0%	10,0%	0,0%	100,0%
Escenario 4	60,0%	25,0%	10,0%	5,0%	100,0%
Escenario 5	50,0%	30,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 6	40,0%	40,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 7	30,0%	40,0%	25,0%	5,0%	100,0%
Escenario 8	30,0%	30,0%	30,0%	10,0%	100,0%
Escenario 9	30,0%	30,0%	20,0%	20,0%	100,0%
Escenario 10	20,0%	20,0%	40,0%	20,0%	100,0%
Escenario 11	15,0%	15,0%	40,0%	30,0%	100,0%
Escenario 12	10,0%	15,0%	45,0%	30,0%	100,0%
Escenario Extra	5,0%	15,0%	35,0%	45,0%	100,0%

Ilustración 7. Scenarios according to technology that will be analyzed in the project.

4. Results

The results corresponding to the economic and environmental framework in the logistics sector will be presented, based on the five main Spanish companies. The obtained results have been grouped into three main blocks. In the first block, an analysis of the current scenario of the road transport market will be conducted. In the second block, the market will be examined from four different perspectives, corresponding to the four analyzed vehicle propulsion technologies: diesel, LPG, electric, and hydrogen. Finally, in the third block, several scenarios will be evaluated in which zero-emission propulsion technologies gain increasing market share compared to other options.

Among the obtained results, the following aspects stand out:

- The current market situation is critical in terms of greenhouse gas emissions since it is almost entirely composed of diesel trucks and only 0.1% are electric. Economically, the situation is positive, as a ROI higher than 22% has been achieved, with a payback period of less than 5 years, which is shorter than the established time horizon for tractor heads.

Inversión total:	915.654.000,00 €
NPV:	711.043.879,22 €
Payback Period:	4,823 years
ROI:	22,50%
PV/Inv:	177,65%
Emisiones Totales:	1.074.870 ton CO₂

Ilustración 8. Breakdown of results obtained in the Base Scenario.

- Regarding the analyses established in the second block, where the market is entirely composed of each of the four analyzed technologies, the LPG market

stands out positively. In this market, a ROI higher than 30% and a payback period of less than 4 years have been obtained. In contrast, the market composed of hydrogen trucks stands out negatively, with a negative ROI and a payback period of 40 years. From the environmental perspective, the solution of electric trucks stands out as an economically viable option.

Scenario:	GLP	Electric	Hydrogen
Total Investment:	803.700.000,00 €	972.900.000,00 €	1.008.150.000,00 €
NPV:	1.140.866.816,98 €	847.956.143,95 €	- 1.298.289.113,07 €
Payback Period:	3,801 years	4,634 years	40,000 years
ROI:	30,11%	23,73%	-6,49%
PV/Inv:	241,95%	186,08%	-28,78%
Total Emissions:	915.654 ton CO₂	0 ton CO₂	0 ton CO₂

Ilustración 9. Breakdown of results in totalitarian scenarios.

- In the third block, an evolution has been presented in terms of environmental aspects as zero-emission trucks gain market share. The evolution starts with a scenario in which only 3% of the market is composed of zero-emission trucks and ends with the last scenario, where more than 70% of the market is zero-emission. Economically, however, currently, those scenarios composed mostly of diesel trucks stand out since a payback period of around 5 years has been obtained. As for the ROI, scenarios composed mostly of LPG trucks stand out, with values exceeding 24%.

Scenario:	1	4	6	8	12
Total Investment:	910,29 m€	898,52 m€	884,42 m€	908,74 m€	952,45 m€
Present Value:	1.651,98 m€	1.626,49 m€	1.683,91 m€	1.583,57 m€	1.178,43 m€
NPV:	741,87 m€	727,97 m€	799,48 m€	674,81,15 m€	225,98 m€
Payback Period:	4,753 years	6,312 years	6,148 years	7,980 years	15,139 years
ROI:	23,01%	23,01%	24,22%	22,17%	15,34%
PV/Inv:	181,48%	181,02%	190,4 %	174,26%	123,73%
Total Emissions:	1.033.612 ton CO₂	875.258 ton CO₂	797.158 ton CO₂	597.868 ton CO₂	245.072 ton CO₂

Ilustración 10. Breakdown of results in evolutionary scenarios.

5. Conclusions

The European trucking industry is in a transition process towards decarbonization, which requires specialized infrastructure for charging high-capacity batteries and supplying hydrogen. There is uncertainty about the suitability of electric trucks or hydrogen fuel cell and battery-powered trucks for all applications, although hydrogen stands out as preferable for long-distance trips due to its reduced downtime and weight savings. However, these technologies have not yet gained the same economic consideration as conventional diesel or LPG, and their acquisition and operating costs remain higher.

The lack of adequate charging and supply infrastructure becomes a central obstacle to the adoption of alternative propulsion technologies in Spain, affecting the expansion of the zero-emission truck market. Additionally, despite progress in battery and fuel cell technologies, electric and hydrogen-powered tractor units face challenges in terms of autonomy and efficiency compared to diesel or LPG engines. In this context, investments

in decarbonizing land transportation should focus on vehicles covering the last mile due to the easier energy replenishment.

Regulation also plays a crucial role, as changes in governmental policies and regulations can impact the economic viability of alternative propulsion technologies. In conclusion, although electric and hydrogen propulsion technologies have the potential to reduce emissions and promote sustainability, advancements in research, development, and supportive measures are needed to make them more cost-effective and competitive in the Spanish trucking market.

Índice de la memoria

1	Introducción	8
1.1	Motivación del proyecto	8
1.1.1	<i>El papel de las naciones unidas en el cambio climático</i>	11
1.1.2	<i>La transformación energética en la UE y en España</i>	12
1.2	Objeto	14
1.3	Contexto	14
2	Estado de la Cuestión	17
2.1	Objetivos de Desarrollo Sostenible	17
2.2	La actualidad en el transporte de mercancías	19
2.2.1	<i>Alcance de la Huella de Carbono</i>	19
2.2.2	<i>Los grandes transportistas en España</i>	21
2.2.3	<i>Planes y facilidades en la logística española</i>	26
3	Definición del Trabajo	35
3.1	Fuentes de energías alternativas	35
3.1.1	<i>Diesel, Biodiesel y Acete Vegetal Hidrotratado</i>	35
3.1.2	<i>Gas Licuado del Petróleo</i>	38
3.1.3	<i>Gas Natural Comprimido y Licuado</i>	40
3.1.4	<i>Hidrógeno</i>	43
3.1.5	<i>Electricidad</i>	48
3.1.6	<i>Tabla comparativa</i>	51
3.2	Objetivos	52
4	Estudio Económico	53
4.1	Análisis del Sistema	53
4.2	Diseño de la herramienta	54
4.2.1	<i>Hoja 1: Summary</i>	55
4.2.2	<i>Hoja 2: Escenarios</i>	57
4.2.3	<i>Hoja 3: Costes Fijos</i>	58
4.2.4	<i>Hojas 4 a 11: Costes Variables e Inversión de cada tecnología</i>	60
4.3	Implementación	70

5	<i>Análisis de Resultados</i>	72
5.1	Situación actual del mercado.....	72
5.2	Situaciones dominantes.....	76
5.2.1	<i>Totalidad diésel</i>	76
5.2.2	<i>Totalidad GLP</i>	77
5.2.3	<i>Totalidad eléctrico</i>	79
5.2.4	<i>Totalidad hidrógeno</i>	81
5.3	Escenarios alternativos.....	83
5.3.1	<i>Escenarios</i>	83
5.3.2	<i>Resultados</i>	84
5.4	Escenario Extra.....	88
6	<i>Conclusiones</i>	90
7	<i>Bibliografía</i>	94
	<i>ANEXO I Distribución</i>	104
	ANEXO 1.1 Transporte.....	104
	<i>ANEXO II Modelos de camión</i>	106
7.1	ANEXO 2.1 Modelo de camión Diesel.....	106
7.2	ANEXO 2.2 Modelo de camión GLP.....	108
7.3	ANEXO 2.3 Modelo de camión eléctrico.....	110
7.4	ANEXO 2.4 Modelo de camión de hidrógeno.....	112
	<i>ANEXO III Operaciones en Hojas de Costes</i>	115
7.5	ANEXO 3.1 Hoja de Costes Fijos.....	115
7.6	ANEXO 3.2 Hoja de costes Variables.....	115
7.7	ANEXO 3.3 Costes Variables en un camión GLP.....	118
7.8	ANEXO 3.4 Costes Variables en un camión eléctrico.....	119
7.9	ANEXO 3.5 Costes Variables en un camión de hidrógeno.....	120
	<i>ANEXO IV Hojas de Inversión</i>	121
7.10	ANEXO 4.1 Modelo de camión GLP.....	122
7.11	ANEXO 4.2 Modelo de camión eléctrico.....	123
7.12	ANEXO 4.3 Modelo de camión de hidrógeno.....	124

<i>ANEXO V Escenarios alternativos</i>	125
7.13 ANEXO 5.1 Escenario 1	126
7.14 ANEXO 5.2 Escenario 2	127
7.15 ANEXO 5.3 Escenario 3	128
7.16 ANEXO 5.4 Escenario 4	129
7.17 ANEXO 5.5 Escenario 5	130
7.18 ANEXO 5.6 Escenario 6	131
7.19 ANEXO 5.7 Escenario 7	132
7.20 ANEXO 5.8 Escenario 8	133
7.21 ANEXO 5.9 Escenario 9	134
7.22 ANEXO 5.10 Escenario 10	135
7.23 ANEXO 5.11 Escenario 11	136
7.24 ANEXO 5.12 Escenario 12	137

Índice de figuras

Imagen 1. Emisiones totales de CO ₂ por año (2).....	9
Imagen 2. Temperatura media Global Superficie por año (3).....	9
Imagen 3. Variación relativa de emisiones netas respecto al año 1990 (19).....	15
Imagen 4. Variación interanual de emisiones de gases de efecto invernadero (19).....	16
Imagen 5. Tipos de alcance de emisiones según el protocolo GHGP (27).	20
Imagen 6. Porcentaje de elementos para producción de hidrógeno (64).....	44
Imagen 7. La proporción de producción de litio a nivel global (71).....	49
Imagen 8.. Reflejo en Output tras cambio en Input. Fuente: elaboración propia.....	54
Imagen 9. Inputs para la selección del escenario deseado para analizar. Fuente: elaboración propia.....	55
Imagen 10. Ejemplo de escenarios según su tipo de tecnología. Fuente: elaboración propia.	57
Imagen 11. Escenarios según tecnología que se analizarán en el proyecto. Fuente: elaboración propia.	58
Imagen 12. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo diésel. Fuente: elaboración propia.....	66
Imagen 13. Hoja de inversión para el modelo diésel. Fuente: elaboración propia.....	69
Imagen 14. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo GLP. Fuente: elaboración propia.....	118
Imagen 15. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo eléctrico. Fuente: elaboración propia.....	119
Imagen 16. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.	120
Imagen 17. Hoja de inversión para el modelo GLP. Fuente: elaboración propia.....	122
Imagen 18. Hoja de inversión para el modelo eléctrico. Fuente: elaboración propia.	123
Imagen 19. Hoja de inversión para el modelo de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.	124
Imagen 20. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 1. Fuente: elaboración propia.....	126

Imagen 21. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 2. Fuente: elaboración propia.....	127
Imagen 22. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 3. Fuente: elaboración propia.....	128
Imagen 23. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 4. Fuente: elaboración propia.....	129
Imagen 24. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 5. Fuente: elaboración propia.....	130
Imagen 25. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 6. Fuente: elaboración propia.....	131
Imagen 26. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 7. Fuente: elaboración propia.....	132
Imagen 27. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 8. Fuente: elaboración propia.....	133
Imagen 28. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 9. Fuente: elaboración propia.....	134
Imagen 29. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 10. Fuente: elaboración propia.....	135
Imagen 30. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 11. Fuente: elaboración propia.....	136
Imagen 31. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 12. Fuente: elaboración propia.....	137

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los mayores productores de petróleo del mundo (4).....	10
Tabla 2. Las cinco grandes empresas de la logística terrestre en España (30).....	22
Tabla 3. Emisiones de CO ₂ , según tipo de transporte terrestre y su propulsión (gCO ₂ /t-km) (39)	31
Tabla 4. Evolución del precio del Diesel y el Biodiesel.....	37
Tabla 5. Límites de control de emisiones en vehículos pesados (50).....	38
Tabla 6. Evolución del precio del GLP.	39
Tabla 7. Evolución del precio del GNL y del GNC.	41
Tabla 8. Coste promedio de camiones comerciales (86).	59
Tabla 9. Resumen de características según tecnología de impulsión. Fuente: elaboración propia.....	61
Tabla 10. Resumen de precios para obtener costes variables. Fuentes: elaboración propia.	62
Tabla 11. Resumen monetario de cada tipo de camión para analizar la inversión. Fuente: elaboración propia.	64
Tabla 12. Distribución de camiones según tecnología en el Estudio Base. Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 13. Desglose de resultados obtenidos en el Escenario Base. Fuente: elaboración propia.	73
Tabla 14. Desglose de resultados del Estado Base según empresa. Fuente: elaboración propia.....	75
Tabla 15. Desglose de resultados obtenidos con la flota total diésel. Fuente: elaboración propia.....	76
Tabla 16. Desglose de resultados para un mercado diésel según empresa. Fuente: elaboración propia.....	77
Tabla 17. Desglose de resultados obtenidos con la flota total GLP. Fuente: elaboración propia.....	77

Tabla 18. Desglose de resultados para un mercado GLP según empresa. Fuente: elaboración propia.	79
Tabla 19. Desglose de resultados obtenidos con la flota total eléctrica. Fuente: elaboración propia.	80
Tabla 20. Desglose de resultados para un mercado eléctrico según empresa. Fuente: elaboración propia.	81
Tabla 21. Desglose de resultados obtenidos con la flota total hidrógeno. Fuente: elaboración propia.	81
Tabla 22. Desglose de resultados para un mercado hidrógeno según empresa. Fuente: elaboración propia.	83
Tabla 23. Escenarios alternativos según tecnología para el presente apartado. Fuente: elaboración propia.	84
Tabla 24. Evolución de resultados obtenidos con según escenarios del 1 al 12. Fuente: elaboración propia.	87
Tabla 25. Desglose de resultados obtenidos con el escenario extra. Fuente: elaboración propia.	88
Tabla 26. Resumen comparativo de costes según tecnología. Fuente: elaboración propia.	117

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una introducción de este proyecto despertando el interés del lector por el mismo y describiendo la motivación del proyecto.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El cambio climático es una realidad que puede generar controversias y se evita abordar su origen humano en este proyecto. En el contexto de España como miembro de la Unión Europea (UE), se está realizando una inversión significativa para lograr una comunidad descarbonizada y, como consecuencia, se están realizando grandes inversiones para conseguirlo.

De acuerdo con el consenso científico establecido por Naciones Unidas, el cambio climático se produce a causa de la emisión de diversos gases de efecto invernadero (GEI), como pueden ser el CO₂ y el CH₄, que se calientan por la radiación solar, así como por otros muchos factores. Reducir el uso de hidrocarburos fósiles como combustible es una medida fundamental para combatir el cambio climático, lo que contribuye a la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, reduciendo las emisiones de carbono en un ámbito global y local. Este proceso en el que se reemplazan los carburantes fósiles se conoce como descarbonización.

La huella de carbono se define como “la cantidad de GEI producidos por una empresa o actividad y representa el impacto que se ejerce en el planeta. La unidad de medida utilizada para su previsión suele ser el kilogramo o tonelada de CO₂ equivalente, que representa el calentamiento global potencial de dichos gases” (1).

La huella de carbono se calcula debido a la creciente inquietud por el incremento de GEI emitidos, especialmente de CO₂. Esto se puede apreciar en la imagen 1, que expone la evolución de las emisiones de CO₂ en los últimos casi tres siglos.

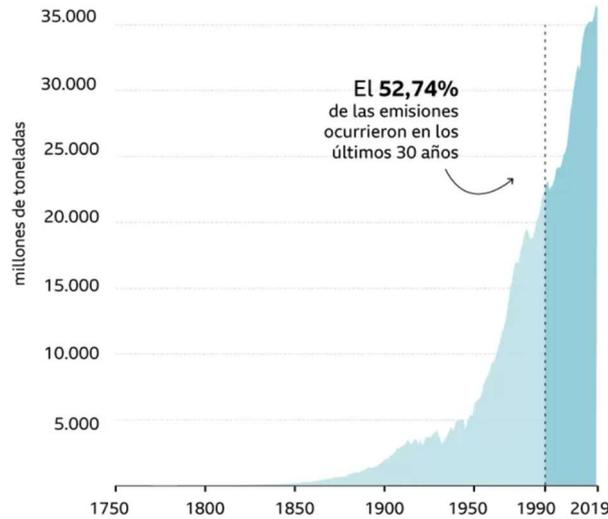


Imagen 1. Emisiones totales de CO₂ por año (2).

El calentamiento global ha incrementado considerablemente debido al efecto de las emisiones de GEI, como se puede observar en la imagen 2. Este efecto desemboca en un cambio en el clima global de forma rápida y antinatural.

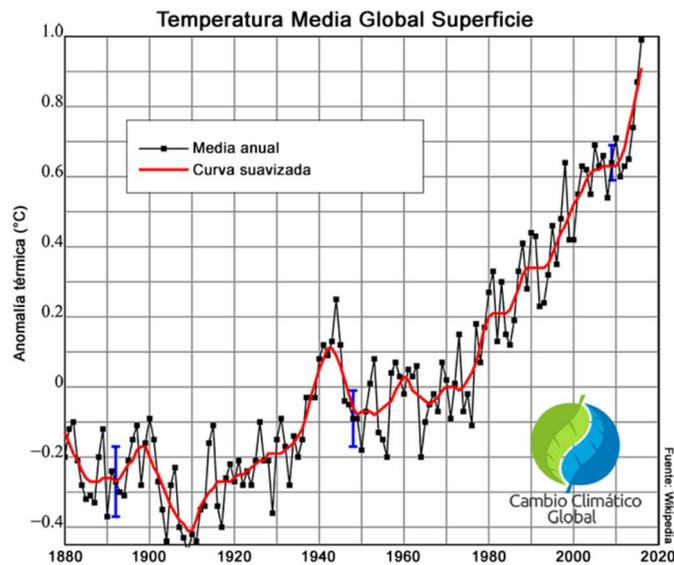


Imagen 2. Temperatura media Global Superficie por año (3).

La necesidad de un cambio en el sistema energético no se limita únicamente al calentamiento global, sino que también surge debido a las inestabilidades geopolíticas. El

hecho de que el petróleo se encuentre concentrado en ciertas regiones geográficas otorga a los países productores una influencia significativa a nivel mundial. De hecho, los diez principales países productores de petróleo y biocombustibles representan el 72% de la producción mundial..

Tabla 1. Clasificación de los mayores productores de petróleo del mundo (4).

PAIS	MILLONES DE BARRILES AL DÍA	PORCENTAJE DEL TOTAL MUNDIAL
Estados Unidos	18,88	20%
Arabia Saudita	10,84	11%
Rusia	10,78	11%
Canadá	5,54	6%
China	4,99	5%
Iraq	4,15	4%
Emiratos Árabes Unidos	3,79	4%
Brasil	3,69	4%
Irán	3,46	4%
Kuwait	2,72	3%
Total del top 10	68,82	72%
Total mundial	95,57	

La Administración de Información de Energía de Estados Unidos señala que, en mayo de 2022, los principales países productores de petróleo son Estados Unidos y Arabia Saudita. A pesar de que Venezuela cuenta con importantes reservas de petróleo, con más de 300.000 millones de barriles, su actual déficit de producción no le permite ingresar al top 10 de productores (4).

El transporte desempeña un papel trascendental en la sociedad y la economía, y contar con un sistema de transporte eficaz y accesible resulta fundamental para mejorar la calidad de vida. En los últimos años, se han logrado avances significativos en la descarbonización del transporte, lo cual indica que será necesario reemplazar los

combustibles fósiles en las carreteras con alternativas que ayuden a reducir las emisiones de GEI.

1.1.1 EL PAPEL DE LAS NACIONES UNIDAS EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

La Conferencia Científica de las Naciones Unidas también conocida como la Primera Cumbre para la Tierra, celebrada en Estocolmo en 1972, marcó un punto de inflexión cuyo impacto ha crecido en las últimas tres décadas y se ha extendido a toda la humanidad (5). A raíz de esta conferencia, se promulgó una declaración que establecía los principios para la preservación y mejora del medio ambiente, así como un plan de acción que incluía recomendaciones para la acción internacional en materia ambiental.

Un año después, en 1973, se produjo la primera crisis del petróleo, seguida de otra en 1979. Ambas crisis tuvieron sus raíces en conflictos políticos y militares, que desembocaron en una grave crisis económica. Se ha propuesto abordar tanto aspectos ambientales como geopolíticos para evitar que continúe esta tendencia, lo que significa reducir la dependencia del petróleo.

En las Naciones Unidas se considera que existen diferentes objetivos en la transición hacia el desarrollo sostenible, y uno de los más fundamentales es la lucha contra el cambio climático. Destaca la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992, que fue aprobada por 195 países (6). La convención reconoce la existencia del cambio climático y tiene como objetivo lograr la estabilización de las emisiones de GEI en la atmósfera para evitar interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.

El Protocolo de Kioto, firmado el 11 de diciembre de 1997 en Japón y en vigor desde el 16 de febrero de 2005 (7), estableció compromisos vinculantes de reducción de emisiones para hacer frente al creciente calentamiento global. Los países industrializados se han comprometido a reducir las emisiones de GEI al menos un 5% por debajo de las emitidas en 1990 entre 2008 y 2012.

En la Conferencias de las Partes (COP) 21, celebrada del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2015, se adoptó el histórico "Acuerdo de París" (8). El acuerdo tiene como

objetivo acelerar la transición hacia una economía resistente al clima y baja en emisiones. Su principal objetivo es limitar el aumento de la temperatura global media por debajo de 2°C por encima de los niveles preindustriales y esforzarse por mantenerla por debajo de 1,5°C en virtud del artículo 2.1 a) del Acuerdo de París.

En documentos de las Naciones Unidas y la UE, términos como desarrollo sostenible (9), se utilizan para satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Además, frases como “transición energética o transición ecológica” aparecen cada vez con más frecuencia en las COP.

La transición ecológica implica un proceso de transformación social con el objetivo de avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible. Su objetivo es pasar de un estado actual ambientalmente costoso y riesgoso a un estado futuro sostenible que permita sostener las actividades esenciales para el bienestar humano sin alterar significativamente las operaciones de las actividades económicas (10).

1.1.2 LA TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICA EN LA UE Y EN ESPAÑA

En 2008, el Consejo de Europa adoptó el Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático 2013-2020 con el fin de formalizar los compromisos relacionados con el cambio climático y energía establecidos en 2007. Este paquete incluye normativas vinculantes compromisos a alcanzar en 2020 en Europa, como la reducción de emisiones de GEI en un 20 % con respecto a los niveles de 1990, produciendo al menos el 20 % de la energía a partir de fuentes renovables y logrando una mejora del 20 % en el rendimiento energético.

En 2013, se presentó la "Hoja de Ruta hacia una economía baja en carbono competitiva en 2050" (11), la cual establece la necesidad de reducir las emisiones de GEI para evitar un aumento de la temperatura media superior a los 2°C en relación con los niveles preindustriales.

La hoja de ruta establece que “los estados miembro de la Unión Europea, y por lo tanto España, deben reducir sus emisiones un 80% por debajo de los niveles de 1990 y establece objetivos intermedios, como son 40% en 2030 y 60% en 2040” (12). Además, se

identifican las mayores fuentes de emisiones de GEI para que hagan la transición a una economía baja en carbono de manera rentable. La Hoja de Ruta también propone “cambios en el modelo del sistema energético, abarcando la generación, almacenamiento, transporte (con énfasis en la movilidad Zero-Emissiones para suprimir el carbono del transporte y fomentar los combustibles renovables), gestión y consumo de energía”

En diciembre de 2019, coincidiendo con la COP 25 en Madrid, la Comisión Europea acordó el Pacto Verde Europeo ("EU Green Deal"). Este pacto incluye diversas actuaciones para promover el aprovechamiento de recursos en los sectores económicos, especialmente en aquellos que generan las mayores emisiones, como el transporte, la energía y la industria. En este contexto, la movilidad sostenible tiene una importancia inherente, debido a que el transporte encarna aproximadamente la cuarta parte de las emisiones de GEI y está creciendo. El Green Deal tiene como objetivo reducir estas emisiones en un 90% para 2050 (13).

Para llegar al concepto de movilidad sostenible primero hay que definir la sostenibilidad. La sostenibilidad se refiere a cómo las personas satisfacen sus necesidades sin comprometer las condiciones ambientales para que otros puedan hacer lo mismo en el futuro. Por lo tanto, el objetivo a largo plazo de establecer un “sistema de movilidad saludable” es minimizar el daño ambiental causado por la construcción de infraestructura de transporte, reducir el impacto negativo de la contaminación en la salud, reducir las muertes por accidentes de tráfico, establecer medios de transporte asequibles y accesibles, involucrar a las comunidades en la definición de políticas y proyectos relacionados con la movilidad, y mejorar las condiciones de vida de las personas (14).

En línea con los objetivos de transición energética de la UE y el objetivo de alcanzar cero emisiones netas de GEI para 2050, destaca el Reglamento (UE) 2019/1242. Este reglamento, aprobado el 20 de junio de 2019, establece estándares de emisiones de CO₂ para nuevos vehículos pesados. La regulación entró en vigor el 14 de agosto de 2019. La transición energética se vuelve cada vez más relevante a medida que se avanza hacia la adopción de vehículos de combustibles alternativos, dejando atrás los vehículos de

combustibles fósiles. Para impulsar estas conductas se establece la Directiva Europea 2014/94/UE (15), aprobada el 22 de octubre de 2014, que tiene como objetivo establecer las infraestructuras de base para los combustibles alternativos.

Con el objetivo de lograr la plena integración de la movilidad eléctrica en la red, la Directiva UE/2019/944 (16) asegura la disponibilidad de puntos de recarga eléctricos accesibles. Además, obliga a los Estados miembros a establecer un marco normativo que permita la conexión de los puntos de recarga con la red eléctrica.

1.2 OBJETO

El transporte por carretera en España desempeña un papel fundamental tanto desde una perspectiva económica como social. Por lo tanto, es crucial continuar investigando, desarrollando y actualizando nuevos conocimientos para mejorar la calidad del servicio y al mismo tiempo respetar el medio ambiente. (17). En España, la mayoría de los vehículos de mercancías utilizan como combustible el diésel. Esto es debido a varias ventajas que ofrece en comparación con la gasolina. En primer lugar, el diésel es más económico y proporciona una mayor potencia. En segundo lugar, los componentes de los motores diésel tienen una mayor durabilidad en comparación con los motores de gasolina”. (18).

Uno de los mayores desafíos que enfrenta la industria del transporte es la descarbonización. Para hacer frente a este desafío, es fundamental reducir las emisiones de GEI.

1.3 CONTEXTO

En virtud del Protocolo de Kioto sobre cambio climático, acordado en diciembre de 1997, la UE, y por lo tanto España, se comprometió a reducir las emisiones de GEI. El Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico proporciona el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera donde se refleja que “las emisiones de GEI durante 2021 alcanzaron aproximadamente 244,3 millones de toneladas de CO₂ equivalente.” (19). Los informes y análisis anuales ya proyectaban un descenso de emisiones durante los últimos años, pero ha sido “el año 2020 el primero desde 1990 en el cual la generación de GEI han

“...sido menor a la generada en el año 1990” (19). Este logro se debe en parte al impulso de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables, así como a los efectos de la pandemia mundial del COVID-19.

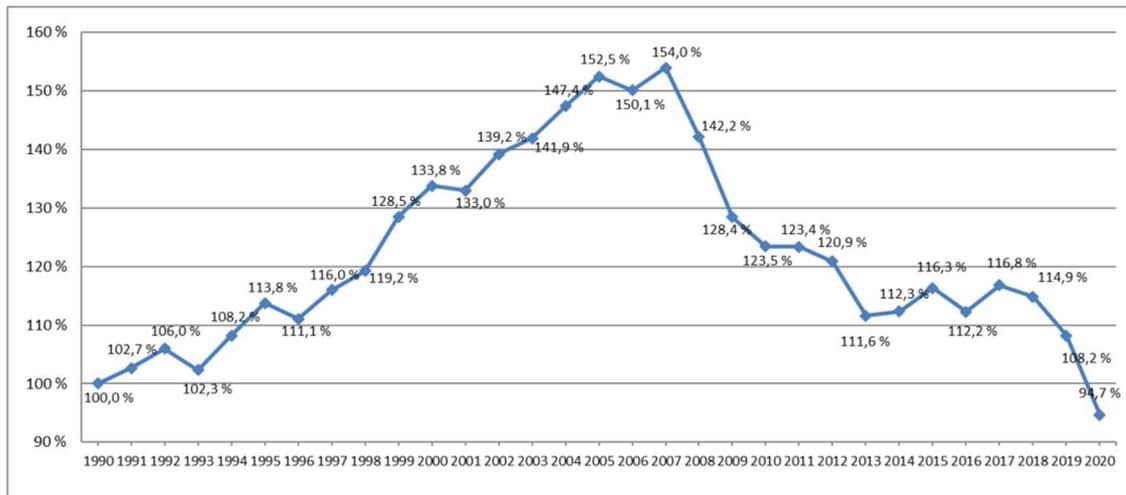


Imagen 3. Variación relativa de emisiones netas respecto al año 1990 (19)

Existen multitud de sectores que generan emisiones dañinas para el medio ambiente. En cuanto a la generación de GEI, el más destacable por la contribución es el sector transporte. “Durante el año 2020, el sector transporte generó un 27% de las emisiones totales, de los cuales, el transporte terrestre supuso un 25,4% del total” (19). Es por eso por lo que, se investigan de manera continua nuevas formas de propulsión renovable para el transporte por carretera. Hay que destacar en este punto que la generación de GEI también se da otros sectores, como por ejemplo en el industrial, donde al empleo exagerado de fertilizantes o químicos se le suma a la numerosa producción de residuos.

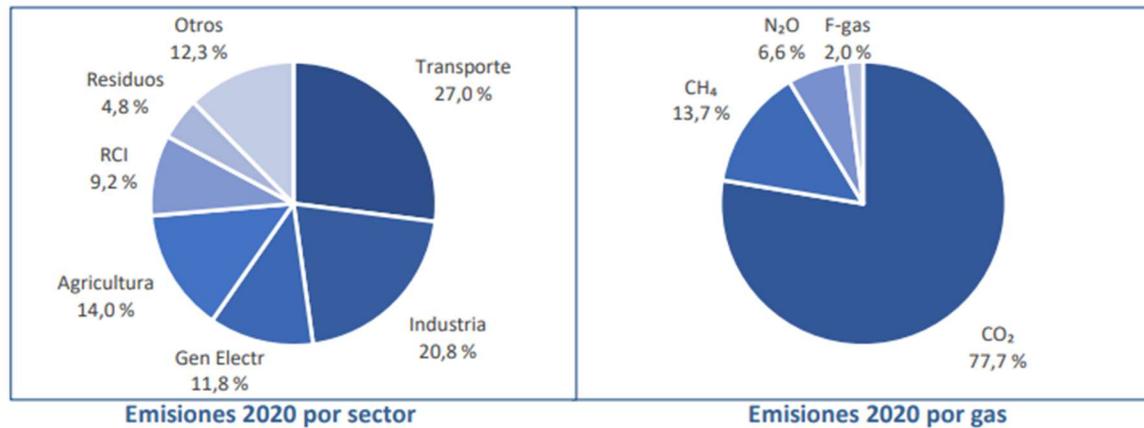


Imagen 4. Variación interanual de emisiones de gases de efecto invernadero (19)

Con el propósito de mitigar e incluso eliminar las emisiones de GEI, la UE ha implementado una serie de estrategias y acuerdos. A continuación, se exponen los de mayor impacto:

- Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Pretende conseguir la neutralidad climática en España en el año 2050.
- El Pacto Verde Europeo. Como se mencionó previamente, este programa se enfoca en lograr la mitigación de generación de GEI para 2050, fomentando el desarrollo de una economía circular y mejorando la calidad de vida (17).
- Estrategia Europea de Movilidad Sostenible e Inteligente. Esta estrategia fundamenta la transformación hacia una movilidad verde y digital en el sistema de transporte. Su meta consiste en mitigar la generación de GEI en un 90% en el 2050. (17).
- Hoja de ruta del Hidrógeno (20): Esta hoja de ruta tiene como finalidad servir como guía para la descarbonización y promover el incremento del hidrógeno verde en un futuro próximo.
- Hoja de Ruta hacia una economía baja en carbono competitiva en 2050. Por la que se establece el objetivo de reducir las emisiones de GEI para evitar un aumento de la temperatura media superior a los 2°C en relación con los niveles preindustriales

2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

La logística se enfrenta hoy al reto de descarbonizar el sector para contribuir a una sociedad climáticamente neutra y ecológicamente eficiente. Reducir el impacto ambiental creado por la humanidad en sus actividades se está convirtiendo en una gran necesidad. El sector logístico es una fuente importante de contaminación, debido tanto al transporte como al almacenamiento. Aunque el almacenamiento genera menos contaminación que el transporte, es necesario optimizarlo y establecer condiciones flexibles para reducir el impacto ambiental.

En cuanto al transporte, como se mencionó anteriormente, es una de las principales fuentes de emisión de GEI a la atmósfera. Por ello, la industria es cada vez más consciente de la contaminación que genera y ha tomado medidas para reducir su impacto ambiental.

A pesar de las medidas adoptadas la demanda logística sigue creciendo exponencialmente. Este incremento de la demanda se debe a un aumento de la población, lo que se traduce en un aumento del volumen de mercancías transportadas. Además, la creciente competencia en todos los campos hace que las personas sean cada vez más exigentes a la hora de contratar servicios, lo que se refleja en sus requisitos relacionados con los métodos de transporte o el tiempo y lugar de entrega.

En cuanto al transporte, como se mencionó anteriormente, es una de las principales fuentes de emisión de GEI a la atmósfera. Por ello, la industria es cada vez más consciente de la contaminación que genera y ha tomado medidas como la consolidación para reducir su impacto ambiental.

2.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La ejecución de este proyecto abarca diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales forman parte de la Agenda 2030 reconocida por la Organización de las Naciones Unidas en 2015 (21). En este proyecto, se abordará la situación causada por las

emisiones de GEI en el transporte logístico terrestre. Para su descarbonización se deberán tener en cuenta las infraestructuras y el ahorro energético en relación con los combustibles alternativos.

Algunos de los 17 ODS que están directa o indirectamente relacionados con este estudio son los siguientes:

- Objetivo 7: "Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna" (22). Es fundamental contar con acceso a una energía sostenible y moderna para llevar a cabo el proceso de descarbonización de la logística.
- Objetivo 9: "Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación" (23). Uno de los principales desafíos que enfrenta el proceso de descarbonización de la logística es la falta de infraestructura en España para los combustibles alternativos que reemplacen al diésel.
- Objetivo 11: "Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles" (24). La descarbonización del transporte terrestre mejorará la calidad de vida en las ciudades, haciéndolas más seguras gracias a una mejor calidad del aire y una mayor sostenibilidad.
- Objetivo 12: "Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles" (25). Es deseable que la obtención de estos combustibles alternativos se realice de manera sostenible y sin dañar el medio ambiente.
- Objetivo 13: "Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos" (26). La descarbonización del transporte es una medida urgente debido al alto nivel de emisiones de GEI que produce este sector.

Es importante destacar que estos Objetivos de Desarrollo Sostenible proporcionan un marco global para abordar los desafíos ambientales y sociales, y este proyecto contribuirá al avance hacia su consecución.

2.2 LA ACTUALIDAD EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS

La distribución de mercancías se refiere al proceso de hacer que los productos lleguen a las manos de los consumidores. El objetivo principal es garantizar que los productos estén disponibles en el momento y lugar deseado por el comprador, lo que determina el éxito de la distribución.

Actualmente, el espacio destinado al almacenaje en los vehículos de transporte es cada vez menor. Esto se debe al crecimiento de las tasas de llenado de los productos solicitados por los distribuidores, lo que ha convertido al mencionado espacio en un espacio útil para la compra. Esto conduce a un aumento en el transporte de suministros, con proveedores u operadores logísticos que necesitan abastecerse de materias primas con mayor frecuencia [Ver Anexo 1].

Esta situación genera un aumento de la generación de GEI a la atmósfera, aumentando así las emisiones de carbono y la contaminación ambiental.

2.2.1 ALCANCE DE LA HUELLA DE CARBONO

La norma corporativa del Protocolo de GEI (GHGP) clasifica las emisiones de GEI asociadas a la huella de carbono (HC) corporativa de una empresa en tres categorías: alcance 1, alcance 2 y alcance 3 (27). En la gestión de proyectos, “alcance” se utiliza ampliamente para referirse a todos los procesos y recursos necesarios para llevar a cabo y completar un proyecto de manera exitosa. Según el protocolo GHGP, el objetivo de esta clasificación es “identificar fuentes directas e indirectas de emisiones” y “evitar que varias empresas cuenten emisiones en el mismo rango”.

En la siguiente imagen se ilustran los diferentes tipos de alcances de la huella de carbono y las categorías en las que pueden ser divididos.

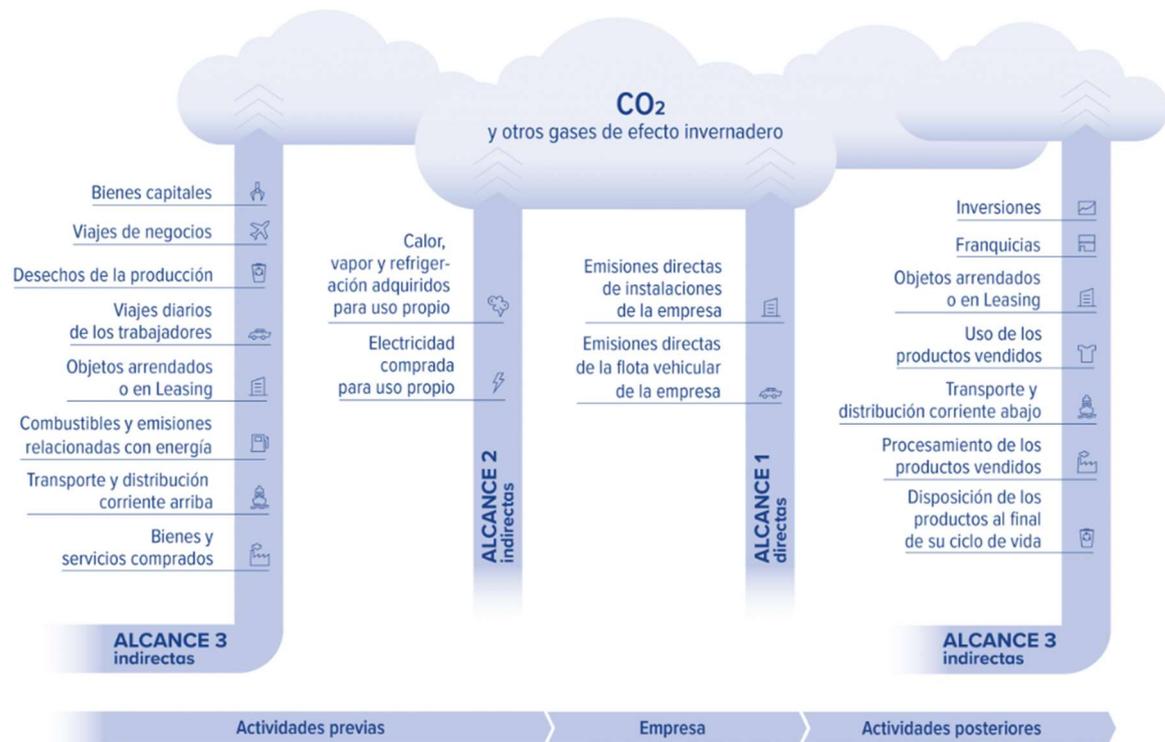


Imagen 5. Tipos de alcance de emisiones según el protocolo GHGP (27).

Los alcances 1, 2 y 3 en el contexto logístico se definen de la siguiente manera:

- Alcance 1: Comprende las emisiones directas de GEI que provienen de fuentes que son propiedad o son controladas por una empresa como, por ejemplo, el consumo de combustibles fósiles (28).
- Alcance 2: Involucra las emisiones de GEI indirectas generadas por la electricidad consumida y comprada por el emisor (28).
- Alcance 3: Engloba las emisiones de GEI que provienen de la cadena de valor de una compañía y no están bajo el control de esta, por ejemplo, un viaje de negocios o el desplazamientos de los empleados (28). Dentro de este alcance, se distinguen tres categorías:
 - Categoría 3: Incluye las emisiones de GEI relacionadas con la extracción, producción y transporte de combustibles utilizados en los vehículos e instalaciones propiedad de la empresa, así como las emisiones provenientes

de la generación y distribución de electricidad utilizada en dichos vehículos e instalaciones. También se consideran las emisiones asociadas a pérdidas durante el transporte y distribución de esa electricidad (28).

- Categoría 4: Se refiere a los transportes aguas arriba, que engloban las emisiones de los Alcances 1 y 2 de subcontratas que han proporcionado servicios de movilidad (28).
- Categoría 9: Engloba los transportes aguas abajo, que incluyen las emisiones de los Alcances 1 y 2 de las subcontratas que han realizado servicios de transporte en nombre de la empresa (28).

En términos operativos, las labores del sector del transporte logístico por carretera se enmarcan en los Alcances 1 y 3, los cuales se han detallado anteriormente.

2.2.2 LOS GRANDES TRANSPORTISTAS EN ESPAÑA

La globalización y la presencia de grandes empresas están generando una mayor apuro en las cadenas de suministro. En este contexto, la creciente demanda de un nivel de logística cada vez más avanzado está impulsando un notable desarrollo en el sector logístico dentro de la economía global.

Un ejemplo destacado de esta evolución es la iniciativa de la Nueva Ruta de la Seda, originada en China y que marcará la logística europea. También conocida como One Belt-One Road, fue lanzada por el presidente Xi Jinping en 2013. Este ambicioso plan de infraestructuras conecta cuatro continentes: Asia, Oceanía (específicamente la parte sur del archipiélago de Indonesia), Europa y África. Según la Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), la región abarcada por la Nueva Ruta de la Seda representa aproximadamente el 70% de la población mundial, el 75% de los recursos energéticos mundiales y el 70% del PIB mundial. (29).

Como resultado, el incremento en los flujos de comercio internacional puede dar lugar al surgimiento de nuevos centros económicos y logísticos más allá de las zonas

comerciales más relevantes, como el Reino Unido, Francia o Alemania. La situación brinda a España la posibilidad de aumentar su importancia en el ámbito logístico a nivel europeo.

Debido a que este proyecto se centra en la logística terrestre por carretera, en la siguiente tabla se pueden apreciar las cinco principales empresas que operan en España en dicho sector:

Tabla 2. Las cinco grandes empresas de la logística terrestre en España (30).

<i>Posición en el sector</i>	<i>Nombre de la empresa</i>	<i>Facturación (m€)</i>	<i>Provincia</i>
1	Primafrío SL	489,3	Murcia
2	General Logistics System Spain SA	400,6	Madrid
3	Compañía logística Acotral SA	309,4	Málaga
4	Transportes Sesé SL	296	Zaragoza
5	Carreras Grupo Logístico SL	241,3	Zaragoza

2.2.2.1 Primafrío SL

Primafrío SL es una empresa líder en el transporte y la logística de mercancías refrigeradas en Murcia, España. Fundada en 1968, se ha convertido en una compañía destacada tanto a nivel nacional como internacional en este sector (31).

Primafrío está especializada en transporte refrigerado, es decir, en el transporte de productos que requieren control de temperatura, como pueden ser alimentos perecederos o productos farmacéuticos, entre otros. Para ello, cuenta con una flota moderna de camiones frigoríficos, equipados con tecnología avanzada para asegurar la adecuada conservación de los productos durante el transporte (31).

Primafrío brinda cobertura tanto a nivel nacional como internacional, ofreciendo servicios de transporte en todo el territorio español, así como rutas internacionales que abarcan varios países europeos, permitiendo a sus clientes llegar a diferentes mercados de manera eficiente. Además, Primafrío se enfoca en la innovación y la sostenibilidad, implementando tecnologías y procesos eficientes para reducir el impacto medioambiental y mejorar la trazabilidad de las mercancías (31).

Primafrío ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años y ha establecido alianzas estratégicas con otras empresas líderes en el sector. Su experiencia, infraestructura y enfoque en la calidad del servicio la han posicionado como una de las empresas más destacadas en el transporte de mercancías refrigeradas en España y Europa (32).

El Grupo Primafrío cuenta con una flota de 2.700 vehículos, de los cuales 2.100 son pesados, equipados con un sistema de seguimiento y seguridad conocido como live tracking, que permite controlar de manera precisa las posiciones, consumos, emisiones, tiempos de conducción y temperaturas de los refrigeradores. Gracias a estos dispositivos innovadores para controlar la temperatura, han logrado evitar posibles inconvenientes en la cadena de refrigeración y asegurar el seguimiento de la carga transportada (31).

Mediante un programa de renovación anual de flota y la incorporación de motores Euro VI, Primafrío ha introducido remolques frigoríficos 100% híbridos, modalidades de transporte alternativas como los camiones propulsados a gas (GNL), camiones eléctricos o el transporte intermodal, que les han permitido avanzar de forma decidida hacia la descarbonización y las cero emisiones (31).

2.2.2.2 General Logistics System Spain SA

General Logistics System Spain SA (GLS Spain) es una empresa líder en el campo de la logística y mensajería con sede en Madrid, España. Forma parte de General Logistics Systems (GLS), un destacado proveedor de servicios de paquetería y logística en Europa.

Con una amplia presencia en más de 40 países, GLS cuenta con una red extensa y bien establecida que abarca todo el continente (33).

GLS Spain se especializa en soluciones de envío y entrega eficientes para clientes tanto a nivel nacional como internacional. Su enfoque principal es garantizar servicios de mensajería rápidos y confiables, adaptados tanto a empresas como a particulares. Ofrece servicios de entrega en toda España, asegurando que los paquetes lleguen a su destino de manera rápida y segura. Además, la empresa cuenta con una sólida red de transporte internacional que permite envíos eficientes en todo el mundo. Para ello, GLS Spain dispone de una amplia gama de servicios que incluyen opciones de entrega exprés, servicio de seguimiento en tiempo real o entrega contra reembolso, entre otros (33).

GLS Spain se preocupa por minimizar su impacto ambiental. La empresa implementa prácticas sostenibles en su operación diaria, como el uso de vehículos más eficientes y la adopción de energías renovables cuando es posible. GLS Spain también utiliza tecnología de vanguardia para optimizar sus procesos logísticos y mejorar la experiencia del cliente. Esto incluye sistemas de seguimiento en línea que permiten a los remitentes y destinatarios rastrear el progreso de los paquetes en tiempo real (33).

En España, la red de GLS cuenta con alrededor de 600 centros propios y agencias, respaldados por más de 5.300 Parcel Shops, aproximadamente 5.800 vehículos de entrega y 450 camiones pesados de larga distancia.

2.2.2.3 Compañía logística Acotral SA

Acotral SA es una destacada compañía de logística con sede en Málaga, España. Especializada en el transporte terrestre de mercancías, Acotral se ha consolidado como líder en su sector desde su fundación en 1970.

Con una flota de 2.660 camiones y vehículos especializados, de los cuales 2.400 son pesados, Acotral ofrece una amplia gama de servicios logísticos que incluyen transporte nacional e internacional, transporte frigorífico, carga completa y carga parcial, transporte de

productos químicos y mercancías peligrosas, así como soluciones completas de almacenamiento y distribución (34).

La excelencia en el servicio y la satisfacción del cliente son los pilares fundamentales de Acotral. Gracias un equipo altamente capacitado y su infraestructura logística de primer nivel brindan un servicio eficiente y personalizado a sus clientes. Igualmente, Acotral se destaca por su compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social corporativa. Implementa medidas para reducir las emisiones y mejorar la eficiencia energética en sus operaciones, demostrando así su compromiso con el cuidado del medio ambiente (34).

2.2.2.4 Transportes Sesé SL

El Grupo Sesé es una compañía fundada hace aproximadamente 55 años, cuya actividad principal se enfocaba inicialmente en el transporte de mercancías. Sin embargo, con el paso de los años, la empresa ha diversificado sus servicios y se ha expandido más allá. Destaca por ofrecer una amplia gama de servicios, incluyendo actividades logísticas o envío aéreo y marítimo, así como soluciones integrales de gestión de la cadena de distribución (35).

La compañía original de la localidad de Urrea de Gaén, Teruel, inició sus operaciones como una pequeña empresa centrada en la compraventa y de productos relacionados con la agricultura. Desde sus inicios, ha experimentado un notable crecimiento y se ha consolidado como una destacada multinacional que ya actúa en 16 países, abarcando 4 continentes distintos. Su equipo de casi 10.000 empleados y su flota de más de 3.000 vehículos son un testimonio de su envergadura y alcance global (36). De estos 3.000 vehículos 1.500 son camiones pesados.

La empresa realiza transporte logístico tanto a nivel nacional como europeo. Todo ello gestionado mediante un centro de control y un software propio. Destaca además su método FTL (Full Truck Load), que permite que el camión vaya cargado solo por los bienes que desea gestionar un único cliente, con la mayor seguridad y rapidez (37). Además, la empresa también ofrece servicios de transporte LTL (Less Than Truckload) y distribución

de paquetería urgente. El servicio de transporte LTL se relaciona con la carga parcial o consolidada, lo que significa que se incluyen múltiples cargas en un mismo contenedor para optimizar el transporte y proporcionar un coste más económico para el cliente. (37). Por otro lado, el servicio de distribución de paquetería urgente se enfoca en el transporte de mercancías de menor tamaño, conocido comúnmente como entrega a domicilio. Este servicio se destaca por sus cortos tiempos de entrega y un coste considerablemente más bajo.

2.2.2.5 Carreras Grupo Logístico SL

Desde su establecimiento en 1933 en Zaragoza, España, Carreras Grupo Logístico ha experimentado un notable crecimiento en su actividad, consolidándose en la actualidad como un destacado operador logístico integral, especialmente reconocido en el sector de gran consumo. Esta prestigiosa empresa ofrece una amplia gama de servicios que cubren todos los aspectos de la cadena de suministro. Entre ellos se incluyen el transporte a nivel nacional e internacional, el almacenaje, la distribución, la manipulación, el copacking, la paletería, la consultoría logística, los tránsitos aéreos y marítimos, así como la gestión de aduanas y la externalización comercial. (38).

Carreras Grupo Logístico cuenta con una flota propia de más de 1.000 vehículos, los cuales son meticulosamente controlados para garantizar un servicio eficiente y confiable. De estos 1.000 vehículos, 600 de ellos son camiones pesados. Además, dispone de una extensa red de instalaciones de almacenaje que abarcan más de 600.000 m² en un total de 46 ubicaciones estratégicas. Entre los vehículos que dispone se encuentran tautliners, megatrailers, caballetes, extensibles, basculantes y frigoríficos.

En la empresa trabajan más de 2.000 empleados, siendo el operador líder en el sector de gran consumo en España y Portugal. Carreras cerró 2022 con una facturación conjunta de 350 millones de euros y cuenta con filiales en Francia, Italia, Portugal y Rumania (38).

2.2.3 PLANES Y FACILIDADES EN LA LOGÍSTICA ESPAÑOLA

Un plan de descarbonización es la hoja de ruta que permitirá a las organizaciones alcanzar sus objetivos de reducción de GEI. Los planes de descarbonización han adquirido

una relevancia fundamental y estratégica en el proceso de planificación de las organizaciones para lograr una transición exitosa hacia operaciones neutras en carbono.

Los beneficios de los planes de descarbonización son:

- Ayuda a combatir uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la humanidad, el Cambio Climático.
- Reduce los consumos y costes energéticos.
- Mejora la imagen corporativa de la organización.
- Aumenta la independencia energética, disminuyendo riesgos y exposición al precio de la energía y el coste de las emisiones de CO₂.
- Se adelanta al futuro impacto de una normativa nacional e internacional cada vez más estricta.

En España el 95% del transporte de mercancías se realiza por carretera. (39). La descarbonización en este sector requiere de un enfoque que promueva una mayor adopción de camiones ligeros eléctricos como solución clave. Establecer un objetivo concreto de un millón de camiones ligeros eléctricos para el año 2030, junto con la implementación de incentivos fiscales que fomenten la incorporación de estos vehículos en las flotas, así como la prohibición del transporte ligero de mercancías mediante vehículos convencionales en áreas urbanas, son medidas indispensables para avanzar en esta dirección.

Según McKinsey, se estima que para el año 2030, aproximadamente el 37% de los camiones medianos y pesados en la Unión Europea podrían funcionar sin emitir gases contaminantes. No obstante, esta cifra no resulta adecuada para lograr el objetivo de limitar el aumento de las temperaturas establecido. Para mejorar estas estadísticas, se requieren diversas soluciones que implican la coordinación de todos los actores involucrados (40).

Existen tres soluciones generales que deben implementarse para mejorar la situación:

1. Coordinar el despliegue de vehículos e infraestructuras implica asegurar la disponibilidad de vehículos de cero emisiones y una infraestructura de carga adecuada en toda la Unión Europea.
2. Promover políticas e incentivos a largo plazo que impulsen la transición hacia camiones de cero emisiones, como normativas más estrictas, zonas de bajas emisiones, peajes diferenciados o exenciones fiscales.
3. Favorecer un financiamiento innovador, como subvenciones, préstamos a tasas preferenciales e incentivos fiscales, para apoyar la adopción de camiones de cero emisiones. Además, se debe fomentar la inversión en investigación y desarrollo de tecnologías más limpias y eficientes en el transporte de carga.

La implementación conjunta de estas soluciones, con la participación y colaboración de todos los agentes involucrados, es fundamental para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones y limitar el aumento de las temperaturas en la Unión Europea.

2.2.3.1 Despliegue coordinado e infraestructuras

En el despliegue coordinado de vehículos e infraestructuras en el sector del transporte, los vehículos eléctricos a batería (BEVs) y los vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno (FCEVs) adquieren especial importancia. Estas tecnologías aún necesitan mejoras para adecuarse a las especificidades de camiones y vehículos de gran tamaño. Es necesario mejorar la autonomía de las baterías de los vehículos eléctricos e híbridos, así como asegurar la disponibilidad de puntos de recarga en las carreteras (40). Reducir significativamente el tiempo de carga es crucial para mantener la competitividad de las empresas y profesionales en el sector del transporte.

En la actualidad, los camiones que utilizan gas natural se han establecido como una opción técnica y comercialmente consolidada. En España, existen diversas alternativas de camiones de gran tonelaje impulsados por gas natural, ya sea comprimido (GNC) o licuado (GNL). Aunque el precio de compra de estos vehículos es comparable al de los camiones convencionales (con algunos modelos que pueden ser un 10% más costosos), el menor coste del combustible puede hacer que su coste total sea más rentable en general (39). La

utilización de GNL como combustible ha superado la limitación de menor autonomía debido a su mayor densidad energética en comparación con el GNC (39). Sin embargo, existen algunos inconvenientes. La infraestructura de estaciones de gas natural en España es limitada y, además, su consumo en motores de combustión interna no elimina por completo las emisiones de GEI ya que tan solo las reduce alrededor de un 10% y un 20% en comparación con un camión convencional.

El uso de hidrógeno como combustible para vehículos por carretera se encuentra en fase experimental. Además, se trata de un combustible actualmente controvertido, ya que su producción requiere un alto consumo de energía.

En la búsqueda de vehículos de cero emisiones, una tercera opción es el biogás. El biogás es una alternativa de producción renovable que genera menos emisiones de GEI que la gasolina y el diésel, lo que lo convierte en una solución para la transición hacia una movilidad más sostenible (40).

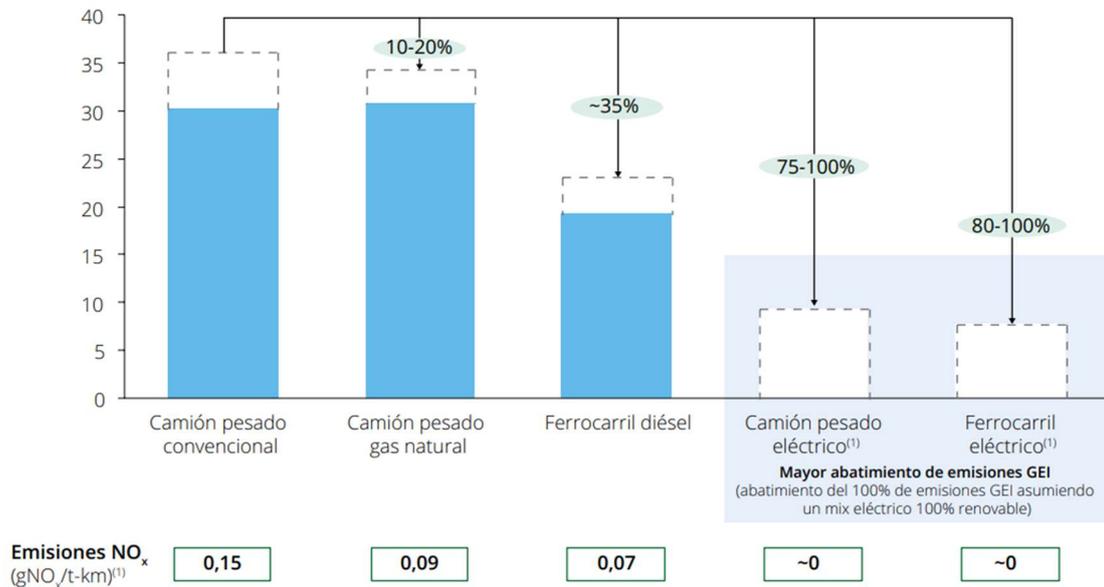
Para desarrollar infraestructuras de recarga y repostaje de vehículos de cero emisiones se requieren inversiones significativas. Por ejemplo, cargar por completo una batería de 400 kWh en 45 minutos (el tiempo de descanso obligatorio para los conductores de larga distancia en la UE) requiere una infraestructura de al menos 750 kW (40). Se estima que este tipo de infraestructuras puede costar entre 200.000 y 350.000 euros por punto de recarga. En el caso del hidrógeno, el coste de una estación capaz de suministrar una tonelada al día oscila entre dos y tres millones de euros (40). Sin embargo, se espera que los costes de infraestructura se reduzcan hasta un 60% para el año 2030, gracias a los avances tecnológicos.

Es importante tener en cuenta la inversión requerida por los propietarios de vehículos para renovar sus flotas. Esto puede representar un desafío significativo en España, especialmente para pequeñas empresas y autónomos que pueden no tener los recursos financieros para realizar estas inversiones. En este sentido, tanto las finanzas públicas como las privadas desempeñan un papel crucial para brindar apoyo y facilitar la transición hacia vehículos más sostenibles.

Otra alternativa destacable durante este periodo es el cambio modal al transporte ferroviario de mercancías eléctrico. Este enfoque implica desarrollar un modo de transporte de carga más eficiente y de bajas emisiones que los vehículos pesados convencionales (39). Mediante el uso de locomotoras eléctricas y un mix de generación eléctrica 100% renovable, las emisiones se reducen por completo sin necesidad de desarrollar tecnologías específicas para un despliegue a gran escala. Si bien la tecnología actual ofrece opciones de tracción diésel y eléctrica, en los últimos años se han llevado a cabo proyectos para utilizar gas natural como combustible en el transporte ferroviario.

En los últimos años, en España se han implementado varias iniciativas, entre ellas el Plan Estratégico para el fomento del transporte ferroviario de mercancías (Ministerio de Fomento, 2010) y la Estrategia Logística de España (Ministerio de Fomento, 2013) (39). A pesar de los esfuerzos realizados, la utilización del transporte de mercancías por ferrocarril en nuestro país se encuentra considerablemente por debajo de los niveles observados en otros países europeos. Por ejemplo, en Alemania, el ferrocarril supone el 20 % del transporte de mercancías por t-km mientras que en España supone solo el 5 % (39). Debido a que este proyecto se centra en el transporte por carretera, se ha decidido mencionar esta alternativa, pero se continuará con las mencionadas anteriormente.

Tabla 3. Emisiones de CO₂, según tipo de transporte terrestre y su propulsión (gCO₂/t-km) (39)



2.2.3.2 Políticas, incentivos y financiamiento

El Pacto Verde establece la necesidad de descarbonizar el transporte en camiones. Sin embargo, en la actualidad, la infraestructura de recarga y repostaje para camiones eléctricos de baterías (CEB) y camiones de hidrógeno es limitada y poco accesible al público.

La propuesta de Reglamento sobre una infraestructura para los combustibles alternativos (AFIR) (41) para camiones incluye objetivos basados en la distancia de los puntos de recarga y estaciones de repostaje a lo largo de los corredores de la Red Transeuropea de Transporte (RTE-T). La ubicación geográfica de esta infraestructura se ha enfocado en las redes básicas y globales de la RTE-T, nodos urbanos y zonas de estacionamiento seguras, con atención especial a la recarga rápida. En el caso del hidrógeno, las terminales de mercancías también desempeñan un papel importante.

En cuanto a los requisitos tecnológicos, la propuesta de AFIR justifica la selección de puntos de repostaje de hidrógeno de al menos 700 bar, ya que pueden ser utilizados tanto

para vehículos pesados como ligeros. Para camiones alimentados por batería, el mínimo de 350 kW es suficiente para camiones con más paradas y descansos legales más prolongados, pero puede no ser suficiente para descansos cercanos al mínimo legal. Se podría considerar un nivel mínimo de potencia disponible más alto (>500 kW) en el AFIR (41).

Según la longitud de la RTE-T y el número de nodos urbanos y zonas de estacionamiento seguras, se estima que los objetivos para 2030 en la propuesta AFIR requerirían un total de 17.314 puntos de recarga y 728 estaciones de repostaje de hidrógeno (41). Sin embargo, para permitir la circulación dentro de la UE, el número mínimo estimado de estaciones de carga en las zonas de estacionamiento nocturno no parece ser suficiente en comparación con el requisito. Podría considerarse un requisito mínimo más alto para estaciones de recarga en cada zona de estacionamiento segura dedicada a vehículos pesados.

El Gobierno español ha impulsado un nuevo plan en base al Real Decreto 132/2019, de 8 de marzo, que otorga directamente ayudas del Programa de Incentivos a la Movilidad Eficiente y Sostenible (MOVES) a las comunidades autónomas y las ciudades de Ceuta y Melilla. (42). Este programa cuenta con una dotación presupuestaria de 45 millones de euros y tiene como objetivo incentivar la adquisición de vehículos alternativos, así como la instalación de infraestructuras de recarga para vehículos eléctricos.

La asignación de la ayuda se realizará de la siguiente manera: se destinará un porcentaje que va del 20% al 50% para la adquisición de medios alternativos. Asimismo, se destinará entre un 30% y un 60% para la instalación de infraestructuras de recarga, siendo al menos el 50% de este monto destinado a estaciones de recarga rápida. El importe de las ayudas para la compra de vehículos varía, oscilando desde los 700 euros para motos eléctricas hasta los 15.000 euros para camiones y autobuses con propulsión de sustitución. Las ayudas para la compra de vehículos eléctricos ligeros rondan los 5.000 euros. MOVES fija un límite de ayuda de 200.000 euros por beneficiario para realizar un Plan de Desplazamiento a Centro de Trabajo con una ayuda equivalente al 50% de los costes subvencionables (42).

En junio de 2020, se llevó a cabo una actualización del plan MOVES, dando lugar al plan MOVES II, el cual regula el programa de estímulos a la movilidad eficaz y establece la aprobación directa de apoyos económicos mediante una dotación presupuestaria de 100 millones de euros (43).

Antes de concluir esta sección, es importante mencionar el Programa de Transformación de Flotas de Vehículos Pesados para el Transporte Profesional por Carretera. Mediante este programa, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Programas Urbanos ha facilitado la asignación de 400 millones de euros procedentes de los fondos "Europe Recovery" a las comunidades y ciudades autónomas. El objetivo de esta iniciativa es impulsar la descarbonización en el transporte profesional, especialmente en el ámbito de los vehículos pesados (44).

El propósito de la corriente inversora es agilizar el proceso de transformación de la flota de vehículos pesados de carga y turismos, promoviendo la adopción de tecnologías de propulsión de vehículos con energías alternativas en España, y respaldando la descarbonización de las flotas de vehículos. Como ejemplo de esta situación, en 2020 solo hay 6 camiones eléctricos de un total de 18.812 registrados. Cambiar a vehículos eléctricos en muchos casos también significa ajustar el trabajo en sí mismo, donde la carga y la planificación de rutas juegan un papel importante. (44).

La línea de subvenciones destinada a la rehabilitación de flotas diésel o gasolina proporciona un subsidio de hasta 20.000 euros con el objetivo de realizar la conversión de motores de vehículos pesados, permitiendo su funcionamiento al 100% mediante el uso de electricidad o hidrógeno como fuente de energía primaria. En cuanto a la instalación de la infraestructura de carga, el estándar incluye cuatro categorías según la potencia del punto de conexión. Se establece un importe máximo para las estaciones de recarga de potencia igual o superior a 350 kW, con un nivel fijo de apoyo de 70.000 euros. (44).

Se estima que se podrían subsidiar hasta 2000 camiones totalmente eléctricos y de cero emisiones y 500 autobuses durante la duración del programa. Esto dará como resultado

un aumento del 300% en la cantidad de camiones en comparación con los datos actuales y una duplicación de las tarifas de los autobuses.

3 DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 FUENTES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

En la industria de la logística, los camiones de mercancías utilizan predominantemente motores diésel en la actualidad. Sin embargo, las energías alternativas están configurando el futuro de los camiones pesados y estos cambios están más cerca de lo que se podría imaginar.

Recientemente, el debate en torno a las tecnologías de motores y combustibles alternativos ha sido intenso. Se han planteado preocupaciones en relación con la fiabilidad y durabilidad de estos motores, así como a su autonomía.

Tanto las flotas privadas como las de alquiler muestran interés en adoptar vehículos de emisión cero como alternativas. No obstante, persisten preocupaciones significativas en cuanto a las oportunidades a corto plazo.

3.1.1 DIESEL, BIODIESEL Y ACETE VEGETAL HIDROTRATADO

3.1.1.1 Introducción y obtención

La producción de diésel o gasóleo requiere como materia prima el petróleo crudo, el cual se destila en una torre de craqueo (45). En este proceso, el crudo se calienta y destila varias veces, obteniéndose diferentes productos como fuel oil, gasoil o queroseno. Cada destilación produce un hidrocarburo de menor masa molecular que la anterior. Luego se aplican aditivos químicos a cada destilado para estabilizar, mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental (45).

En cuanto a la producción de biodiesel, este combustible renovable se adquiere a partir de aceites vegetales o animales. Los aceites más utilizados son los de soja, colza o palma. El biodiesel se puede mezclar con el diésel en una variedad de proporciones,

identificadas por números como B5 o B30, que indican el porcentaje de biodiésel en la mezcla, siendo el resto aceite diésel convencional (46).

El aceite vegetal tratado con hidrógeno (HVO) es un combustible similar al biodiésel, obtenido a partir de aceites y grasas de cocina usados, sometidos a tratamiento con hidrógeno (47). Debido a que se deriva de fuentes de energía renovables, HVO reduce las emisiones de GEI y partículas en aproximadamente un 90 % en comparación con el diésel convencional (47).

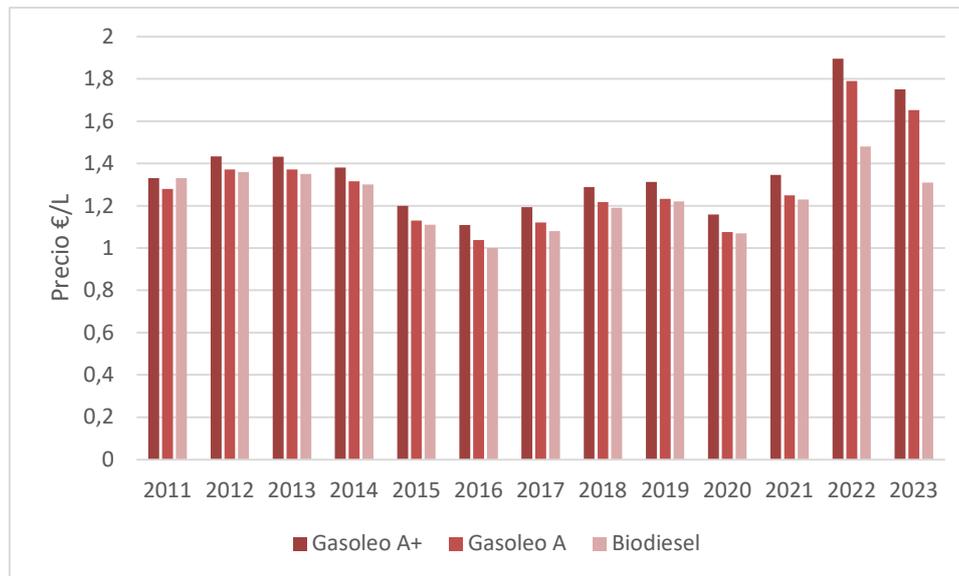
3.1.1.2 Mercado e infraestructura en España

El mercado de la energía no renovables, incluido el diésel, está experimentando un declive significativo. Este fenómeno se debe al aumento del precio del diésel en los últimos años y al esfuerzo de Europa y especialmente de España por conseguir una economía con una huella de carbono reducida. Un ejemplo de esto es la legislación vigente sobre cambio climático y transición energética, la cual establece que a partir del año 2040 se prohíbe la venta en el mercado de turismos y vehículos comerciales ligeros que no sean de cero emisiones (48). Aunque estos vehículos podrán circular hasta 2050, es necesario sustituir paulatinamente los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, como la electricidad o el hidrógeno.

En el sector del transporte pesado, la legislación sobre Cambio Climático y Transición Energética también promueve la promoción de las energías renovables y la instalación de infraestructura de suministro de biocombustibles.

Tabla 4. Evolución del precio del Diesel y el Biodiesel.

Elaboración propia a partir de (48)



En la Península Ibérica, 7.856 estaciones de servicio suministran gasóleo convencional para repostar. Sin embargo, la disponibilidad de puntos de repostaje de biodiésel es bastante limitada, con solo 36 estaciones de servicio que ofrecen esta opción (49).

Los principales productores de diésel en España son Repsol y Cepsa. En cuanto a los principales productores de biodiésel, en España se encuentran Abengoa Bioenergía y Acciona Energía. Respecto al HVO, se puede decir que Neste y CLH (Compañía Logística de Hidrocarburos) se han posicionado como las empresas líderes en la producción de este combustible.

3.1.1.3 Normativa

La legislación de los países miembros de la UE establece restricciones para la generación de gases provenientes de la combustión interna, las cuales están reguladas por el Reglamento 595/2009 (ambiente, octubre de 2022). En la actualidad, la norma EURO VI se aplica a los vehículos pesados pertenecientes al sector transporte logístico. Mediante estos

límites se controlan e intenta reducir, en medida de lo posible las emisiones contaminantes. En la siguiente tabla se pueden encontrar los límites mencionados de los principales gases contaminantes y según el tipo de camión.

Tabla 5. Límites de control de emisiones en vehículos pesados (50).

		EURO VI (M1, N1 y N2 ligeros en mg/km, N2 y N3 en mg/kwh)															
		CO		HCT		HCNM		NO _x		HCT + NO _x		NH ₃		PM		NP	
		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI
Personas	M2	-	1500	-	130	-	-	-	400	-	-	-	10	-	10	-	-
	M3	-	1500	-	130	-	-	-	400	-	-	-	10	-	10	-	-
Mercancías	N2	-	1500	-	130	-	-	-	400	-	-	-	10	-	10	-	-
	N3	-	1500	-	130	-	-	-	400	-	-	-	10	-	10	-	-

3.1.2 GAS LICUADO DEL PETRÓLEO

3.1.2.1 Introducción y obtención

El gas licuado del petróleo (GLP) se obtiene a través de dos procesos distintos. El primero implica la extracción de petróleo y gas natural del subsuelo, mientras que el segundo se basa en la refinación del crudo de petróleo (51). La producción de GLP a través de la extracción constituye aproximadamente el 60% del total, mientras que la refinación representa alrededor del 40% restante (51).

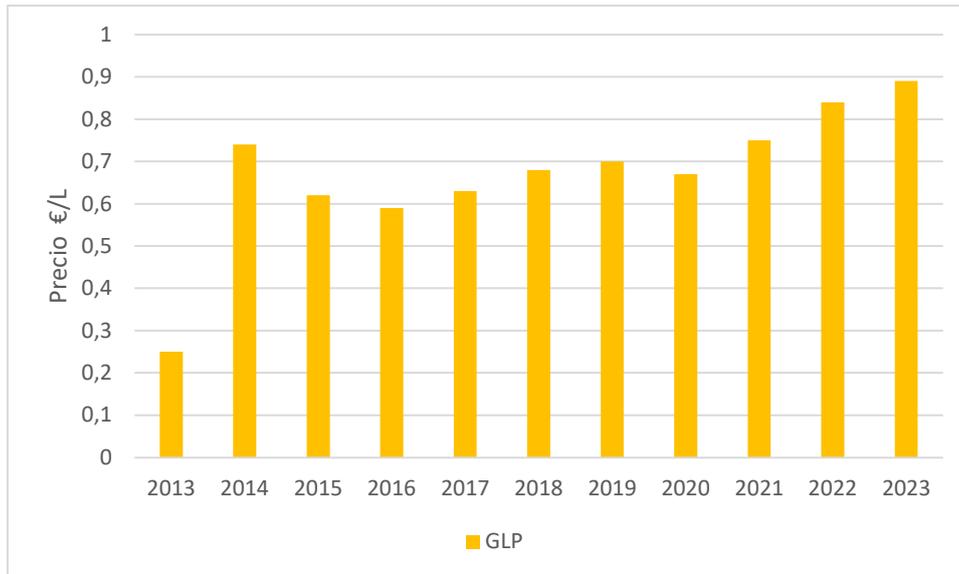
3.1.2.2 Mercado e infraestructura en España

En la actualidad, el GLP es ampliamente empleado como una de las opciones de combustible más prevalentes en España. En general, se utilizan dos tanques, uno para el gas y otro para la gasolina, aunque también existe la posibilidad de adaptar los vehículos para su funcionamiento exclusivo con gas. (52).

Resulta relevante destacar que, en los últimos años, los precios del GLP han experimentado un incremento notable, motivado por la inestabilidad económica a la que se enfrentan tanto España como Europa en general.

Tabla 6. Evolución del precio del GLP.

Elaboración propia a partir de datos tomados en (53)



En relación con el abastecimiento de este tipo de combustible, cabe mencionar que la disponibilidad de infraestructura para el suministro GLP es limitada en comparación con otros combustibles. Actualmente, en España se cuentan con 862 estaciones de servicio que ofrecen GLP. (54).

Los principales productores de GLP en España son Repsol y Cepsa.

3.1.2.3 Normativa

En Europa existe una normativa que establece los requisitos de calidad del gas licuado del petróleo, que se recoge en la norma DIN EN 58. En cuanto a la ley que regula la infraestructura y el abastecimiento de este combustible, en España se establece en " Real Decreto 919/2006, de 28 de julio" (55), por el que se aprueba el Reglamento Técnico sobre distribución y uso de combustibles gas y directrices técnicas adicionales para las instalaciones de combustible gaseoso (ICG) (55). Estas regulaciones tienen como objetivo garantizar un manejo, almacenamiento y suministro de GLP seguro y de calidad.

3.1.3 GAS NATURAL COMPRIMIDO Y LICUADO

3.1.3.1 Introducción y obtención

El gas natural comprimido (GNC) y el gas natural licuado (GNL) son gases compuestos principalmente por metano obtenido de yacimientos de gas. Generalmente, estos reservorios se localizan a considerables profundidades, ya sea bajo la superficie terrestre o bajo el lecho marino. El gas natural se considera una fuente de energía fósil porque se deriva de residuos orgánicos (56).

Para el almacenamiento, el GNC es comprimido y contenido en recipientes diseñados específicamente para vehículos, soportando presiones de 200 a 250 bar (57). Por otro lado, el GNL se enfría a una temperatura de -162°C y se mantiene a presión atmosférica para su almacenamiento (58).

En cuanto a la normativa que los rige, en Europa y en España existen regulaciones específicas para garantizar la calidad y seguridad del gas licuado. Por ejemplo, en España se encuentra el "Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, que aprueba el Reglamento técnico de distribución y empleo de combustibles gaseosos (como se ha mencionado anteriormente con el GLP) (55).

3.1.3.2 Mercado e infraestructura en España

En los últimos años, la demanda comercial de GNC ha ido disminuyendo paulatinamente, aunque en un principio se vio como una alternativa atractiva y respetuosa con el medio ambiente. Uno de los primeros factores que surgieron como ventaja del gas natural fue su precio competitivo frente a la gasolina y el diésel. Además, los vehículos que utilizan este combustible suelen recibir la etiqueta ECO por su bajo impacto ambiental (49).

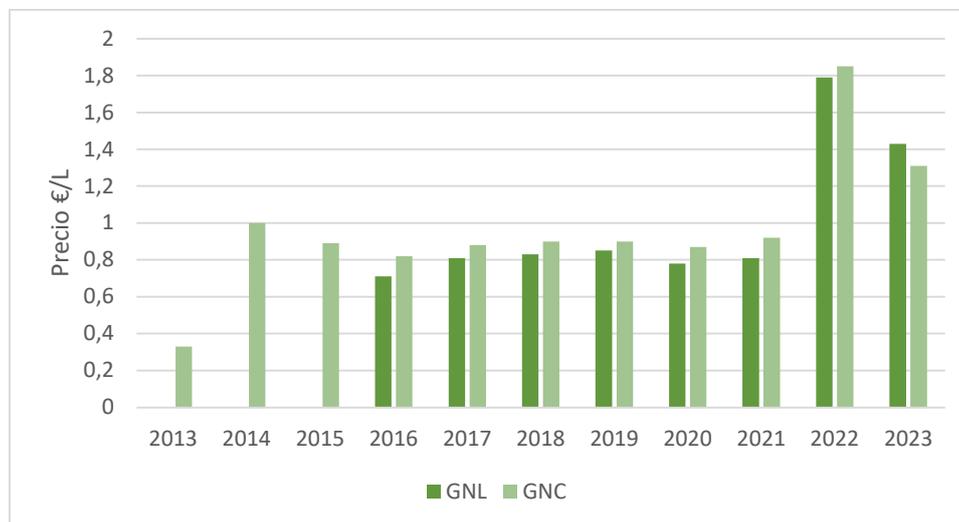
Sin embargo, esta tendencia ha cambiado debido al creciente interés por otras opciones de combustible, especialmente la energía eléctrica como los vehículos híbridos, autorecargables o totalmente eléctricos (49). El cambio en las preferencias de los

consumidores ha influido en la disminución de la demanda de gas natural como combustible para automóviles.

A continuación, se muestra un gráfico que representa la tendencia de los precios del GNC y el GNL durante la última década.

Tabla 7. Evolución del precio del GNL y del GNC.

Elaboración propia a partir de datos tomados en (49).



Como muestra el gráfico, en años anteriores, los precios del GNC y el GNL fueron significativamente más bajos que los precios de la gasolina y el diésel. En 2022, sin embargo, los precios de los combustibles han aumentado significativamente, exacerbados por la situación de precios altos a nivel mundial provocada por el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania.

En cuanto a la infraestructura existente para prestar GNC en España, actualmente hay un total de 132 estaciones de servicio activadas para el suministro (59), mientras el GNL cuenta con 92 puntos de recarga (59). Estos datos sugieren que la infraestructura en España se encuentra aún en una etapa incipiente de desarrollo.

Entre los principales productores de GNC en España se encuentran Enagás y Gas Natural Fenosa (Naturgy). Sin embargo, es importante señalar que el GNL se importa principalmente de otros países productores. Sin embargo, algunas empresas cuentan con terminales de gasificación que juegan un papel importante en la recepción, almacenamiento y distribución de GNL en España. Enagás y Naturgy son dos ejemplos de este tipo de empresas, que realizan importantes contribuciones a la infraestructura de recepción, almacenamiento y distribución de GNL en el país.

3.1.3.3 Normativa

La Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, adoptada el 22 de octubre de 2014 (60), busca establecer un marco común de medidas con el propósito de implementar infraestructuras de combustibles alternativos en la UE. Esta directiva busca reducir la dependencia del petróleo en el sector del transporte y mitigar el impacto medioambiental asociado.

En el caso de España, se ha transpuesto esta directiva mediante el Real Decreto 639/2016, emitido el 9 de diciembre de 2016 (61). Este decreto establece un conjunto de medidas específicas para la implementación de infraestructuras de combustibles alternativos en el país.

Además, el Real Decreto 235/2018, publicado en el BOE el 27 de abril de 2018 (62), tiene como finalidad establecer los métodos de cálculo y los requisitos de información necesarios para medir y reportar la intensidad de las emisiones de GEI asociadas a los combustibles y la energía utilizados en el sector del transporte.. Este reglamento también trata sobre el GNC y regula aspectos relacionados con la medición y divulgación de las emisiones asociadas a este combustible.

3.1.4 HIDRÓGENO

3.1.4.1 Introducción y obtención

La producción de hidrógeno se puede lograr a partir de diferentes materiales y procesos, cada uno de los cuales tiene ventajas y desventajas. Es importante tener en cuenta que, si bien el hidrógeno se considera un combustible limpio, la forma en que se produce puede generar contaminación. Algunas de las materias primas utilizadas para producir hidrógeno son recursos fósiles, como el gas natural o el carbón, así como recursos renovables, como el agua o la biomasa. (63).

En términos generales, la producción predominante de hidrógeno se deriva principalmente del proceso de reformado de gas natural, utilizando el método más económico, que es el reformado con vapor de agua (63). Este proceso endotérmico requiere calor para que el metano y el agua reaccionen bajo condiciones de presión específicas. La gasificación del carbón es otra técnica utilizada para obtener hidrógeno, pero el proceso suele ser más complejo y costoso que la recuperación de gas natural (63). En cuanto a la producción de hidrógeno a partir de energías renovables, es la electrólisis del agua el proceso que se utiliza principalmente. Este proceso tiene como objetivo dividir las moléculas de agua en oxígeno e hidrógeno. Sin embargo, la molécula de agua es muy estable, por lo que se necesita una gran cantidad de energía en forma de electricidad para llevar a cabo este proceso. (63).

En resumen, la producción de hidrógeno se puede lograr a partir de diferentes insumos y por diferentes procesos, cada uno con características y consideraciones específicas. La elección del método de producción dependerá de factores como la disponibilidad de recursos, los costes económicos y ambientales y los objetivos de sostenibilidad. A continuación, se muestra la distribución porcentual por materias primas para la obtención de hidrógeno.

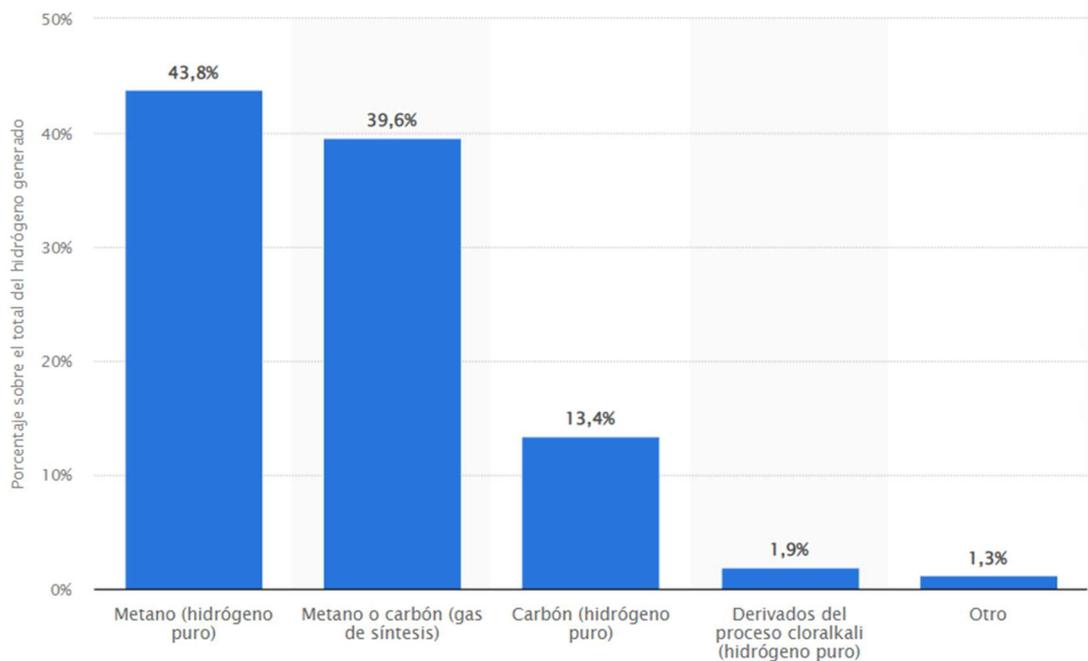


Imagen 6. Porcentaje de elementos para producción de hidrógeno (64).

Como se puede apreciar, en la actualidad, la mayor parte del hidrógeno se produce utilizando fuentes de energía no renovables. El hidrógeno se clasifica en diferentes categorías según las materias primas utilizadas en su obtención, lo cual se refleja en su denominación:

- Hidrógeno Verde. Producido mediante fuentes de energía sostenibles, lo que se traduce a que no genera emisiones de gases contaminantes durante su producción (20).
- Hidrógeno Gris: Obtenido a partir de combustibles fósiles, por lo que emite gases contaminantes durante su obtención (20).
- Hidrógeno Azul: Similar al hidrógeno gris en términos de obtención. Sin embargo, el hidrógeno azul se distingue por que se logran capturar las emisiones de contaminantes mediante técnicas de captura y almacenamiento (20).

3.1.4.2 Mercado e infraestructura en España

El mercado del hidrógeno en España se encuentra en una fase inicial, pero la Hoja de Ruta del Hidrógeno destaca las oportunidades que pueden ser aprovechadas mediante esta fuente de energía (20). Los objetivos principales de dicha hoja de ruta son los siguientes:

- Suprimir las emisiones de gases contaminantes en sectores donde la descarbonización representa un desafío significativo.
- Instaurar una cadena de generación y abastecimiento de hidrógeno que genere valor agregado y consolide a España como un referente mundial en el ámbito tecnológico de esta energía.
- Disminuir la dependencia energética a nivel nacional y europeo. La producción de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovables posibilitará que España fortalezca su independencia energética en un mercado caracterizado por la alta dependencia de importaciones extranjeras.
- Conseguir que España sea un referente europeo en la generación robusta de energía renovable.
- Impulsar la investigación, desarrollo e innovación en relación con las distintas vías de producción, almacenamiento y utilización del hidrógeno. Esto promoverá una administración eficiente de la economía del hidrógeno, tanto en el ámbito tecnológico como en toda la cadena de valor asociada a esta fuente de energía.

Con el fin de fomentar el desarrollo del mercado energético del hidrógeno, se han propuesto diversas medidas en la hoja de ruta. Estas medidas incluyen cambios en el marco regulatorio para simplificar los trámites administrativos y eliminar las barreras regulatorias en la producción de hidrógeno (20).

En la actualidad, la producción de hidrógeno se clasifica como una actividad industrial en el ámbito de la industria química, específicamente para la producción de gas inorgánico (20). Una de las medidas más importantes impuesta en la hoja de ruta del hidrógeno consiste en reclasificar la producción de hidrógeno renovable como una actividad industrial distinta. Esta medida se fundamenta en el reconocimiento de la marcada disparidad

en los efectos ambientales entre la producción de hidrógeno mediante fuentes de energía renovable y los métodos productivos convencionales. Otra medida interesante propone que la fiscalidad fomente el uso de hidrógeno verde en lugar de hidrógeno estrictamente no renovable. Por otro lado, pretende proporcionar herramientas a la industria para garantizar un control completo sobre el suministro, la logística y la recopilación de datos de uso de hidrógeno. Con el fin de lograrlo, se plantea la creación de un sistema que recoja de manera exhaustiva todos los datos relacionados con el consumo y la producción de hidrógeno nacional, clasificados de acuerdo con el tipo de obtención y el sector de consumo correspondiente. En cuanto al transporte por carretera, se proponen medidas para incentivar la compra de vehículos propulsados por hidrógeno, como el apoyo a la compra de flota de autobuses o coches de policía, etc. También pretende facilitar el despliegue de las plantas de hidrógeno mediante el desarrollo de una normativa específica que establezca las autorizaciones y condiciones necesarios para su instalación.

La infraestructura existente para el transporte de hidrógeno presenta una variedad de opciones, las cuales están influenciadas por el tiempo transcurrido entre la producción y el consumo, así como los requisitos de almacenamiento. A continuación, se exponen las siguientes posibilidades (20):

- Sustancias portadoras de hidrógeno, como el amoníaco o líquidos orgánicos (LOHC): Utilizar la infraestructura existente otras sustancias líquidas en las que se puede convertir el hidrógeno, como por ejemplo el amoníaco.
- Hidrógeno en estado gaseoso: Se puede almacenar como hidrógeno comprimido, pero resulta costoso debido a su baja densidad. Además, el transporte por medio de hidroductos, es decir, gaseoductos dedicados al hidrógeno, también es una posibilidad.
- Hidrógeno licuado: El hidrógeno licuado, debido a su necesidad de un considerable suministro energético para mantenerse en estado líquido, se caracteriza por presentar limitaciones en términos de eficiencia cuando se utiliza para transportar largas distancias.

- **Hidrógeno combinado:** Esta opción implica la producción de combustibles sintéticos que exhiben propiedades comparables a las de los combustibles fósiles. Un ejemplo de ello es el empleo del hidrógeno como componente principal, junto con CO₂, para generar metano sintético.

No obstante, para llevar a cabo la implementación de cualquiera de las alternativas mencionadas previamente, es imperativo disponer de una cadena de abastecimiento capaz de satisfacer la demanda. Por otro lado, es importante destacar que en la actualidad solo hay 12 estaciones de hidrógeno en funcionamiento en España. Sin embargo, se espera que en un futuro cercano se sumen otras 12 estaciones que se encuentran actualmente en construcción (65).

En España, destacan dos actores principales en la producción de hidrógeno: Repsol y Enagás. Ambas compañías han adoptado un enfoque comprometido con la transición hacia una matriz energética más sostenible y limpia.

Repsol ha decidido priorizar la producción de hidrógeno mediante el uso de fuentes renovables como parte integral de su estrategia. Esta iniciativa demuestra su compromiso con la generación de energía más limpia y su papel en la reducción de emisiones contaminantes. Como parte de su enfoque, Repsol ha llevado a cabo proyectos de producción de hidrógeno utilizando tecnologías de electrólisis del agua, que aprovechan energía solar y eólica. La compañía opera una planta de producción de hidrógeno renovable en el Complejo Industrial de Puertollano, en Ciudad Real, con una capacidad anual de 400 toneladas. (66)

Por otro lado, Enagás también ha incursionado en el ámbito de la producción de hidrógeno. En su afán por promover el uso de energías limpias, Enagás ha participado en diversos proyectos relacionados con la producción de hidrógeno. Entre sus acciones destacan la instalación de plantas piloto de producción de hidrógeno renovable y el desarrollo de infraestructuras para su transporte y almacenamiento. Como parte de sus esfuerzos, Enagás ha sido un actor clave en el proyecto Green Hysland, que tiene como objetivo establecer una cadena de valor completa de hidrógeno verde en la isla de Mallorca (67).

3.1.4.3 Normativa

En 1990 se estableció el comité internacional ISO "TC 197 Hydrogen technologies" (68) con el propósito de regularizar los sistemas de producción, reparto y depósito de hidrógeno en diversas industrias. Los países que forman parte de esta comisión son Canadá, Estados Unidos, Alemania, Francia, Italia, Noruega, Suecia, Argentina y Japón.

Esta comisión ha desarrollado estándares de relevancia internacional para el hidrógeno. Por ejemplo, la norma ISO TR 15916:2004 (69) describe los aspectos básicos de protección de los sistemas de hidrógeno. Además, la norma ISO 16110-2 se ocupa de los generadores de hidrógeno que emplean tecnología de tratamiento de combustible. Además, con el fin de promover la energía del hidrógeno, se publicó en el BOE (Boletín Oficial del Estado) el decreto "TED/1444/2021, de 22 de diciembre", por el que se constituyen las bases legales para la aprobación de ayudas como parte de un programa de incentivo al valor cadena de conocimiento e innovación del hidrógeno renovable, como parte del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

3.1.5 ELECTRICIDAD

3.1.5.1 Introducción y obtención

El uso de electricidad como método de propulsión en camiones se puede lograr por varios métodos. Sin embargo, es mejor que esta energía provenga de fuentes renovables para evitar emisiones contaminantes durante la generación de electricidad.

Si bien la tecnología eléctrica puede parecer muy limpia a primera vista, es importante tener en cuenta que se requieren baterías para almacenar energía en los camiones. El impacto ambiental de estas baterías depende de los materiales utilizados para fabricarlas. Los tipos más comunes de baterías utilizadas en el transporte incluyen plomo ácido, hidruro metálico de níquel y iones de litio (70). De manera específica, las baterías de iones de litio están experimentando un aumento en su popularidad en el ámbito del desarrollo de vehículos eléctricos, gracias a las características que presentan.

En la siguiente imagen se puede observar un análisis comparativo de los índices de producción de litio en diferentes regiones del mundo.

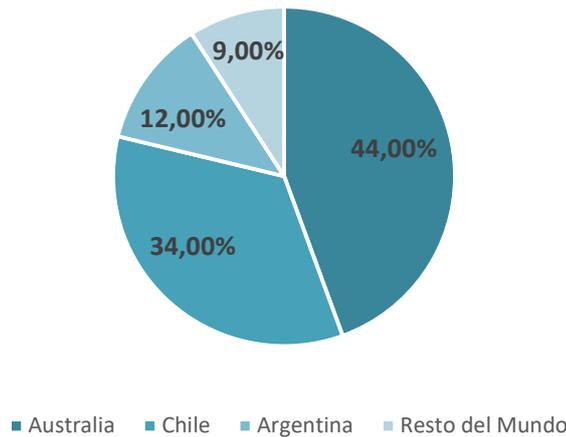


Imagen 7. La proporción de producción de litio a nivel global (71)

Se puede observar que la elaboración y manipulación de litio se concentra esencialmente en tres países, siendo Australia el mayor productor con casi el 50% de la producción total. Por otro lado, los países que no son ni Chile, ni Argentina, ni Australia, contribuyen apenas con un 9% de la producción mundial (72).

Es importante tener en consideración una desventaja relacionada con las baterías eléctricas, la cual está vinculada a su peso, dado que este factor restringe la carga total que pueden transportar los camiones.

3.1.5.2 Mercado e infraestructura en España

En la actualidad, el sector de la movilidad eléctrica está experimentando un rápido crecimiento a nivel mundial. Muchas empresas están considerando convertir su producción de vehículos a un método totalmente eléctrico en los próximos años. Este desarrollo también se está produciendo en el sector de los camiones, donde la electrificación es una prioridad gracias a la implantación de la nueva Euroviñeta, que reducirá los peajes de estos vehículos en al menos un 50% (73).

Si la autonomía de las baterías es uno de los retos del transporte de mercancías, la falta de infraestructura de carga es aún más relevante. Como señala Martin Lundstedt, CEO de Volvo Group: “Ninguna empresa de transporte compra un camión a batería si no logra cargar la batería de manera eficiente” (74).

En España, actualmente existen 12.149 puntos de recarga eléctricos, mientras que en el resto de Europa se cuentan con 203.000 ubicaciones para la recarga. Países Bajos, Francia y Alemania lideran el número de puntos de recarga en Europa, representando el 70% del total (75).

3.1.5.3 Normativa

Se están implementando diversas medidas para impulsar el sector del transporte eléctrico, entre las cuales se han destacado en este proyecto las siguientes.

El Real Decreto 1053/2014 (76), de 12 de diciembre, que aprueba una nueva ITC BT 52 "Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos" del Reglamento electrotécnico para baja tensión, implica modificaciones en otras instrucciones técnicas complementarias preexistentes.

El Real Decreto 983/2021 (77), de 16 de noviembre, aprueba la concesión directa de subvenciones a las comunidades autónomas, así como a las ciudades de Ceuta y Melilla, con el propósito de transformar las flotas de transporte de pasajeros y mercancías del sector privado que brindan servicios de transporte terrestre, así como aquellas empresas dedicadas al transporte privado complementario. Estas subvenciones forman parte del marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Una medida adicional que busca beneficiar al transporte eléctrico es la rectificación del Reglamento General de Conductores. “Se concede la autorización a los conductores que posean un permiso de conducir B con al menos dos años de antigüedad para operar furgonetas eléctricas con una Masa Máxima Autorizada de 4.250 kilogramos, lo que supone un aumento de 750 kg con respecto a la normativa anterior” (78). Esta modificación tiene

como objetivo equilibrar el peso adicional de las baterías. Se espera que esta medida sienta un precedente para la implementación de cambios similares en el ámbito de los camiones.

3.1.6 TABLA COMPARATIVA

ALTERNATIVA	OBTENCIÓN	PRECIO 2023	INFRAESTRUCTURA	NORAMTIVA	COMENTARIOS
DIESEL	Petróleo	1,7 €/L	7856 gasolineras en España.	Reglamento 595/2009 para los Estados Miembros de la UE además de la EURO VI que hace referencia vehículos pesados.	2040 es el límite de venta al mercado de estos vehículos.
BIODIESEL	Aceite vegetal o animal	1,31 €/L	36 gasolineras en España.		Existe la posibilidad de combinarlo con gasóleo en la proporción deseada.
HVO	Aceite vegetal hidrotratado	-	-		90% menos contaminante que el diésel convencional.
GLP	Petróleo y gas natural	0,896 €/L	862 gasolineras en España.	Calidad del GLP según DIN EN 58.	Combina depósito de gas con el de gasolina.
GNC	Metano	1,42 €/L	132 gasolineras en España.	Directiva 2014/94/UE en Europa y los Real Decreto 639/2016 y 235/2018 en España.	Declive debido a conflictos políticos y auge de otros combustibles..
GNL	Metano	1,25 €/L	92 gasolineras en España.		
HIDROGENO	Tanto recursos fósiles como renovables. En general requiere gas natural en los fósiles y agua en los renovables.	-	11 hidogeneras en activo y 12 en construcción en España.	Comité internacional ISO TC 197. A este lo completan algunas como ISO TR 15916:2004 o ISO 16110-2.	Todavía en fase inicial todavía catalogada como actividad industrial. Puede ser Verde, Gris o Azul.
ELECTRICIDAD	Producto de multitud de procesos, aunque lo ideal sería que fueran limpios.	-	12149 puntos de recarga en España.	Modificación del Reglamento General de Conductores, Real Decreto 1053/2014 junto a ITC BT 52.	Necesidad de baterías pesadas. La industria del litio se reduce a 3 países. El principal problema es la

					autonomía de estos vehículos.
--	--	--	--	--	-------------------------------

3.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es llevar a cabo un análisis económico de la descarbonización en el sector de la logística terrestre en España. Con el fin de focalizar nuestro análisis en un grupo selecto de empresas dedicadas al transporte logístico, se procederá a examinar las cinco principales empresas del sector en España como punto de partida. A partir de este análisis inicial, se plantearán hipótesis que permitan explorar la viabilidad de la incorporación de combustibles alternativos en esta industria. Se comparará el estado actual del sector, denominado "Escenario Base", con posibles escenarios en los que los combustibles alternativos ganen cuota de mercado en el transporte logístico.

Para seleccionar estas hipótesis, se llevará a cabo una investigación sobre la logística terrestre en países líderes en descarbonización, con el objetivo de obtener información sobre las facilidades, dificultades, ayudas e incentivos relacionados con la adopción de vehículos que utilicen combustibles alternativos en este sector. Además, dado el contexto de inestabilidad geopolítica a nivel mundial, será necesario considerar cómo estos factores afectan directamente los precios de algunos combustibles. Por último, se deberá evaluar la infraestructura existente en España para la gestión y suministro de combustibles alternativos a los usuarios del sector.

4 ESTUDIO ECONÓMICO

En esta sección se describirá el proceso de elaboración del estudio económico para el presente proyecto. A través de este proceso se obtendrán las conclusiones que se presentarán en el siguiente capítulo acerca de la descarbonización del transporte terrestre de mercancías.

4.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

Para llevar a cabo un estudio económico en el sector del transporte terrestre de mercancías, se ha desarrollado una herramienta específica que analiza a las cinco principales empresas de logística en España en relación con diferentes escenarios. Esta herramienta ha sido creada utilizando Microsoft Excel y los escenarios consideran la cantidad de camiones diésel, GLP, eléctricos y de hidrógeno existentes en el sector.

En el análisis se tienen en cuenta el número de camiones y la facturación de cada una de las empresas analizadas, así como los impuestos, la inflación del mercado, el tipo y número de viajes anuales y los costes fijos. Además, dependiendo del escenario seleccionado, se obtendrán resultados económicos totalmente diferentes debido a las distintas inversiones o costes variables considerados para cada modelo de combustión. Estos detalles se presentarán de manera más precisa en los próximos apartados.

Para comparar los diferentes escenarios y obtener resultados económicos, se han seleccionado una serie de factores económicos, que incluyen la inversión total, el valor presente, el valor presente neto, el período de recuperación y la tasa interna de retorno.

Es importante destacar que la herramienta está diseñada para obtener automáticamente diferentes resultados en caso de que se desee analizar otro tipo de contexto, como diferentes empresas, impuestos, inflación, tipo y número de viajes por camión, costes fijos, costes variables o modelos de camiones. Para permitir esta flexibilidad, se han dividido las hojas donde se introducen los datos en "Input" y "Output". Esto facilita la modificación

del contexto, ya que los únicos datos que se deben cambiar son aquellos resaltados en color "azul", ya que son los que influyen directamente en los resultados "Output". A continuación, se puede observar un ejemplo de esto ya que al cambiar el precio (en azul) del peaje, en euros/km, también cambia su output, lo que repercutirá en los cálculos de otras hojas y, por su puesto, en el resultado final

INPUT DE DATOS DIESEL			OUTPUT		
Datos de operación			Días de Viaje		
Horas disponibles de conducción	horas / día	8	Días por viaje Real	Días	3
Horas disponibles de conducción	horas / mes	200			
Horas de conducción (óptimas)	horas / día	9			
Días de viaje (óptimos)	Días	2			
Km x viaje	Km	1000			
Peaje Diesel	€/ km	0,20			
Datos de vehículo			Costes Variables		
Modelo	Scania R500			Km x viaje	1000,00
Inversión	€	130000	Combustible	€/ km	0,36 €
Ayuda económica	€	0	Aceite	€/ km	0,02 €
			Neumáticos	€/ km	0,05 €
			Mantenimiento	€/ km	0,17 €
			COSTE VARIABLE	€/ km	0,60 €
			Peajes	x Viaje	29,63 €
INPUT DE DATOS DIESEL			OUTPUT		
Datos de operación			Días de Viaje		
Horas disponibles de conducción	horas / día	8	Días por viaje Real	Días	3
Horas disponibles de conducción	horas / mes	200			
Horas de conducción (óptimas)	horas / día	9			
Días de viaje (óptimos)	Días	2			
Km x viaje	Km	1000			
Peaje Diesel	€/ km	0,10			
Datos de vehículo			Costes Variables		
Modelo	Scania R500			Km x viaje	1000,00
Inversión	€	130000	Combustible	€/ km	0,36 €
Ayuda económica	€	0	Aceite	€/ km	0,02 €
			Neumáticos	€/ km	0,05 €
			Mantenimiento	€/ km	0,17 €
			COSTE VARIABLE	€/ km	0,60 €
			Peajes	x Viaje	14,81 €

Imagen 8.. Reflejo en Output tras cambio en Input. Fuente: elaboración propia

4.2 DISEÑO DE LA HERRAMIENTA

En el presente apartado se abordará la explicación de la herramienta desarrollada para la ejecución de este proyecto. Se ha diseñado con el propósito de analizar, a corto plazo, la inversión requerida por las cinco principales empresas de transporte de mercancías terrestres para actualizar sus flotas hacia un escenario de mínima emisión de carbono.

Es importante resaltar que, dado que los costes variables del transporte dependen del número de kilómetros recorridos anualmente por cada camión, se ha asumido que se utilizará

el mismo número de viajes para comparar distintos escenarios. No obstante, la herramienta está configurada para analizar cualquier cantidad de viajes por camión que el usuario desee.

La herramienta, desarrollada en Microsoft Excel, consta de un total de 11 hojas interconectadas, las cuales se presentarán a continuación.

4.2.1 HOJA 1: SUMMARY

La primera y principal hoja de la herramienta es aquella donde se presentan los resultados económicos obtenidos una vez que se ha creado el escenario deseado. Además, desde esta hoja es posible seleccionar el escenario a analizar, ingresar datos de las empresas seleccionadas para representar el sector de transporte terrestre de mercancías en España, o programar el viaje deseado para su análisis. En la siguiente imagen se pueden observar los apartados mencionados, destacados en color azul, ya que son los datos modificables, mientras que el resto dependen de estos a través de conexiones entre hojas y/o fórmulas.

INPUT			
SELECCIÓN DE ESCENARIO			
Escenario a analizar	Escenario 12	Inflación anual	3,2%
Número de viajes al año	300 viajes	Ganancia por viaje por camión	821,09 €
Variación anual de facturación	1,2%	Impuestos anuales	21%
DATOS DEL ESCENARIO SELECCIONADO			
% Camiones Diesel	% Camiones GLP	% Camiones Electricos	% Camiones Hidrógeno
10,0%	15,0%	45,0%	30,0%
EMPRESAS A ESTUDIAR			
Empresa	Posición en el sector	Facturación al año	Numero de camiones
Primafrío SL	1	489.300.000,00 €	2.100
GLS Spain	2	400.600.000,00 €	450
Acotral SA	3	309.400.000,00 €	2.400
Transportes Sesé SL	4	296.000.000,00 €	1.500
Carreras SL	5	241.300.000,00 €	600
VIAJE A ESTUDIAR			
Horas/día disponibles conducción	8	Km x viaje	667 Km
Horas/día de conducción (óptimas)	8	Número de viajes al año	300 viajes
Días de viaje (óptimos)	1	Horas/mes de conducción permitidas	180 horas

Imagen 9. Inputs para la selección del escenario deseado para analizar. Fuente: elaboración propia

En cuanto a la selección de escenarios, existen varios elementos que se pueden modificar. El más destacado es el menú desplegable "Escenario a analizar", que representa el porcentaje de camiones de cada tipo presentes en el mercado (diésel, GLP, eléctrico o de hidrógeno). Además, es posible ajustar otras variables como la tasa de inflación, la cual se ha considerado en un 3,2% durante el último año (79). También se pueden modificar los impuestos, que se han establecido en un 21% en el sector de transporte de mercancías (80), y la variación anual de la facturación de las empresas del sector, estimada en un 1,2% en comparación con el año anterior.

En cuanto a los datos que deben proporcionarse sobre las empresas seleccionadas, se requiere el número de camiones pesados con los que cada una opera, así como su facturación anual. Estos datos han sido recopilados en el apartado 2.2.2 "Los Grandes Transportistas en España". Utilizando la facturación anual, el número de viajes al año y el número de camiones, es posible calcular la ganancia por viaje y por camión. Para obtener la ganancia por viaje, se divide la facturación anual entre el número total de viajes realizados en ese período. Mientras que, para obtener la ganancia por camión, se divide dicho cociente entre el número de camiones operativos.

Como última sección de inputs en esta hoja, se encuentra la sección "Viaje a estudiar". Debido a que los costes variables del transporte de mercancías están relacionados con los kilómetros recorridos por cada camión a lo largo del año, desde aquí se puede configurar el número de viajes que se desean analizar anualmente o las horas de conducción permitidas por conductor al mes. En este caso, se ha seleccionado un límite de 180 horas de conducción mensuales debido a que, según el Artículo 6.3 del Reglamento (CE) n.º 561/2006, el tiempo de conducción en dos semanas consecutivas no puede exceder las 90 horas. Los kilómetros por viaje y por camión se obtienen dividiendo los 200.000 km que, en promedio, recorre un camión al año (81) entre el número de viajes considerados anualmente.

Los resultados económicos obtenidos se presentarán y analizarán en el siguiente capítulo de este proyecto, denominado Capítulo 5: Análisis de Resultados. Se examinarán en detalle los hallazgos derivados de la herramienta desarrollada, con el objetivo de brindar

una comprensión completa de los impactos económicos relacionados con la actualización de las flotas de las empresas logísticas de transporte de mercancías terrestres.

Además, se realizará un análisis de las emisiones de dióxido de carbono, tanto a nivel individual de cada empresa analizada como a nivel sectorial. Se compararán dichas emisiones en función del escenario seleccionado.

4.2.2 HOJA 2: ESCENARIOS

La segunda hoja de la herramienta se enfoca en los diversos escenarios que serán objeto de estudio. Cada uno de estos escenarios simula un contexto diferente en el sector, reflejando una distribución de camiones diésel, GLP, eléctricos y de hidrógeno específica. Se tiene la opción de añadir tantos escenarios como sea necesario en esta hoja. Para cada escenario, se deben introducir los porcentajes correspondientes a cada tipo de combustible, y la herramienta indicará mediante el uso de color verde si los porcentajes son correctos (suman 100%) o rojo si son incorrectos (no suman 100%).

En la siguiente imagen se presenta un ejemplo de posibles escenarios, siendo el "Escenario Base" la distribución actual de camiones según su combustible en España, donde el 99,1% corresponde a camiones diésel, el 0,8% a camiones GLP y el porcentaje restante a camiones eléctricos (82). La imagen proporcionada se presenta únicamente como un ejemplo ilustrativo que permite observar cómo la herramienta señala mediante el uso del color rojo la inexactitud de un escenario impuesto.

INPUT DE DATOS					
CAMIONES DE CADA TIPO SEGÚN ESCENARIOS					
	% Camiones Diesel	% Camiones GLP	% Camiones Electricos	% Camiones Hidrógeno	Suma
Escenario 1	90,0%	7,0%	3,0%	0,0%	100,0%
Escenario 2	80,0%	10,0%	0,0%	0,0%	90,0%
Escenario 3	90,0%	10,0%	3,0%	1,0%	104,0%

Imagen 10. Ejemplo de escenarios según su tipo de tecnología. Fuente: elaboración propia.

En el capítulo 5 del presente documento se presentan los escenarios que serán analizados, los cuales se muestran en la siguiente imagen. El análisis se iniciará con la evaluación del "Escenario Base" mencionado previamente. A continuación, se presentarán cuatro escenarios en los cuales cada una de las cuatro tecnologías dominará el mercado por completo. Por último, se analizarán trece escenarios en los cuales la descarbonización del sector adquiere un papel cada vez más relevante.

INPUT DE DATOS

CAMIONES DE CADA TIPO SEGÚN ESCENARIOS

	% Camiones Diesel	% Camiones GLP	% Camiones Electricos	% Camiones Hidrógeno	Suma
Escenario Base	99,1%	0,8%	0,1%	0,0%	100,0%
Escenario Diésel	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Escenario GLP	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Escenario Eléctrico	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
Escenario Hidrógeno	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Escenario 1	90,0%	7,0%	3,0%	0,0%	100,0%
Escenario 2	85,0%	10,0%	5,0%	0,0%	100,0%
Escenario 3	70,0%	20,0%	10,0%	0,0%	100,0%
Escenario 4	60,0%	25,0%	10,0%	5,0%	100,0%
Escenario 5	50,0%	30,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 6	40,0%	40,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 7	30,0%	40,0%	25,0%	5,0%	100,0%
Escenario 8	30,0%	30,0%	30,0%	10,0%	100,0%
Escenario 9	30,0%	30,0%	20,0%	20,0%	100,0%
Escenario 10	20,0%	20,0%	40,0%	20,0%	100,0%
Escenario 11	15,0%	15,0%	40,0%	30,0%	100,0%
Escenario 12	10,0%	15,0%	45,0%	30,0%	100,0%
Escenario Extra	5,0%	15,0%	35,0%	45,0%	100,0%

Imagen 11. Escenarios según tecnología que se analizarán en el proyecto. Fuente: elaboración propia.

4.2.3 HOJA 3: COSTES FIJOS

La tercera hoja de la herramienta muestra los costes fijos por camión. Se han considerado los mismos costes fijos para cada uno de los diferentes tipos de propulsión. Los costes fijos considerados son los siguientes:

- Sueldo del conductor: Se ha establecido un sueldo medio de 2500 euros brutos al mes para un conductor de camión pesado. (83).

- Bonos al conductor: El Gobierno, a través de la Agencia Estatal de Administración Tributaria, gestionará ayudas destinadas al sector del transporte, excluyendo a las comunidades autónomas del País Vasco y Navarra. El Ejecutivo ha establecido cuantías individuales para cada grupo, considerando el número y tipo de vehículos operados por cada beneficiario. En el caso de los camiones (MDPE) utilizados para el transporte de mercancías pesadas, el importe de la ayuda será de 1250 euros (84).
- Número de conductores por camión. Para este contexto se ha supuesto solamente uno.
- Costes administrativos: Estos gastos incluyen actividades de comercialización, publicidad y administración que no están directamente relacionadas con la actividad de transporte en sí, pero que forman parte del funcionamiento diario de la empresa. En el caso de las empresas de transporte de mercancías, estos costes administrativos tienen un promedio anual de alrededor de 8.000 euros (85).
- Seguro obligatorio: Los costes del seguro pueden variar según varios factores, como la edad del conductor, el historial de conducción, la antigüedad y condición del vehículo, el tipo de mercancía transportada y los requisitos del estado. A continuación, se muestra una tabla que proporciona una estimación aproximada de los costes del seguro para un camión de mercancías:

Tabla 8. Coste promedio de camiones comerciales (86).

TIPO DE SEGURO	COSTE PROMEDIO POR AÑO
Seguro de Responsabilidad Civil Principal	4.500-6.300 euros
Seguro de Daños físicos	1.800-2.730 euros
Seguro de Carga	910 euros deducibles
Seguro de Reefer	2.280 euros deducibles
Seguro de Bobtail	320-370 euros
TOTAL	6.620-12.590 euros

4.2.4 HOJAS 4 A 11: COSTES VARIABLES E INVERSIÓN DE CADA TECNOLOGÍA

Las últimas ocho hojas de cálculo de la herramienta están compuestas por cuatro pares de hojas correspondientes a cada uno de los cuatro tipos de combustibles seleccionados para este proyecto.

A diferencia de la hoja de costes fijos, que se ha considerado común para todas las tecnologías estudiadas, se ha elaborado una hoja de costes variables específica para cada una de las diferentes tecnologías. Por lo tanto, también se ha creado una hoja de inversión correspondiente a cada una de ellas.

4.2.4.1 Costes Variables

La primera hoja de cada par corresponde al análisis de los costes variables asociados a cada camión. Dado que en el transporte de mercancías por carretera, los costes variables del transporte dependen tanto del modelo de camión como del viaje, se ha creado una hoja distinta para cada tipo de combustible. Los modelos de camión seleccionados, que se detallan en profundidad en el Anexo 2 de este documento, son los siguientes:

- Diesel: Scania R500
- GLP: Iveco Stralis NP 460
- Eléctrico: DAF XD Electric
- Hidrogeno: Hyundai XCIENT Fuel Cell

En la siguiente tabla se presentan los parámetros necesarios para determinar los costes variables totales en función de diversas tecnologías de propulsión. Se destaca que los camiones pesados eléctricos y de hidrógeno no requieren aceite en su motor, ya que utilizan motores eléctricos. Respecto al intervalo de cambio de aceite, se ha considerado un cambio cada 10.000 kilómetros (87). Además, el modelo Scania R500 cuenta con un depósito de aceite de 36 litros (88), mientras que el modelo Iveco Stralis NP 460 dispone de un depósito de 25,5 litros (87).

Tabla 9. Resumen de características según tecnología de impulsión. Fuente: elaboración propia.

<i>Modelo</i>	<i>Scania R500</i>	<i>Iveco Stralis NP 460</i>	<i>DAF XD Electric</i>	<i>Hyundai XCIENT Fuel Cell</i>
Consumo	4 km/L	3,67 km/Kg	1,58 km/kWh	12,9 km/Kg
Intervalo cambio aceite	10.000 km	10.000 km	-	-
Aceite	36 L	25,5 L	-	-
Neumáticos	5	5	5	7
Intervalo mantenimiento	15.000 km	15.000 km	15.000 km	15.000 km
Mantenimiento promedio	2.500 €	3.500 €	1.500 €	2.750 €
Intervalo entre reencaches	50.000 km	50.000 km	50.000 km	50.000 km
Número de reencaches	1	1	1	1

En relación con el consumo de combustible de los distintos tipos de camiones, se observa que varía según el tipo de combustible utilizado. A continuación se detallan los consumos obtenidos para cada tipo de camión:

- Camión diésel: El consumo registrado para este modelo es de 4 km por litro de combustible (88).
- Camión GLP: El consumo obtenido para el modelo seleccionado es de 3,67 km por kilogramo de gas GLP (89).
- Camión eléctrico: El camión eléctrico seleccionado logra alcanzar una eficiencia de 1,58 km por cada kilovatio-hora (kWh) de energía consumida (90).
- Camión de hidrógeno: El camión de hidrógeno requiere 1 kilogramo de este gas para recorrer una distancia de 12,9 km (91).

Cada cabeza tractora de los camiones diésel, GLP y eléctrico está equipada con cuatro neumáticos, además de un neumático de repuesto. Por otro lado, el camión de

hidrógeno cuenta con seis neumáticos, además de un neumático de repuesto, lo que suma un total de siete neumáticos. Asimismo, se ha tenido en cuenta un reencauche de neumáticos cada 50.000 km para todos los tipos de camiones analizados (92).

Para asegurar un adecuado mantenimiento, se ha establecido que se realice cada 15.000 km en todos los tipos de camiones analizados (93). Se ha tomado esta decisión al no encontrarse diferencias significativas en los intervalos de mantenimiento entre ellos. Sin embargo, sí existen variaciones en el coste de dicho mantenimiento. A continuación se detallan los precios considerados para cada tipo de camión:

- Camión diésel: El mantenimiento de un camión diésel tiene un coste estimado de 2.500€ (94).
- Camión GLP: El mantenimiento de un camión GLP requiere una inversión de aproximadamente 3.500€ (87).
- Camión eléctrico: Para un camión eléctrico, se estima un gasto de 1.525€ en el mantenimiento (95).
- Camión de hidrógeno: El mantenimiento de un camión de hidrógeno tiene un coste estimado de 2.750€ (95).

Con el fin de llevar a cabo el estudio económico y monetizar todos estos costes variables, es necesario contar con los precios de diversos elementos. Si bien existen otros factores a tener en cuenta para analizar los costes variables de un camión de mercancías, se han considerado los que se presentan en la siguiente tabla como los más relevantes:

Tabla 10. Resumen de precios para obtener costes variables. Fuentes: elaboración propia.

<i>Modelo</i>	<i>Scania R500</i>	<i>Iveco Stralis NP 460</i>	<i>DAF XD Electric</i>	<i>Hyundai XCIENT Fuel Cell</i>
Precio del aceite	5,52 €/L	7,47 €/L	0 €/L	0 €/L
Precio del combustible	1,44 €/L	0,93 €/Kg	0,7 €/kWh	8 €/Kg

Precio del neumático	676 €	676 €	676 €	676 €
Precio del reencauche	405 €	405 €	405 €	405 €
Peajes	0,2 €/Km	0,2 €/Km	0,1 €/Km	0,1 €/Km

Se ha observado que la cantidad de lubricante requerida en un motor eléctrico o de hidrógeno es considerablemente menor en comparación con la necesaria en un motor de combustión, ya sea diésel o GLP. En este sentido, se ha estimado que el coste del lubricante para un camión diésel es de 5,52 euros por litro (96), mientras que para un camión GLP es de 7,47 euros (97).

En relación con el coste de combustible para los diferentes tipos de camiones, se ha observado que varía en función del tipo de combustible utilizado. A continuación se presentan los precios obtenidos para cada tipo de camión:

- Camión diésel: El precio registrado es de 1,44 euros por litro de combustible (48).
- Camión GLP: El precio registrado es de 0,93 euros por kilogramo de gas (48).
- Camión eléctrico: El precio registrado es de 0,7 euros por kilovatio-hora de energía (98).
- Camión de hidrógeno: El precio registrado es de 8 euros por kilogramo de gas (99).

En relación con el coste de los neumáticos y los reencauches, se ha considerado que son iguales sin importar la tecnología del camión. Por lo tanto, el precio de cada neumático se estima en 676 euros (100), mientras que el precio de cada reencauche es de 405 euros (101).

Finalmente, se ha tomado en consideración otro factor relevante: el precio de los peajes en cada trayecto. Dado que no se ha establecido una ruta específica, se ha determinado un coste aproximado. Para calcularlo, se ha tenido en cuenta el porcentaje de vías nacionales que requieren pago. Según los datos proporcionados por el Ministerio de Transportes,

Movilidad y Agenda Urbana, en España se cuenta con 17.551 km de vías de gran capacidad (102), de los cuales 2.600 km están sujetos a peajes (103). En este sentido, se ha considerado que los camiones propulsados por diésel y GLP deben abonar 0,2 euros por cada kilómetro recorrido en una vía de peaje (104). Por otro lado, los camiones eléctricos o de hidrógeno están sujetos a la mitad de dicho importe (105), es decir, 0,1 euros por kilómetro. El cálculo del coste variable estimado se basa en el mencionado porcentaje de vías de pago, la distancia total a considerar y el coste por kilómetro según la tecnología empleada en los camiones seleccionados.

Una vez que se disponen de los costes fijos, obtenidos de la hoja de costes fijos, así como los costes variables, que dependen del viaje establecido en la primera hoja, se requerirá una serie de datos de entrada para analizar la inversión económica en un camión. Por esta razón, se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de cada uno de los modelos de camiones, en el cual se han determinado los siguientes aspectos: la inversión inicial de compra, las posibles ayudas económicas para dicha adquisición, el tiempo horizonte o período durante el cual se utilizará el camión, la depreciación, el valor residual, el precio de una eventual venta una vez que se deje de utilizar, y, finalmente, las emisiones de GEI.

Tabla 11. Resumen monetario de cada tipo de camión para analizar la inversión. Fuente: elaboración propia.

<i>Modelo</i>	<i>Scania R500</i>	<i>Iveco Stralis NP 460</i>	<i>DAF XD Electric</i>	<i>Hyundai XCIENT Fuel Cell</i>
Combustible	Diesel	GLP	Eléctrico	Hidrógeno
Inversión	130.000 €	114.000 €	145.000 €	150.000 €
Ayuda económica	0 €	0 €	7.000 €	7.000 €
Tiempo horizonte	10 años	10 años	10 años	10 años
Depreciación	20 años	17 años	15 años	12 años
Valor residual	10%	10%	10%	10%
Precio de venta	35.000€	47.900€	66.700€	69.100€
Emisiones de CO ₂	0,764 kg CO ₂ /Km	0,649 kg CO ₂ /Km	0 kg CO ₂ /Km	0 kg CO ₂ /Km

Como puede observarse, se ha considerado que todos los camiones formarán parte de la flota de cada empresa durante un período de 10 años. No obstante, la vida útil de los vehículos puede variar según diversos factores, como el modelo, la marca, el mantenimiento, la forma de conducción e incluso el clima. Sin embargo, se recomienda tomar medidas preventivas y reemplazar los camiones cuando alcancen los 10 años de antigüedad (106).

Además, en todos los casos se ha supuesto que el valor residual, que se refiere al valor de un bien específico después de haber aplicado su depreciación debido a la amortización a lo largo de su vida útil, es del 6% (107).

En la siguiente imagen se puede apreciar cómo se presenta la hoja de costes variables correspondiente al modelo de camión diésel. Las demás hojas relacionadas con los costes variables de otras tecnologías se encuentran detalladas en el Anexo 3 de este documento.

INPUT DE DATOS DIESEL			OUTPUT		
Datos de operación			Días de Viaje		
Horas disponibles de conducción	horas / día	8	Días por viaje Real	Días	1,5
Horas disponibles de conducción	horas / mes	180			
Horas de conducción (óptimas)	horas / día	8	Costes Variables		
Días de viaje (óptimos)	Días	1	Km x viaje	666,67	
Km x viaje	Km	666,6666667	Combustible	€/ km	0,36 €
Peaje Diesel	€/ km	0,20	Aceite	€/ km	0,02 €
			Neumáticos	€/ km	0,05 €
			Mantenimiento	€/ km	0,17 €
Datos de vehiculo			COSTE VARIABLE	€/ km	0,60 €
Modelo	Scania R500		Peajes		
Inversión	€	130000	x Viaje		19,75 €
Ayuda económica	€	0	Indicadores		
Coste Real	€	130000	Costes fijos	€/ hora	21,57
Tiempo Horizonte	Años	10	Costes variables	€/ km	0,60
Depreciación	Años	20	Euros		
Valor Residual	%	6%	Costes fijos por viaje	258,79 €	39%
Precio de Venta	€	35000	Costes variables por viaje	399,45 €	61%
Emissiones de CO2	kg CO2/km	0,764	Coste total por viaje	677,99 €	
Consumo de combustible	Km / Litro	4,016064257	Euros		
Intervalo entre cambio de aceite	Km	10000	Costes fijos por viaje	258,79 €	39%
Aceite por cambio	Litro	36	Costes variables por viaje	399,45 €	61%
Número de neumáticos	-	5	Coste total por viaje	677,99 €	
Mantto promedio	€	2500	Euros		
Intervalo entre reencaches	Km	50000	Costes fijos por viaje	258,79 €	39%
Número de reencaches	-	1	Costes variables por viaje	399,45 €	61%
Km para mantto.	Km	15000	Coste total por viaje	677,99 €	
Peajes x viaje	€/ Viaje	19,75196095	Euros		
Datos de mercado sobre el camión			Coste total asumido al año	€	203.398,05 €
Precio del aceite	€/ Litro	5,52	Emisiones al año	kg CO2	152.800 kg
Precio del combustible	€/ Litro	1,44			
Precio de neumático	€	675,9			
Precio del reencache	€	405,54			

Imagen 12. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo diésel. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, una vez que se introduzcan los datos correspondientes, se obtendrán los resultados necesarios para calcular tanto el coste total anual asumido, es decir, el coste variable para los viajes propuestos según cada tecnología más el coste fijo, como las emisiones generadas en kg de CO₂. Los cálculos y operaciones realizadas se detallan en el Anexo 3 de este documento.

4.2.4.2 Inversión

Una vez recopilados todos los datos necesarios para llevar a cabo el estudio económico, se destinará la segunda hoja de cada par (dos hojas por cada tecnología estudiada) al análisis de la inversión en cada tipo de camión.

Para realizar este análisis, también serán requeridos algunos ratios empresariales que se consideran comunes para cada tipo de tecnología. Esto se debe a que el tipo de camión no

afecta a dichos ratios. Los ratios necesarios para analizar la inversión de un camión son los siguientes:

- **Días de inventario en el almacén:** es un indicador financiero que se utiliza para medir la eficiencia con la que una empresa gestiona su inventario y la rapidez con la que convierte su inventario en ventas. Este ratio calcula el número promedio de días que el inventario de una empresa permanece en su almacén antes de ser vendido. En este caso se han supuesto 90 días.
- **Días de cobro:** mide el promedio de días que una empresa tarda en cobrar sus cuentas por cobrar o ventas a crédito. Este ratio proporciona información sobre la eficiencia de la gestión de crédito y cobro de una empresa. En este proyecto se han supuesto 60 días.
- **Ratio de efectivo:** se utiliza para evaluar la capacidad de una empresa para cumplir con sus obligaciones de corto plazo utilizando únicamente sus activos líquidos, es decir, el efectivo y los equivalentes de efectivo. Se ha impuesto un 40%.
- **Días para pagar a proveedores:** se utiliza para medir el promedio de días que una empresa tarda en pagar a sus proveedores por las compras a crédito o las obligaciones pendientes. Se han considerado 70 días.
- **Días para pagar a acreedores:** se utiliza para medir el promedio de días que una empresa tarda en pagar a sus acreedores por las obligaciones a corto plazo pendientes, como facturas o préstamos. En este caso se han supuesto 30 días.

A través de un análisis de inversión año tras año, considerando un horizonte temporal de 10 años, en cada una de las hojas de inversión se obtendrán una serie de factores económicos que permitirán realizar comparaciones entre las diferentes inversiones en las distintas tecnologías. Los factores económicos que se considerarán son los siguientes:

- **Present Value:** el Valor Presente compara el valor actual de los flujos de efectivo generados por una inversión con el coste inicial de la misma. Si el Valor Presente es positivo, indica que la inversión es rentable, ya que los flujos de efectivo generados superan su coste actualizado.

- **Net Present Value:** el Valor Actual Neto es similar al Valor Presente, pero también tiene en cuenta una tasa de descuento para reflejar el coste de oportunidad de los fondos invertidos. Un NPV positivo indica que la inversión es rentable, ya que los flujos de efectivo descontados superan el coste inicial, considerando el valor temporal del dinero.
- **Payback Period:** el Período de Recuperación es el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los flujos de efectivo generados. Un período de recuperación más corto puede indicar una mayor rentabilidad, ya que la inversión se recupera más rápidamente.
- **Internal Rate of Return:** la Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto sea igual a cero. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada, se considera que la inversión es rentable.

En la imagen adjunta se muestra la presentación de la hoja de inversión correspondiente al modelo de camión diésel, que contiene los datos mencionados en esta sección. Las demás hojas relacionadas con las inversiones en otras tecnologías se encuentran detalladas en el Anexo 4 de este documento.

Investment: 130.000,00	Period	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time Horizon: 10 years	Variation		300	304	307	311	315	318	322	326	330	334
Units: 300	Inflation		821,09	847,36	874,48	902,46	931,34	961,14	991,90	1.023,64	1.056,40	1.090,20
Variation: 1,2%	DOL											
Unit Price: 821,09	Break even											
Inflation: 3,2%												
Operating Expenses: 203.398,05												
% of COGS(out of total costs): 60,7%												
% COGS: 50,1%												
	Revenues	246.326,24	257.259,19	268.677,38	280.602,35	293.056,61	306.063,63	319.647,96	333.835,22	348.652,16	364.126,74	
	- COGS	123.430,02	128.908,33	134.629,80	140.605,21	146.845,83	153.363,44	160.170,32	167.279,32	174.703,84	182.457,90	
	- SG&A	79.968,04	82.527,02	85.167,88	87.893,25	90.705,84	93.608,42	96.603,89	99.695,22	102.885,47	106.177,80	
	EBITDA	42.928,19	45.823,83	48.879,69	52.103,89	55.504,94	59.091,77	62.873,75	66.860,68	71.062,85	75.491,04	
Depreciation: 20 years	- Depreciation	6.110,00	6.110,00	6.110,00	6.110,00	6.110,00	6.110,00	6.110,00	6.110,00	6.110,00	6.110,00	
Salvage Value: 6,0%	Pretax Profit	36.818,19	39.713,83	42.769,69	45.993,89	49.394,94	52.981,77	56.763,75	60.750,68	64.952,85	69.381,04	
Taxes: 21%	- Taxes	7.731,82	8.339,91	8.981,64	9.658,72	10.372,94	11.126,17	11.920,39	12.757,64	13.640,10	14.570,02	
	NOPAT	29.086,37	31.373,93	33.788,06	36.335,17	39.022,00	41.855,60	44.843,36	47.993,04	51.312,75	54.811,02	
	Book Value	130.000,00	123.890,00	117.780,00	111.670,00	105.560,00	99.450,00	93.340,00	87.230,00	81.120,00	75.010,00	68.900,00
Selling price: 35.000,00	Capex	(130.000,00)										35.000,00
	Taxes											7.119,00
	NCS	(130.000,00)										42.119,00
Days in inventory: 90 days	Inventory	30.434,80	31.785,62	33.196,39	34.669,78	36.208,56	37.815,64	39.494,05	41.246,96	43.077,66	44.989,62	
Collection Period: 60 days	Acc. Receivable	40.491,98	42.289,18	44.166,14	46.126,41	48.173,69	50.311,83	52.544,87	54.877,02	57.312,68	59.856,45	
Cash Ratio: 40%	Cash	12.097,69	12.602,08	13.127,81	13.675,79	14.247,00	14.842,40	15.463,06	16.110,04	16.784,47	17.487,55	
Payables Due: 70 days	Payables	23.671,51	24.722,15	25.819,41	26.965,38	28.162,21	29.412,17	30.717,60	32.080,97	33.504,85	34.991,93	
Accrued Due: 30 days	Accrued	6.572,72	6.783,04	7.000,10	7.224,10	7.455,27	7.693,84	7.940,05	8.194,13	8.456,34	8.726,94	
	- NWC	(52.780,25)	(55.171,68)	(57.670,83)	(60.282,50)	(63.011,76)	(65.863,87)	(68.844,34)	(71.958,92)	(75.213,63)	(78.614,75)	
	- ΔNWC	(52.780,25)	(2.391,44)	(2.499,14)	(2.611,68)	(2.729,26)	(2.852,11)	(2.980,47)	(3.114,58)	(3.254,71)	(3.400,00)	75.213,65
	OCF	35.196,37	37.483,93	39.898,06	42.445,17	45.132,00	47.965,60	50.953,36	54.103,04	57.422,75	60.921,02	
	NCS	(130.000,00)										42.119,00
	ΔNWC	(52.780,25)	(2.391,44)	(2.499,14)	(2.611,68)	(2.729,26)	(2.852,11)	(2.980,47)	(3.114,58)	(3.254,71)	(3.400,00)	75.213,65
	Free Cash Flow	(130.000,00)	(17.583,88)	35.092,49	37.398,92	39.833,50	42.402,75	45.113,49	47.972,89	50.988,45	54.168,04	178.253,65
	Other (Opp, Erosion, ...)											
PV>invest. good investment	FCF	(130.000,00)	(17.583,88)	35.092,49	37.398,92	39.833,50	42.402,75	45.113,49	47.972,89	50.988,45	54.168,04	178.253,65
PROJECT	PV: 230.347,02											
	WACC: 12,0%											
	NPV: 100.347,02											
	Payback Period: 4,8 years											
	IRR: 22,4%											

Imagen 13. Hoja de inversión para el modelo diésel. Fuente: elaboración propia.

En la sección central de la hoja, se presenta el estado de resultados o estado de pérdidas y ganancias. En este apartado se exhibe de manera sistemática y detallada el resultado financiero durante un periodo de 10 años, basado en los datos de inversión, facturación y número de viajes determinados.

A continuación, se destacan el Operating Cash Flow (OCF) y el Free Cash Flow (FCF). El OCF refleja el efectivo generado por las operaciones comerciales regulares de la empresa durante el período de inversión en los camiones, siendo un indicador clave de la salud financiera. Por otro lado, el FCF representa el dinero generado por el negocio una vez deducidos los costes de producción, utilizado para el pago a accionistas, acreedores e inversiones de crecimiento. Los accionistas y propietarios deben considerar y controlar el flujo de efectivo para medir la rentabilidad y determinar los recursos disponibles para reinversión.

Finalmente, en la sección inferior izquierda de la hoja, se presenta el resultado de la inversión de acuerdo con los factores económicos previamente expuestos, los cuales son indispensables para llevar a cabo el análisis económico. Estos factores incluyen el Present Value (PV), el Net Present Value (NPV), el Payback Period y el Internal Rate of Return (IRR).

4.3 IMPLEMENTACIÓN

A la hora de implementar la herramienta creada y explicada en los apartados anteriores, es necesario definir el marco en términos del tipo y número de viajes realizados por cada uno de los camiones en un año determinado. Por lo tanto, se ha tomado la decisión de establecer dicho marco considerando los siguientes aspectos:

- Número de viajes al año: se ha optado por realizar 300 viajes al año por camión.
- Horas al día de conducción óptimas: suponiendo que un conductor trabaja 22 días al mes, y que trabaja como máximo 90 horas cada dos semanas, se obtiene una media de 8 horas al día de conducción.

- Kilómetros por viaje: se obtienen dividiendo los 200.000 km que, en promedio, recorre un camión al año (81) entre el número de viajes escogidos.
- Horas al día disponibles de conducción: se supone una jornada de 8 horas al día.

Con base en la selección específica de viaje y los datos de costes fijos, variables e inversión correspondientes a la tecnología del camión, se han obtenido una serie de resultados que serán analizados en el próximo apartado.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se expondrán los resultados más significativos del proyecto, centrándose en la destacada temática del mercado actual del transporte terrestre de mercancías de larga distancia por carretera. Se iniciará la exposición presentando el panorama actual de dicho mercado, seguido de la presentación de cuatro situaciones en las cuales una tecnología específica adquiere el dominio completo del mercado. Como cierre del capítulo, se llevará a cabo la presentación y comparación de doce escenarios que ilustran las posibles evoluciones del mercado en los próximos años.

5.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL MERCADO

De acuerdo con lo mencionado previamente, en la presente situación, el mercado de transporte logístico terrestre por carretera se caracteriza predominantemente por la utilización de vehículos diésel, representando aproximadamente el 99,1% del mercado total. En segundo lugar, se encuentra la tecnología GLP con una participación del 0,8%. Por último, el porcentaje restante del mercado corresponde a camiones eléctricos. Esta configuración específica se ha denominado como el "Escenario Base". Considerando que el análisis se centra en las cinco principales empresas logísticas de España, se procederá a examinar la siguiente distribución de camiones para el estudio correspondiente:

Tabla 12. Distribución de camiones según tecnología en el Estudio Base. Fuente: Elaboración propia.

Camiones diésel	Camiones GLP	Camiones eléctricos	Camiones hidrógeno
6.987	40	6	0

A través de la herramienta desarrollada y descrita en el capítulo 4 del presente documento, se han obtenido diversos factores económicos relacionados con el número y tipo

de viajes seleccionados en el mencionado escenario. A continuación, se presenta la tabla que muestra los resultados obtenidos para el Escenario Base:

Tabla 13. Desglose de resultados obtenidos en el Escenario Base. Fuente: elaboración propia.

Inversión total:	915.654.000,00 €
Present Value:	1.626.697.879,22 €
NPV:	711.043.879,22 €
Payback Period:	4,823 years
IRR:	22,50%
PV/Inv:	177,65%
Emisiones Totales:	1.074.870.072 kg CO ₂
Emisiones Totales:	1.074.870 ton CO₂

Como era previsible, en un mercado donde prevalece de manera casi absoluta una tecnología tan contaminante como los motores de combustión diésel, los resultados en términos de emisiones de gases contaminantes son sumamente desfavorables. Aunque los motores diésel más modernos han sido diseñados para emitir una menor cantidad de GEI en comparación con sus contrapartes fabricadas hace años, sigue siendo una tecnología altamente perjudicial para el medio ambiente. Para tener una idea del impacto de dicha contaminación, una tonelada de CO₂ es equivalente a lo que dos árboles medianos pueden absorber en un lapso de 50 años de vida (108). En consecuencia, para compensar las emisiones generadas anualmente por las cinco principales empresas logísticas actuales, sería necesario plantar más de dos millones de árboles medianos y esperar 50 años.

Con el propósito de abordar este grave problema, en los siguientes apartados se presentarán diversos escenarios que exploran distintas tecnologías de descarbonización.

Al realizar un análisis de los resultados económicos obtenidos, se puede apreciar que la inversión efectuada en la distribución de tecnologías demuestra ser rentable para los viajes y kilómetros considerados anualmente. Esta conclusión se basa en la comparativa entre la cantidad invertida en la flota, denominada "Inversión", y el valor presente obtenido a través del estudio económico. Para cuantificar dicha comparación, se ha incorporado el factor

"PV/Inv", el cual permite obtener este cociente. Es importante destacar que, a fin de que la inversión sea considerada rentable, dicho cociente debe superar el valor de uno o, expresado de manera equivalente, el 100%. En este caso específico, se ha determinado que dicho valor se excede en más del 77%, lo que indica que los flujos de efectivo generados, es decir, la forma en que se generan y aprovechan los recursos financieros durante la operación de la empresa, superan el coste actualizado de la inversión realizada.

Tras el análisis de la cantidad y tipo de viajes realizados, se ha determinado que el periodo de recuperación de la inversión es de menos de cinco años, lo que implica que el desembolso inicial realizado al inicio de la inversión se recupera en un plazo inferior a dicho periodo. No obstante, es importante tener en cuenta ciertas limitaciones de este enfoque. En primer lugar, el cálculo se ha realizado considerando exclusivamente la inflación actual hasta junio de 2023, sin tomar en consideración las variaciones en el poder adquisitivo a lo largo del tiempo. Además, no se han contemplado posibles beneficios o pérdidas que pudieran surgir más allá del periodo de recuperación. A pesar de estas limitaciones, el periodo de recuperación brinda una estimación aproximada de la liquidez del negocio y del nivel de riesgo involucrado, lo cual puede resultar relevante, especialmente en proyectos con un alto grado de riesgo o con una vida útil limitada, como es el caso de las inversiones en camiones.

Finalmente, se ha empleado la TIR como indicador para determinar el porcentaje de ganancia o pérdida que la inversión obtendrá. Esta medida permite evaluar el rendimiento anual de la inversión de manera objetiva. En este contexto, se ha determinado que la TIR de la inversión realizada en el mercado actual supera el 22%. Para considerarla como una inversión positiva, es necesario que la TIR sea superior al tipo de interés de la financiación de los camiones. Dado que este dato no ha sido proporcionado en la elaboración de este proyecto, la TIR adquiere una importancia destacada en la sección 5.3 del presente documento. En dicha sección, se podrán comparar diferentes escenarios, considerando diversas cuotas de mercado para las distintas tecnologías. De esta manera, será posible comparar las TIR de las diferentes inversiones y determinar cuáles ofrecen los mejores resultados desde esta perspectiva.

Adicionalmente, se han obtenido los resultados según el "Escenario Base" para cada una de las cinco empresas analizadas. En la siguiente tabla se muestran los resultados correspondientes:

Tabla 14. Desglose de resultados del Estado Base según empresa. Fuente: elaboración propia.

<i>Empresa</i>	<i>Primafrío SL</i>	<i>GLS Spain SA</i>	<i>Acotral SA</i>	<i>Transportes Sesé SL</i>	<i>Carreras SL</i>
Camiones Diesel	2.081	446	2.378	1.487	595
Camiones GLP	17	4	19	12	5
Camiones Eléctricos	2	0	2	2	1
Camiones Hidrógeno	0	0	0	0	0
Total Emisiones	320.174 ton CO ₂	68.609 ton CO ₂	365.913 ton CO ₂	228.696 ton CO ₂	91.478 ton CO ₂
Inversión Present Value	272,75 m€	58,47 m€	311,72 m€	194,82 m€	77,98 m€
NPV	211,95 m€	45,42 m€	242,23 m€	151,40 m€	60,56 m€

Para concluir este punto, es importante destacar que en la tabla anterior se han omitido los resultados correspondientes al periodo de recuperación y a la tasa interna de retorno. Esto se debe a que estos valores son idénticos a los que se presentan en el mercado total. Es decir, el periodo de recuperación es de 4,821 años y la tasa interna de retorno es del 22,51%.

5.2 SITUACIONES DOMINANTES

En el presente apartado se ha buscado exhibir el panorama del mercado logístico de transporte de mercancías por carretera en caso de estar conformado exclusivamente por cada una de las diversas tecnologías expuestas en este proyecto. A pesar de que el "Estudio Base" expuesto en la sección anterior guarda una notable similitud con un escenario donde todos los camiones operan con motores diésel, se ha considerado pertinente presentar este último caso para constatar las diferencias a nivel económico y en términos de emisiones de CO₂. Además, resultará de sumo interés observar si, desde una perspectiva económica, un escenario completamente descarbonizado resultaría rentable.

5.2.1 TOTALIDAD DIÉSEL

Iniciando este apartado con la realización de un estudio en el cual todos los camiones del mercado son de tipo diésel, específicamente los 7.050 camiones analizados provenientes de las cinco principales empresas logísticas en España se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 15. Desglose de resultados obtenidos con la flota total diésel. Fuente: elaboración propia.

Inversión total:	916.500.000,00 €
Present Value:	1.623.946.512,27 €
NPV:	707.446.512,27 €
Payback Period:	4,832 years
IRR:	22,43%
PV/Inv:	177,19%
Emisiones Totales:	1.077.240.000 kg CO ₂
Emisiones Totales:	1.077.240 ton CO₂

Conforme a lo anticipado, los resultados obtenidos en el escenario donde todos los camiones son diésel son similares, tanto en el marco económico como en el marco de emisiones de GEI, a los encontrados en la sección previa, la cual representa el mercado actual. Esto se debe a que en dicha sección la presencia de camiones propulsados por GLP

y eléctricos es prácticamente insignificante en comparación con la cantidad de camiones diésel.

Al igual que en apartado anterior, en relación con los resultados obtenidos para cada empresa, se proporciona a continuación una comparativa de los resultados obtenido para cada una de las cinco principales empresas:

Tabla 16. Desglose de resultados para un mercado diésel según empresa. Fuente: elaboración propia.

Empresa	Primafrío SL	GLS Spain SA	Acotral SA	Transportes Sesé SL	Carreras Grupo Logístico SL
Camiones Diesel	2.100	450	2.400	1.500	600
Total Emisiones	320.880 ton CO ₂	68.760 ton CO ₂	366.720 ton CO ₂	229.200 ton CO ₂	91.680 ton CO ₂
Inversión Present Value	273 m€	58,5 m€	312 m€	195 m€	78 m€
NPV	210,73 m€	45,16 m€	240,83 m€	150,52 m€	60,21 m€

5.2.2 TOTALIDAD GLP

En el presente apartado, se examina un contexto en el que la totalidad de los camiones en el mercado operan utilizando exclusivamente la tecnología del GLP. De esta manera, al considerar un mercado conformado por 7.050 camiones GLP, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 17. Desglose de resultados obtenidos con la flota total GLP. Fuente: elaboración propia.

Inversión total:	803.700.000,00 €
Present Value:	1.944.566.816,98 €

NPV:	1.140.866.816,98 €
Payback Period:	3,801 years
IRR:	30,11%
PV/Inv:	241,95%
Emisiones Totales:	915.654.000 kg CO ₂
Emisiones Totales:	915.654 ton CO₂

Como se puede observar, se ha logrado obtener una rentabilidad superior en comparación con el Escenario Base. Esto se debe a que los camiones propulsados por GLP implican una inversión económica menor, dado que las cabezas tractoras consideradas GLP son más económicas. Además, su rentabilidad, con una depreciación equivalente a la de los camiones diésel, es más favorable. Este hecho se debe, principalmente, a que, como se ha analizado en la sección 4 de este documento, a pesar de considerar el mismo precio para los peajes, los costes variables por viaje son más económicos con esta tecnología. De ahí que se haya obtenido un factor Valor Presente entre la Inversión tan alto.

Con una TIR superior al 30% y un periodo de retorno de inversión inferior a 4 años, se puede afirmar que esta inversión resulta altamente rentable desde el punto de vista económico. Es importante destacar que esta rentabilidad es significativamente superior tanto al Escenario Base, que representa el mercado actual, como a un escenario hipotético en el que todos los camiones fueran diésel.

Estos resultados refuerzan la viabilidad y atractivo de la inversión realizada en camiones propulsados por GLP, evidenciando que representa una opción financiera más favorable y lucrativa en comparación con otras alternativas, incluyendo la utilización exclusiva de camiones diésel, los cuales presentan un periodo de retorno más prolongado y una TIR inferior.

En consonancia con las expectativas, las emisiones de GEI han disminuido en aproximadamente un 15% en comparación con el Escenario Base, ya que esta era la diferencia de emisiones entre los camiones diésel y los camiones GLP. Sin embargo, a pesar de esta mejora, los resultados aún reflejan niveles de contaminación inaceptables. Se estima

que se requerirían aproximadamente 1,8 millones de árboles durante 50 años para neutralizar las emisiones del sector en un año.

Este análisis destaca la importancia de continuar buscando y promoviendo, como se podrá apreciar en los siguientes apartados, soluciones más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en el sector de transporte de mercancías por carretera.

En cuanto a los resultados obtenidos para cada empresa, la siguiente tabla permite compararlos:

Tabla 18. Desglose de resultados para un mercado GLP según empresa. Fuente: elaboración propia.

<i>Empresa</i>	<i>Primafrío SL</i>	<i>GLS Spain SA</i>	<i>Acotral SA</i>	<i>Transportes Sesé SL</i>	<i>Carreras Grupo Logístico SL</i>
Camiones GLP	2.100	450	2.400	1.500	600
Total Emisiones	272.748 ton CO ₂	58.446 ton CO ₂	311.712 ton CO ₂	194.820 ton CO ₂	77.928 ton CO ₂
Inversión Present Value	239,4 m€	51,30 m€	273,60 m€	171 m€	68,40 m€
NPV	339,82 m€	72,89 m€	288,08 m€	242,30 m€	97,52 m€

5.2.3 TOTALIDAD ELÉCTRICO

En el presente apartado, se contempla un escenario en el que la totalidad de los camiones en el mercado funcionan exclusivamente con tecnología eléctrica. Por consiguiente, al considerar un mercado conformado por 7.050 camiones eléctricos, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 19. Desglose de resultados obtenidos con la flota total eléctrica. Fuente: elaboración propia.

Inversión total:	972.900.000,00 €
Present Value:	1.820.856.143,95 €
NPV:	847.956.143,95 €
Payback Period:	4,634 years
IRR:	23,73%
PV/Inv:	186,08%
Emisiones Totales:	0 kg CO ₂
Emisiones Totales:	0 ton CO₂

Se puede constatar que este escenario difiere significativamente del anterior, evidenciando una rentabilidad superior al Escenario Base, aunque inferior al escenario compuesto íntegramente por camiones GLP. Cabe destacar que, desde el punto de vista medioambiental, los camiones eléctricos presentan una ventaja clara, al no emitir gases contaminantes a la atmósfera, lo que los convierte en una opción altamente favorable.

Es relevante señalar que la mayor rentabilidad en este mercado se debe a que los camiones eléctricos requieren una inversión inicial más elevada, debido a que las cabezas tractoras son menos económicas. Sin embargo, factores como una depreciación menor en comparación con los camiones diésel, un precio más bajo para los peajes y ayudas económicas para la adquisición de camiones de cero emisiones contribuyen a alcanzar un alto factor de Valor Presente, a pesar de que los costes variables por viaje sean iguales a los obtenidos para camiones diésel.

No obstante, es relevante enfatizar que, a pesar de lograr una mejora en el panorama actual del transporte de mercancías por carretera, dicha mejora es relativamente moderada. La TIR ha aumentado en un 1,3% y el periodo de retorno se ha reducido en tan solo 0,2 años. Esto sugiere la necesidad de continuar explorando soluciones más sustentables y eficientes para abordar de manera adecuada los desafíos ambientales y económicos de este sector.

En referencia a los resultados alcanzados por cada empresa, se dispone de la siguiente tabla que facilita su comparación:

Tabla 20. Desglose de resultados para un mercado eléctrico según empresa. Fuente: elaboración propia.

Empresa	Primafrío SL	GLS Spain SA	Acotral SA	Transportes Sesé SL	Carreras Grupo Logístico SL
Camiones Eléctricos	2.100	450	2.400	1.500	600
Total Emisiones	0 ton CO ₂				
Inversión Present Value	289,80 m€	62,10 m€	331,20 m€	207 m€	82,8 m€
NPV	542,38 m€	116,22 m€	619,87 m€	387,42 m€	154,97 m€
	252,58 m€	54,12 m€	288,67 m€	180,42 m€	72,17 m€

5.2.4 TOTALIDAD HIDRÓGENO

En el presente apartado, se contempla un escenario en el que la totalidad de los camiones en el mercado funcionan exclusivamente con tecnología de hidrógeno. Por consiguiente, al considerar un mercado conformado por 7.050 camiones de hidrógeno, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 21. Desglose de resultados obtenidos con la flota total hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

Inversión total:	1.008.150.000,00 €
Present Value:	- 290.139.113,07 €
NPV:	- 1.298.289.113,07 €
Payback Period:	40,000 years
IRR:	-6,49%
PV/Inv:	-28,78%
Emisiones Totales:	0 kg CO ₂
Emisiones Totales:	0 ton CO₂

Se constata que el presente escenario presenta notables discrepancias respecto a los previamente expuestos, poniendo de manifiesto una rentabilidad desfavorable en

comparación. No obstante, se destaca como aspecto positivo que, desde una perspectiva medioambiental, los camiones de hidrógeno evidencian una clara ventaja sobre los vehículos diésel o GLP, al no emitir gases contaminantes a la atmósfera, lo que los posiciona como una opción altamente favorable, aunque aún en fase de desarrollo.

Resulta pertinente señalar que la escasa rentabilidad en este mercado se atribuye a la necesidad de una inversión inicial significativamente elevada para los camiones de hidrógeno, dado que las cabezas tractoras implican mayores costes. Asimismo, factores como una depreciación más moderada en comparación con otras tecnologías, derivada de la naturaleza incipiente e investigativa de esta tecnología en el sector, junto con un precio más elevado del combustible, que da lugar a costes variables aproximadamente un 30% superiores a otras tecnologías, debido a la reducida cantidad de hidrogeneras en España y, nuevamente, por ser una tecnología en progreso, contribuyen a que la inversión en relación con la facturación actual y el número de viajes considerado resulte nula.

Por consiguiente, es crucial enfatizar que, en el estado actual, resultaría inviable considerar una transición hacia el panorama como este en el transporte de mercancías por carretera. La TIR ha disminuido hasta valores negativos, lo que indica que el flujo de fondos generado por la inversión no es suficiente para recuperar la inversión inicial y generar un rendimiento positivo. En otras palabras, la inversión en cuestión arrojaría pérdidas en el presente y no sería una elección favorable. Además, el período de retorno ha aumentado hasta alcanzar los 40 años, multiplicándose por nueve en comparación con los escenarios previos. Todo ello sugiere la necesidad de seguir explorando soluciones más sostenibles y eficientes para abordar adecuadamente los desafíos ambientales y económicos que enfrenta este sector.

En referencia a los resultados alcanzados por cada empresa, se dispone de la siguiente tabla que facilita su comparación:

Tabla 22. Desglose de resultados para un mercado hidrógeno según empresa. Fuente: elaboración propia.

Empresa	Primafrío SL	GLS Spain SA	Acotral SA	Transportes Sesé SL	Carreras Grupo Logístico SL
Camiones Hidrógeno	2.100	450	2.400	1.500	600
Total Emisiones	0 ton CO ₂				
Inversión Present Value	300,30 m€	64,35 m€	343,20 m€	214,5 m€	85,80 m€
NPV	-84,42 m€	-18,52 m€	-98,77 m€	-61,73 m€	-24,69 m€
	-386,72 m€	-82,97 m€	-441,97 m€	-276,23 m€	-110,49 m€

5.3 ESCENARIOS ALTERNATIVOS

Además del Escenario Base, que aborda la situación actual del mercado logístico de transporte terrestre por carretera en España, y de analizar el mismo mercado considerando exclusivamente cada una de las cuatro tecnologías seleccionadas, en el presente apartado se presentarán doce escenarios diferentes. Estos escenarios representarán una progresiva adquisición de cuota de mercado por parte de las tecnologías verdes, lo que conllevará una disminución creciente de la presencia de camiones diésel y, por consiguiente, una reducción progresiva de las emisiones de CO₂. El propósito es observar la posible evolución del sector en los años venideros, tanto desde una perspectiva económica como medioambiental.

5.3.1 ESCENARIOS

Debido a que la situación actual del mercado logístico terrestre se caracteriza por una predominancia de camiones diésel, se ha iniciado este estudio considerando un mercado en el que el 90% de los camiones utilizan dicha tecnología, mientras que la tecnología GLP ha obtenido una cuota de mercado del 7%. A partir de este escenario inicial, se ha procedido a reducir gradualmente la presencia de los camiones diésel y a incrementar la participación de tecnologías verdes, culminando en el último escenario en el que el 75% de los camiones son

eléctricos o de hidrógeno. Todos estos cambios y su evolución se detallan de manera precisa en la siguiente tabla:

Tabla 23. Escenarios alternativos según tecnología para el presente apartado. Fuente: elaboración propia.

Escenario	% Diésel	% GLP	% Eléctrico	% Hidrógeno	Suma
Escenario 1	90,0%	7,0%	3,0%	0,0%	100,0%
Escenario 2	85,0%	10,0%	5,0%	0,0%	100,0%
Escenario 3	70,0%	20,0%	10,0%	0,0%	100,0%
Escenario 4	60,0%	25,0%	10,0%	5,0%	100,0%
Escenario 5	50,0%	30,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 6	40,0%	40,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 7	30,0%	40,0%	25,0%	5,0%	100,0%
Escenario 8	30,0%	30,0%	30,0%	10,0%	100,0%
Escenario 9	30,0%	30,0%	20,0%	20,0%	100,0%
Escenario 10	20,0%	20,0%	40,0%	20,0%	100,0%
Escenario 11	15,0%	15,0%	40,0%	30,0%	100,0%
Escenario 12	10,0%	15,0%	45,0%	30,0%	100,0%

5.3.2 RESULTADOS

Los resultados obtenidos, tanto en el ámbito económico como medioambiental, exhiben notables disparidades, tal como se aprecia en los diversos escenarios presentados. La siguiente tabla, dispuesta en una hoja aparte para facilitar la visualización de los datos debido a su considerable cantidad, permite apreciar los resultados obtenidos y la comparativa entre las distintas situaciones planteadas.

En relación con el aspecto medioambiental, conforme era de prever según la evolución de los escenarios seleccionados, se evidencia una marcada tendencia hacia un mercado progresivamente descarbonizado, en el cual las tecnologías de emisiones cero, como los camiones eléctricos y de hidrógeno, adquieren un papel cada vez más protagónico, en detrimento de aquellas con alto grado de contaminación, como los vehículos diésel y GLP, que van perdiendo participación en el mercado. Específicamente, resaltan los escenarios que comprenden desde el 10 hasta el 12, en los cuales, con una cuota superior al

60% de cabezas tractoras de emisiones cero, se han obtenido valores de emisiones anuales inferiores a 400 mil toneladas de CO₂, lo que representa una disminución del 82% de emisiones en el mejor de los casos (Escenario 12), en comparación con el panorama actual del transporte terrestre de mercancías por carretera.

En relación con la evolución de la TIR, se observa que los escenarios 1 al 8 exhiben una TIR cercana al 23%, destacándose particularmente los escenarios 6 y 7, donde incluso supera el 24%. Este fenómeno se atribuye a que, en ambos escenarios, se ha estipulado que la mayoría de las cabezas tractoras sean del tipo GLP. Recordando lo mencionado en la sección 5.2.2, donde se consideró la totalidad del mercado con esta tecnología, estos escenarios se mostraron como los más rentables. Por lo tanto, se espera que la inversión logre un rendimiento anualizado del 24% a lo largo de su vida útil. A partir del escenario 9, a medida que las cabezas tractoras de cero emisiones ganan participación en el mercado, la TIR de la inversión disminuye gradualmente hasta alcanzar valores cercanos al 15% cuando el mercado cuenta con un 75% de camiones cero emisiones.

En relación con el periodo de retorno de los escenarios presentados, es posible clasificarlos en tres grupos distintos. En primer lugar, se encuentran los escenarios 1 a 3, que muestran un rendimiento óptimo. Estos escenarios presentan una cuota de mercado conjunta de camiones diésel y GLP superior al 90%, con una predominancia de la tecnología diésel. En este conjunto, el periodo de retorno es inferior a 5 años, lo que indica una rápida recuperación de la inversión gracias a los flujos de efectivo generados en un corto plazo. Este resultado se considera favorable y sugiere la posibilidad de obtener beneficios en un lapso relativamente breve.

El segundo grupo, representado por los escenarios 4 al 8, no se aleja considerablemente del primero. Aquí, el periodo de retorno se sitúa entre el 6% y el 8%. Aunque las tecnologías convencionales siguen dominando el mercado en estos escenarios, la participación del mercado diésel disminuye gradualmente a medida que las tecnologías de cero emisiones ganan terreno.

Finalmente, el último grupo comprende los escenarios 9 al 12, donde el periodo de retorno supera los 11 años, llegando incluso a exceder los 15 años en los últimos escenarios. Estos periodos son más prolongados, y en algunos casos, se igualan al tiempo horizonte establecido para los camiones de cero emisiones, lo que significa que la inversión se recupera en el mismo período que se prevé para la duración del proyecto o vida útil de la inversión.

En resumen, los escenarios exhiben diferentes periodos de retorno, desde una rápida recuperación en el primer grupo hasta periodos más prolongados en el tercer grupo. La elección de cada escenario dependerá de diversos factores, incluyendo las preferencias por tecnologías, plazos de recuperación y estrategias de inversión.

Es importante destacar que la inversión inicial en las cabezas tractoras varía según la tecnología utilizada, siendo la opción de GLP la más económica. Debido a esto, se presentan diferencias significativas entre los escenarios, donde la inversión inicial es menor en aquellos donde predomina la tecnología GLP y mayor en aquellos donde predominan las tecnologías de cero emisiones.

En relación con los resultados, tanto en términos económicos como medioambientales, correspondientes a cada una de las empresas analizadas, se encuentran detallados en el Anexo 5 adjunto en el presente documento. Este anexo proporciona información detallada y específica sobre los resultados obtenidos para cada escenario y empresa estudiada, permitiendo una evaluación completa de los aspectos económicos y ambientales relacionados con las distintas tecnologías de cabezas tractoras empleadas.

Es relevante revisar este anexo para obtener una visión detallada y completa de los impactos financieros y medioambientales de cada escenario, lo que permitirá tomar decisiones informadas y fundamentadas respecto a la elección de tecnologías de transporte y sus implicancias en el desempeño general de las empresas.

Tabla 24. Evolución de resultados obtenidos con según escenarios del 1 al 12. Fuente: elaboración propia.

Escenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión total:	910,29 m€	908,04 m€	899,58 m€	898,52 m€	895,70 m€	884,42 m€	890,06 m€	908,74 m€	912,27 m€	934,83 m€	949,64 m€	952,45 m€
Present Value:	1.651,98 m€	1.665,32 m€	1.706,71 m€	1.626,49 m€	1.651,84 m€	1.683,91 m€	1.702,55 m€	1.583,57 m€	1.372,42 m€	1.377,64 m€	1.169,11 m€	1.178,43 m€
NPV:	741,87 m€	757,29 m€	807,13 m€	727,97 m€	756,14 m€	799,48 m€	812,49 m€	674,81,15 m€	460,15 m€	442,81 m€	219,50 m€	225,98 m€
Payback Period:	4,753 years	4,719 years	4,606 years	6,312 years	6,251 years	6,148 years	6,128 years	7,980 years	11,456 years	11,580 years	15,149 years	15,139 years
IRR:	23,01%	23,26%	24,09%	23,01%	23,45%	24,22%	24,34%	22,17%	19,86%	18,60%	15,28%	15,34%
PV/Inv:	181,48%	183,4%	189,71%	181,02%	188,89%	190,4 %	191,28%	174,26%	150,44%	147,37%	123,11%	123,73%
Emisiones Totales:	1.033.612 ton CO ₂	1.007.219 ton CO ₂	937.199 ton CO ₂	875.258 ton CO ₂	813.316 ton CO ₂	797.158 ton CO ₂	689.434 ton CO ₂	597.868 ton CO ₂	597.868 ton CO ₂	398.579 ton CO ₂	298.934 ton CO ₂	245.072 ton CO ₂

5.4 ESCENARIO EXTRA

Debido a las consideraciones expuestas en el apartado 5.3.4 del presente documento, en el cual se establecía que todos los camiones en el mercado eran considerados camiones de hidrógeno, se ha determinado que dicho mercado carece de rentabilidad. Con el propósito de evaluar la viabilidad de incorporar camiones de hidrógeno en un mercado con sentido, se ha decidido finalizar este apartado llevando a cabo un estudio adicional.

Se ha establecido como objetivo de este estudio verificar en qué medida sería factible la inclusión de camiones de hidrógeno en un mercado que experimente una descarbonización significativa. Se plantea que, en un escenario en el que la proporción de camiones de cero emisiones en dicho mercado sea del 80%, siendo los camiones de hidrógeno los predominantes con un 45% y los camiones eléctricos representando el 35%, dejando únicamente un 5% de cuota a los camiones diésel y los restantes correspondiendo a GLP, se obtendrían los resultados presentados en la siguiente tabla:

Tabla 25. Desglose de resultados obtenidos con el escenario extra. Fuente: elaboración propia

Inversión total:	969.022.500,00 €
Present Value:	864.341.495,48 €
NPV:	- 104.681.004,52 €
Payback Period:	20,475 years
IRR:	10,50%
PV/Inv:	89,20%
Emisiones Totales:	145.427.400 kg CO ₂
Emisiones Totales:	145.427 ton CO₂

Con estos resultados se puede constatar que este escenario evidencia una rentabilidad mucho menor a la expuesta en otros escenarios, sin ir más lejos, en el Escenario Base. Cabe destacar que, desde el punto de vista medioambiental, al ser un escenario compuesto en su gran mayoría por camiones cero emisiones, camiones que presentan una ventaja clara al no emitir gases contaminantes a la atmósfera, se convierte en un mercado de bajas emisiones y óptimo para la descarbonización del mismo.

Resulta relevante destacar que la rentabilidad en este mercado se ve afectada por la presencia significativa de camiones de hidrógeno, una tecnología que, como ha sido mencionada en secciones previas, en la actualidad ofrece una rentabilidad negativa debido a sus elevados costes variables, especialmente relacionados con el combustible. A pesar de presentar una Tasa Interna de Retorno (TIR) positiva, el período de retorno se ha calculado como muy prolongado, superando los 20 años, lo cual excede el horizonte temporal de uso previsto para las cabezas tractoras.

No obstante, es importante resaltar que, a pesar de contar con una TIR positiva, el Valor Presente obtenido es inferior a la inversión inicial requerida, lo que conlleva a un Valor Actual Neto negativo. Esta situación indica que la inversión no es rentable y no genera suficientes beneficios para compensar el coste inicial.

6 CONCLUSIONES

Los camiones representan solamente el 2% del total de vehículos en Europa, pero su contribución a las emisiones de CO₂ asciende al 23%. Ante este panorama, los fabricantes han establecido un ambicioso objetivo de reducir en un 30% las emisiones de CO₂ para el año 2030. Sin embargo, se reconoce que alcanzar esta meta resulta desafiante, especialmente en el caso de los camiones diésel.

En la actualidad, el gas natural sigue siendo una opción minoritaria, y algunos ecologistas advierten que su implementación podría considerarse como un mero paliativo y, en ciertos casos, una solución contraproducente.

La industria europea de camiones se encuentra en un proceso de transición hacia un futuro que abarca, al menos en parte, la descarbonización. No obstante, para avanzar en esta dirección, es necesario no solo contar con camiones disponibles para los transportistas y empresas, sino también establecer una infraestructura especializada para la carga de baterías de gran capacidad y el suministro de grandes tanques de hidrógeno.

En cuanto a las tecnologías de camiones eléctricos o con pilas de combustible de hidrógeno y baterías, se plantea la incertidumbre sobre su idoneidad para todas las aplicaciones. Se resalta que, a priori, el hidrógeno se ha consolidado como una opción preferente para los viajes de larga distancia, dado que los conductores de camiones pueden reducir significativamente el tiempo de parada y beneficiarse de un importante ahorro de peso en comparación con baterías de gran tamaño. Sin embargo, se requiere una evaluación más detallada para determinar cuál tecnología es más adecuada en cada caso específico.

A través de los resultados presentados en los apartados previos, se ha podido constatar que en España las cabezas tractoras con tecnología de propulsión eléctrica e hidrógeno aún no gozan de la consideración plena como opciones rentables en comparación con las convencionales diésel o GLP. El análisis económico expuesto ha desvelado la razón

fundamental detrás de esta situación. Si bien las cabezas tractoras con tecnología eléctrica e hidrógeno han experimentado mejoras, se considera que estas tecnologías todavía están en fase de desarrollo y no han alcanzado el mismo nivel de madurez y optimización que los sistemas de propulsión diésel o GLP, que han evolucionado durante décadas.

En cuanto a los costes totales de inversión necesarios en el sector, las cabezas tractoras eléctricas e impulsadas por hidrógeno presentan un coste de adquisición y operación significativamente más elevado que sus contrapartes diésel o GLP. El precio de compra de vehículos con tecnología avanzada y la infraestructura requerida para su funcionamiento, como estaciones de carga eléctrica o repostaje de hidrógeno, continúan siendo obstáculos para una adopción más generalizada.

No obstante, tras el análisis exhaustivo de los resultados obtenidos, se ha constatado que es viable la expansión de la cuota de mercado de los camiones de cero emisiones, aun cuando estos no hayan arrojado resultados tan favorables. Esta conclusión resalta la relevancia de considerar e implementar soluciones sostenibles en el ámbito del transporte de mercancías por carretera, no solo desde un enfoque medioambiental, sino también como una estrategia financieramente inteligente y ventajosa para las empresas involucradas.

Según expresó el CEO de IVECO, los fabricantes adelantarán la disponibilidad de vehículos eléctricos e impulsados por hidrógeno antes que la infraestructura necesaria para su funcionamiento. Por tanto, los objetivos de descarbonización dependen principalmente de la existencia de una infraestructura adecuada, más que de los avances en los modelos de vehículos. La carencia de una infraestructura sólida de carga y suministro se erige como el núcleo central de la problemática, particularmente en lo que respecta al hidrógeno, pero también con respecto a la carga eléctrica o el GLP, ya que es un factor decisivo en comparación con el elevado número de puntos de repostaje diésel en España.

El presente proyecto ha verificado que, aunque es factible incrementar la participación en el mercado de camiones de cero emisiones, la infraestructura actual de puntos de recarga eléctrica y estaciones de hidrógeno aún no satisface plenamente la demanda necesaria para asegurar la comodidad y eficiencia operativa de los vehículos de

propulsión alternativa en rutas de larga distancia. A nivel nacional, se han contabilizado un total de 7.856 puntos de recarga para diésel, 862 para GLP, 12.149 para recarga eléctrica (aunque no todos disponen del mismo conector) y tan solo 12 puntos de recarga para hidrógeno.

En conclusión, la carencia de una infraestructura de carga y suministro debidamente desarrollada y accesible es una cuestión fundamental que debe abordarse para fomentar la adopción y el despliegue efectivo de tecnologías de propulsión alternativa, como el hidrógeno y la electricidad, con el fin de impulsar la descarbonización y la sostenibilidad en el transporte de camiones en España.

En igual medida, a pesar del progreso alcanzado en las tecnologías de baterías y celdas de combustible, las cabezas tractoras eléctricas e impulsadas por hidrógeno aún afrontan desafíos en cuanto a su autonomía. La capacidad de almacenamiento de energía limitada y su eficiencia en comparación con los motores diésel o GLP resultan en una necesidad más frecuente de paradas para recargar o repostar, lo que tiene un impacto negativo en la productividad y competitividad. Por este motivo, la inversión en la descarbonización del transporte terrestre de mercancías debería centrarse en un principio en aquellos vehículos que cubren la última milla, debido a la mayor facilidad de reposición de energía en esos casos.

En lo que respecta a la regulación, dado que las tecnologías de propulsión alternativa aún están en desarrollo, los cambios en las regulaciones y políticas gubernamentales pueden influir en la viabilidad y el atractivo económico de estas tecnologías. La incertidumbre en torno a los incentivos y medidas de apoyo para el uso de vehículos de bajas emisiones dificulta la toma de decisiones a largo plazo para los operadores y propietarios de flotas.

En conclusión, las cabezas tractoras con tecnología de propulsión eléctrica e hidrógeno en España enfrentan desafíos significativos en términos de costes, infraestructura, autonomía, eficiencia y marco regulatorio. Aunque estas tecnologías poseen un potencial importante para reducir las emisiones y promover la sostenibilidad en el transporte, es necesario continuar avanzando en investigación y desarrollo, así como en políticas y medidas

de apoyo, para que estas alternativas se vuelvan más rentables y competitivas en el mercado español.

7 BIBLIOGRAFÍA

1. Ambiente, Ministerio del medio. *Huella de carbono*. 20 de marzo de 2023.
2. Mundo, BBC News. Los gráficos que muestran que más del 50% de las emisiones de CO2 ocurrieron en los últimos 30 años. *BBC*. 6 de noviembre de 2023.
3. Global, Cambio Climático. *Cambio Climático, Calentamiento Global y Efecto Invernadero*. 21 de marzo de 2020.
4. Español, CNN. El top 10 de mayores productores y consumidores de petróleo del mundo. 5 de octubre de 2022.
5. Unidas, Naciones. *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*. 16 de junio de 1972.
6. —. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC)*. 1992.
7. —. *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio*. 1998.
8. —. *Acuerdo de París*. 4 de noviembre de 2016.
9. —. *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. 16 de junio de 1972.
10. García, Ernesto. *La transición ecológica: definición y trayectorias complejas*. diciembre de 2018.
11. Europea, Comisión. *Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050*. 8 de marzo de 2011.

12. Ramón, Fernando López. *Observatorio de Políticas Ambientales 2016*. 16 de enero de 2016. Capítulo 24.
13. Europea, Comisión. *El pacto Verde Europeo*. diciembre del 2019.
14. Sura. ¿Qué es la movilidad sostenible y por qué es importante? *Seguros Sura*. [En línea] octubre de 2017. <https://segurossura.com/co/blog/movilidad/que-es-movilidad-sostenible-y-por-que-es-importante/>.
15. Territoriales, Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones. *Real Decreto 639/2016*. 10 de diciembre de 2016.
16. Europeo, Parlamento. *DIRECTIVA (UE) 2019/944 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la*. 5 de junio de 2019.
17. urbana, Ministerio de transportes y agenda. *Estrategia de Movilidad, Resumen ejecutivo*. 10 de diciembre de 2021.
18. ¿Por qué el motor del camión suele ser diésel? *Reparación de Vehículos*. diciembre de 2018.
19. urbana, Ministerio de transportes y agenda. *Inventario Nacional De Gases DE EFECTO INVERNADERO (GEI)*. marzo de 2021.
20. demográfico, Ministerio para la transición ecológica y el reto. *Hoja De Ruta Del Hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable*. 9 de octubre de 2020.
21. Unidas, Naciones. *17 objetivos para transformar nuestro mundo*. 25 de septiembre de 2015.
22. —. *Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna*. 25 de septiembre de 2015.

23. Unidas, Naciones. *Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación*. 25 de septiembre de 2015.
24. Unidas, Naciones. *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. 25 de septiembre de 2015.
25. —. *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. 25 de septiembre de 2015.
26. —. *Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*. 25 de septiembre de 2015.
27. Partner, Climate. Comprender tus emisiones. [En línea] 2023. <https://www.climatepartner.com/es/guia-completa-para-entender-las-emisiones-de-alcance-1-2-y-3>.
28. AECOC. *Climate Partner*. 2017.
29. Inglesias, Mario Esteban y Miguel Otero. *¿Qué podemos esperar de la nueva Ruta de la Seda y del Banco Asiático de Inversión en Infraestructuras liderados por China?* 9 de abril del 2015.
30. elEconomista. *Ranking sectorial de empresas logísticas por carretera*. 8 de abril de 2023.
31. SL, Primafrío. Primafrío SL. [En línea] 23 de abril de 2023. <https://www.primafrio.com/>.
32. Press, Europa. Primafrío, una empresa que apuesta por el crecimiento. [En línea] 16 de abril de 2016. <https://www.europapress.es/comunicados/empresas-00908/noticia-comunicado-primafrio-empresa-apuesta-crecimiento-20160421095140.html>.
33. GLS. GLS Spain. [En línea] 23 de abril de 2023. <https://www.gls-spain.es/es/informacion-corporativa/>.

34. SL, Acrotal. Acrotal SL. [En línea] 23 de abril de 2023. <https://www.acotral.com/>.
35. Sesé, Grupo. Grupo Sesé. [En línea] 23 de abril de 2023. <https://www.gruposese.com/es/>.
36. urbana, Ministerio de transportes y agenda. *Secretaría general de Transporte 2020*. 20 de enero de 2020.
37. Martín, Bryanis. *FTL o LTL? Lo que Necesita saber y cuál Funciona Mejor para su Negocio*. 17 de junio de 2019.
38. SL, Grupo Carreras. Grupo Carreras SL. [En línea] 23 de abril de 2023. <https://www.grupocarreras.com/>.
39. Deloitte, Monitor. *Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050. Recomendaciones para la*. marzo de 2017.
40. Next, Pier. *Camiones cero emisiones: en ruta hacia la descarbonización del transporte*. 28 de abril de 2022.
41. Europeo, Parlamento. *"Investigación para la Comisión TRAN—Infraestructuras para combustibles alternativos destinados a vehículos pesados*. noviembre de 2021.
42. Ecológica, Ministerio para la Transición. *Plan MOVES incentivo a la movilidad eficiente y sostenible*. 8 de marzo de 2019.
43. —. *MOVES II Plan* 16 de junio de 2020.
44. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Programa de transformación de flotas de vehículos pesados de transporte profesional por carretera*. 15 de marzo de 2021.
45. ABC. *¿De Dónde Viene El Diésel y La Gasolina?* ABC. 7 de septiembre de 2018.
46. Baena, P Muñoz. *Estudio Técnico-Económico De Una Planta De Producción de Biodiesel*. 2013.

47. Pixabay. *¿Qué Es El HVO y Por Qué Podría Ser El Combustible Del Futuro?* 29 de junio de 2020.
48. DieselGasolina. *Historico Del Precio de la Gasolina y el Diesel en España.* [En línea] 10 marzo de 2023. <https://www.dieselogasolina.com/Estadisticas/Historico>.
49. GasolinaBarata. *Precio Gasolina y Diésel Hoy En España (2022).* [En línea] 10 de marzo de 2023. <https://gasolinabarata.info/precio-gasolina/>.
50. ambiente, Ministerio de medio. *Ministerio del Medio Ambiente anuncia entrada en vigencia de exigente norma de emisiones para autos y camionetas.* octubre de 2022.
51. Energy, LPG. *“¿Qué es? Origen Del GLP.* julio 2017.
52. Otero, Alejandra. *El GLP Es El Combustible Alternativo Más Usado Del Mundo, Pero Sus Inconvenientes Pueden Ponérselo Difícil.* 15 de enero de 2020.
53. myLPG. *Gráfico de precios del combustible en España.* 13 de marzo de 2023.
54. GLP, Gasolineras. *Gasolineras GLP. Guía De Precios Actualizada a diario.* [En línea] 13 de marzo de 2023. <https://www.gasolinerasglp.com/>.
55. Ministerio de industria, turismo y comercio. *Real Decreto 919/2006.* 4 de septiembre de 2006.
56. Podo, Equipo. *¿Qué es el Gas natural comprimido (GNC) y donde repostar?* 15 de febrero de 2021.
57. Sociedad, Energía y. *Reservas, Extracción y Producción.* 9 de septiembre de 2021.
58. Wikipedia. *Gas Natural Licuado.* [En línea] 8 de mayo de 2023. https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_natural_licuado.
59. Barata, Gasolina. *Estaciones y Gasolineras con Gas Natural - GNL y GNC - en España y sus provincias en 2023.* 19 de marzo de 2023.

60. demográfico, Ministerio para la transición ecológica y el reto. *Directiva 2014/94/UE*. 22 de octubre de 2014.
61. Administraciones, Ministerio de la Presidencia y para las. *Real Decreto 639/2016*. 9 de diciembre de 2016.
62. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. *Real Decreto 235/2018*. 27 de abril de 2018.
63. García-Conde, Antonio González. *Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno*.
64. Fernández, Rosa. *Hidrógeno: Materias Primas Y Procesos Para De Producción*. 22 de marzo de 2022.
65. *Hidrogenas 2023*. Benito, Javier López de. 9 de enero de 2023, Movilidad Electrica.
66. *Dos proyectos de Repsol para impulsar el hidrógeno renovable en España reciben 25 millones en ayudas del IDAE*. Parra, Eduardo. 13 de abril de 2023, Europa Press.
67. Enagas. Enagas. [En línea] www.enagas.es.
68. AMETIC. *ESTUDIO DE VIABILIDAD PREVIO AL DISEÑO DE UN ESQUEMA DE LOGISTICA, TRATAMIENTO Y RECICLADO DE BATERIAS DE VEHICULO ELECTRICO Y VEHICULO HIBRIDO*. 21 de diciembre de 2012.
69. UNE. *CONSIDERACIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS DE HIDRÓGENO*. ENERO DE 2014.
70. Electronics, TEM. *TIPOS DE BATERÍAS – BATERÍA LI-ION, BATERÍA DE NI-MH, BATERÍA DE LI-PO*. 7 de diciembre de 2021.
71. Gov, Energy. *In 2017, Australia, Chile, and Argentina Produced 91% of the World's Lithium*. 16 de septiembre de 2019.

72. —. *In 2017, Australia, Chile, and Argentina Produced 91% of the World's Lithium*. 16 de septiembre de 2019.
73. Redondo, Noelia López. *La UE aprueba descuentos en los peajes para camiones eléctricos y tasas 'extra' para los contaminantes*. 18 de febrero de 2022.
74. García, José. *La falta de infraestructuras lastra la puesta en marcha del camión eléctrico*. 18 de enero de 2022.
75. Spuch, José Martín. *España Está a La Cola De Europa En Electromovilidad*. 18 de febrero de 2022.
76. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. *Real Decreto 1053/2014*. 12 de diciembre de 2014.
77. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Real Decreto 983/2021*. 16 de noviembre de 2021.
78. Otero, Alejandra. *La DGT permitirá conducir furgonetas eléctricas e híbridas de hasta 4.250 kg con el carnet de conducir B*. 4 de noviembre de 2020.
79. Expansion. *Baja el IPC en junio en España*. *Expansion*. Junio de 2023.
80. Pleo. *¿Cuál es el IVA del transporte? Así es el IVA de los principales gastos de transporte de tu empresa*. *El blog de Pleo*. [En línea] Mayo de 2022. <https://blog.pleo.io/es/iva-transporte>.
81. *Vida útil de un camión*. *Logística, Transporte y*. Agosto de 2021, *Transporte y Logística*.
82. *España, sexto país de Europa con mayor parque automovilístico*. *Auto Revistas*. enero de 2023, *Auto Revistas*.
83. *¿Cuánto gana un camionero en España? Sueldo (y diferencias con otros países), condiciones laborales y requisitos*. Feced, Carlos Galán. Septiembre de 2022, *Business Insider*.

84. *Qué conductores podrán recibir las ayudas directas de hasta 1.200 euros.* informacion, La. marzo de 2022, La informacion.
85. *Costes de una empresa de transporte.* TADIG. marzo 2023, TADIG.
86. *¿Cuál es el costo promedio del seguro de camiones comerciales y cómo afecta la rentabilidad de un transportista?* UWT. agosto de 2022, United World Transportation.
87. Iveco. *Iveco Stralis.* 2023.
88. Scania. Europa Camiones. [En línea] 2023. <https://www.europa-camiones.com/ficha-tecnica-gama/scania-la4x2mn%281%29a%28b%29>.
89. Castellana, Automoción. *IVECO STRALIS NP 460: NUEVO “RÉCORD DE COSTE POR KILÓMETRO.* 2019.
90. Perez, Aaron. *Estos son todos los camiones eléctricos que se venden o se van a vender en España.* octubre de 2022.
91. Newsroom, HMG. *Hyundai Motor’s XCIENT Fuel Cell Heavy-Duty Trucks to Hit German Roads.* Agosto de 2022.
92. *¿Cuántos Kilómetros Dura Un Neumático De Un Camión?* FUSO. agosto de 2022, FUSO.
93. Gevecoop. *¿Cada cuántos kilómetros se le hace mantenimiento y revisión a un camión de transporte de mercancías?* 2022.
94. Ochoa, Raúl Neira. *Análisis del costo-beneficio de mantener una flota vehicular y su incidencia en el costo del mantenimiento correctivo de las unidades vehiculares.* septiembre de 2022.
95. Environment, Transport &. *Comparison of hydrogen and battery electric trucks.* junio de 2020.

96. MMANNOL. *MANNOL TS de 7 uhpdl Blue 10 W de 40 API CJ de 4 motorenöl, 10 L.* 2023.
97. Repsol. *¿Qué lubricante utilizan los vehículos de AutoGas o GLP?* 2023.
98. —. *Cuánto cuesta cargar un coche eléctrico en España.* 2023.
99. López, Gustavo. *¿Dónde se puede repostar hidrógeno en España y cuánto cuesta?* 2022.
100. Michelin. *MICHELIN X MULTI Z.* 2023.
101. —. *¿Qué es el reencauche?* 2023.
102. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Catálogo y evolución de la red de carreteras.* 2023.
103. Pérez, Rubén. *Tipos de carretera en España: cómo entender sus nombres y señales.* agosto de 2022.
104. Environment, European Federation for Transport and. *Euro Viñeta: Tasas sobre el uso de infraestructura.* 2009.
105. Redondo, Noelia López. *Camiones eléctricos: autonomía, precio, tiempos de carga y 7 modelos que pronto estarán a la venta.* noviembre de 2022.
106. *¿Cuándo renovar la flota de vehículos?* Banpaís. octubre de 2021, Banpaís.
107. LASIERRA, JAVIER ROS. *Tasación equipamiento de recogida de residuos sólidos.* Febrero de 2019.
108. Plantarse. *Plantarse Contra el Cambio Climático.* [En línea] 2023. <https://plantarse.org/art-emision-carbono.htm>.
109. Europeo, Parlamento. *Resolución del Parlamento Europeo sobre el Pacto Verde Europeo (2019/2956(RSP)).* 15 de enero de 2020.

110. SL, Primafrío. Primafrío SL. [En línea] 23 de abril de 2023.
<https://www.primafrio.com/>.

111. Ministerio de transporte, movilidad y agenda urbana. *Transporte - Vehículos Pesados*.

ANEXO I DISTRIBUCIÓN

En este proyecto, se ha explicado previamente que la distribución es un procedimiento cuyo objetivo es llevar el producto físicamente al consumidor. Para lograr un proceso exitoso, es crucial que el producto sea entregado puntualmente en el lugar indicado, centrándose principalmente en la entrega y recogida de mercancías en los centros y áreas urbanas que demanden este servicio. Aparte del transporte, este proceso también incluye la manipulación y almacenamiento de mercancías, gestión de inventario, logística inversa y servicios de entrega a domicilio.

Es importante señalar que los cambios que se están produciendo en el comercio, así como la evolución positiva de este sector, están incrementando la utilización del transporte, lo que, a su vez, aumenta el pico de contaminación de GEI. Esto lleva a un incremento en el valor de emisiones de HC y, por consiguiente, genera una mayor contaminación ambiental.

ANEXO 1.1 TRANSPORTE

El transporte, como componente primordial de la distribución de mercancías, tiene como propósito facilitar el desplazamiento y la comunicación de los productos.

Se dispone de una variedad de medios de transporte, los cuales deben transitar por vías específicas. La configuración de la red de transporte se establece de acuerdo con las vías que recorren dichos medios.

Al gestionar este transporte, es fundamental considerar diversos aspectos para tomar decisiones óptimas. Entre estos aspectos se encuentran el coste asociado, la celeridad en la entrega, la eficiencia en el proceso, la seguridad, la precisión, el modo de transporte seleccionado y el nivel de servicio al cliente.

La relevancia de esta gestión radica en la necesidad de asegurar una distribución efectiva, ya que una inadecuada ejecución podría provocar el mal funcionamiento de toda la

cadena de suministro. Cualquier retraso o interrupción en este proceso puede acarrear demoras en los eslabones subsiguientes.

En el marco de este proyecto, se ha determinado que el transporte utilizado será de naturaleza terrestre, efectuándose dentro de la península. En función de las exigencias y condiciones del servicio, se emplearán distintos tipos de transportes:

- Camión de 12-24 Tn → Tráiler.
- Camión de 7,5-12 Tn → 2 o 3 Ejes
- Camión de < 7,5 Tn → Minitir, carrozada y furgoneta.

La elección adecuada del medio de transporte y una gestión eficiente de la distribución son elementos esenciales para optimizar el proceso logístico en su totalidad, garantizando la entrega puntual y adecuada de las mercancías en su destino final.

ANEXO II MODELOS DE CAMIÓN

En el presente anexo se presentan los modelos de cabezas tractoras seleccionados para llevar a cabo el análisis económico y medioambiental de este proyecto. Como se ha indicado en las diversas secciones del proyecto, se han escogido cuatro tipos de tecnologías de propulsión: diésel, GLP, eléctrico e hidrógeno. Los modelos elegidos son los siguientes: Scania R500, Iveco Stralis NP 460, DAF XD Electric y Hyundai XCIENT Fuel Cell, respectivamente.

7.1 ANEXO 2.1 MODELO DE CAMIÓN DIESEL

La cabeza tractora Scania R500 ha sido seleccionada como el modelo diésel para el presente proyecto. Fabricado por la reconocida empresa sueca Scania, con una destacada trayectoria en la producción de camiones y vehículos pesados a nivel mundial, el Scania R500 forma parte de la serie R de camiones de larga distancia, diseñados específicamente para ofrecer un rendimiento sobresaliente en aplicaciones de transporte de larga distancia y carga pesada.

Las características más destacadas del Scania R500 incluyen:

- **Potente motor:** Este modelo está equipado con un motor diésel de 13 litros de gran potencia, ofreciendo alrededor de 500 caballos de fuerza (500 HP), lo que le permite contar con una capacidad de arrastre excepcional y un rendimiento óptimo en carretera.
- **Tecnología y eficiencia:** El Scania R500 ha sido diseñado con tecnología avanzada para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones, lo que lo convierte en una opción más respetuosa con el medio ambiente.
- **Confort y seguridad:** Se ha prestado especial atención al confort y seguridad del conductor en el diseño de estos camiones, proporcionando una cabina espaciosa y ergonómica que brinda una experiencia de conducción agradable y segura.

- Flexibilidad y personalización: Scania ofrece una amplia gama de opciones de configuración y personalización para adaptarse a las necesidades específicas de cada cliente y tipo de aplicación de transporte.
- Prestigio y confiabilidad: La marca Scania es reconocida por su prestigio y confiabilidad en la industria del transporte, lo que ha llevado a una amplia aceptación de sus camiones en diferentes mercados alrededor del mundo.



En conclusión, el Scania R500 es una elección sobresaliente como cabeza tractora diésel para este proyecto, destacándose por su potencia, eficiencia, comodidad, seguridad, versatilidad y confiabilidad, lo que lo convierte en una opción de alto nivel para aplicaciones de transporte de larga distancia y carga pesada.

7.2 ANEXO 2.2 MODELO DE CAMIÓN GLP

La cabeza tractora Iveco Stralis NP 460 ha sido escogida como el modelo de gas licuado del presente proyecto. Se trata de un modelo perteneciente a la línea Stralis de camiones fabricados por la prestigiosa empresa italiana Iveco. Esta serie de camiones está especialmente diseñada para aplicaciones de transporte de larga distancia, caracterizándose por su enfoque en la eficiencia y sostenibilidad medioambiental.

Entre las características destacadas del Iveco Stralis NP 460 se encuentran las siguientes:

- **Tecnología de propulsión:** El término "NP" en su nombre hace referencia a "Natural Power", indicando que este camión se impulsa mediante un motor que utiliza gas natural como combustible principal. La elección de este combustible contribuye significativamente a reducir las emisiones de gases contaminantes y la huella de carbono, lo que lo convierte en una opción más respetuosa con el medio ambiente.
- **Potencia y rendimiento:** El modelo NP 460 está equipado con un motor de 12.9 litros que proporciona una potencia aproximada de 460 caballos de fuerza (460 HP). Esto asegura una capacidad de arrastre adecuada y un rendimiento eficiente en las operaciones de transporte de larga distancia.
- **Autonomía:** Gracias a su sistema de propulsión a gas, el Iveco Stralis NP 460 puede disfrutar de una notable autonomía, lo que resulta beneficioso para rutas de larga distancia y permite un mayor grado de eficiencia en los desplazamientos.
- **Tecnología y conectividad:** Este camión está equipado con tecnología y sistemas avanzados que mejoran la eficiencia operativa, el confort del conductor y la seguridad en carretera. Estas soluciones de conectividad posibilitan la supervisión y optimización de la flota en tiempo real.

- Compromiso con el medio ambiente: El Iveco Stralis NP 460 refleja el compromiso de la marca con la sostenibilidad y la reducción de la huella ecológica, lo cual lo convierte en una opción atractiva para empresas y operadores que buscan cumplir con regulaciones medioambientales más estrictas y reducir su impacto ambiental.



En resumen, el Iveco Stralis NP 460 es un camión de cabeza tractora que destaca por su tecnología de propulsión a gas natural, su potencia y eficiencia, y su compromiso con el medio ambiente. Es una opción a tener en cuenta para aplicaciones de transporte de larga distancia que busquen reducir las emisiones y mejorar su sostenibilidad operativa.

7.3 ANEXO 2.3 MODELO DE CAMIÓN ELÉCTRICO

La cabeza tractora DAF XD Electric ha sido seleccionada como el modelo eléctrico para el presente proyecto. Representa una destacada y novedosa opción en el ámbito de los camiones eléctricos. DAF, una reconocida marca con una amplia trayectoria en la industria de camiones ha desarrollado este camión eléctrico como parte de su compromiso con la sostenibilidad y su búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente en el transporte de mercancías.

Entre las características más destacadas de la cabeza tractora DAF XD Electric se encuentran:

- **Propulsión eléctrica:** Como su nombre lo indica, el DAF XD Electric utiliza un sistema de propulsión totalmente eléctrico, lo que significa que es impulsado exclusivamente mediante electricidad. Esta característica lo convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente, al no emitir gases contaminantes ni generar ruido, contribuyendo así a reducir la contaminación acústica en áreas urbanas y minimizar la huella de carbono.
- **Potencia y rendimiento:** A pesar de su enfoque eléctrico, el DAF XD Electric ofrece una potencia adecuada para el transporte de cargas pesadas en aplicaciones de larga distancia. Su sistema de propulsión eléctrica ha sido diseñado para brindar un rendimiento óptimo, permitiendo una conducción eficiente y una capacidad de arrastre adecuada.
- **Autonomía y carga rápida:** El camión está equipado con una batería de alta capacidad que le proporciona una considerable autonomía, lo cual resulta esencial para rutas de larga distancia. Además, el DAF XD Electric ha sido diseñado para permitir una

carga rápida de su batería, reduciendo los tiempos de inactividad y optimizando la eficiencia operativa.

- **Tecnología avanzada:** DAF ha dotado al XD Electric con tecnología de vanguardia para mejorar la eficiencia del camión y la experiencia del conductor. Esta tecnología incluye sistemas de gestión inteligente de la energía y opciones de conectividad que permiten una supervisión más efectiva de la flota y la optimización de las operaciones.
- **Compromiso con la sostenibilidad:** La elección de la cabeza tractora DAF XD Electric demuestra el compromiso de la marca con la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental en el transporte de mercancías. Al optar por esta alternativa eléctrica, las empresas y operadores pueden contribuir a la mejora del medio ambiente y cumplir con regulaciones medioambientales más estrictas.





En conclusión, la cabeza tractora DAF XD Electric representa una opción significativa y prometedora en el ámbito de los camiones eléctricos. Su propulsión eléctrica, junto con su potencia, autonomía y tecnología avanzada, la convierten en una elección atractiva para aquellos que buscan reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad en sus operaciones de transporte de mercancías.

7.4 ANEXO 2.4 MODELO DE CAMIÓN DE HIDRÓGENO

El camión Hyundai XCIENT Fuel Cell ha sido elegido como el modelo de hidrógeno para el presente proyecto. Se trata de un camión destacado y pionero en el sector, ya que utiliza celdas de combustible de hidrógeno para su propulsión. Hyundai, una marca automotriz de renombre mundial, ha desarrollado este camión como parte de su compromiso con la movilidad sostenible y la adopción de tecnologías limpias en el transporte de mercancías.

Las características más destacadas del camión Hyundai XCIENT Fuel Cell son las siguientes:

- **Propulsión por celdas de combustible de hidrógeno:** Este camión utiliza un sistema de celdas de combustible que se alimenta de hidrógeno para generar electricidad y alimentar su motor eléctrico. Este enfoque de propulsión es innovador y respetuoso con el medio ambiente, ya que la única emisión resultante es vapor de agua.
- **Potencia y capacidad de carga:** El Hyundai XCIENT Fuel Cell cuenta con una potente configuración de celdas de combustible que le proporciona la potencia

necesaria para el transporte de cargas pesadas en aplicaciones de larga distancia. Además, su capacidad de carga y rendimiento operativo son comparables a los camiones convencionales con motor diésel.

- **Autonomía:** Gracias a su sistema de propulsión de hidrógeno, el XCIENT Fuel Cell disfruta de una notable autonomía, lo que resulta esencial para rutas de larga distancia y aplicaciones de transporte intensivo. Esta autonomía ampliada permite una mayor eficiencia y flexibilidad en las operaciones de transporte.
- **Tecnología y desarrollo:** Hyundai ha invertido en el desarrollo y mejora de la tecnología de celdas de combustible de hidrógeno para su aplicación en camiones comerciales. El XCIENT Fuel Cell es un ejemplo del progreso alcanzado en la integración de esta tecnología en el transporte de mercancías.
- **Sostenibilidad y reducción de emisiones:** Al utilizar hidrógeno como fuente de energía, el XCIENT Fuel Cell contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mitigación del cambio climático. Al no producir emisiones contaminantes, este camión es una opción atractiva para aquellos que buscan reducir su impacto ambiental en el transporte de mercancías.



En resumen, el camión Hyundai XCIENT Fuel Cell representa una solución innovadora en el ámbito del transporte de mercancías, impulsado por celdas de combustible de hidrógeno. Su tecnología avanzada, potencia, autonomía y compromiso con la sostenibilidad lo convierten en una opción a considerar para aquellos que buscan una alternativa más limpia y eficiente en el transporte de carga.

ANEXO III OPERACIONES EN HOJAS DE COSTES

En el presente anexo se expondrán las fórmulas empleadas para calcular los costes variables necesarios en el estudio de inversión de un camión. Los dos primeros apartados describirán las fórmulas utilizadas para obtener los costes fijos y variables, respectivamente. Los apartados restantes presentarán los costes totales obtenidos para los camiones GLP, eléctrico y de hidrógeno. Cabe mencionar que la hoja de costes correspondiente al camión diésel se ha incluido en el apartado 4.2.3.1 del documento para mostrar y explicar sus inputs.

7.5 ANEXO 3.1 HOJA DE COSTES FIJOS

En vista de que se han explicado previamente los inputs requeridos para calcular los costes fijos en apartados anteriores del documento, en esta sección se presentarán las fórmulas utilizadas para obtener los outputs necesarios para obtener dichos costes fijos.

$$\text{Mano de obra} \left[\frac{\text{€}}{\text{mes}} \right] = N^{\circ} \text{ de conductores} \cdot \left(\text{Sueldo} \left[\frac{\text{€}}{\text{mes}} \right] + \text{Bonos} \left[\frac{\text{€}}{\text{mes}} \right] \right)$$

$$\text{Seguro camión} \left[\frac{\text{€}}{\text{mes}} \right] = \frac{\text{Seguro} \left[\frac{\text{€}}{\text{año}} \right]}{12 \text{ meses}}$$

$$\text{Costes fijos} \left[\frac{\text{€}}{\text{h}} \right] = \frac{\text{Mano de obra} \left[\frac{\text{€}}{\text{mes}} \right] + \text{Seguro camión} \left[\frac{\text{€}}{\text{mes}} \right] + \text{Costes admin.} \left[\frac{\text{€}}{\text{mes}} \right]}{\text{Horas disponibles de conducción} \left[\frac{\text{h}}{\text{mes}} \right]}$$

$$\text{Coste Fijo por viaje} \left[\frac{\text{€}}{\text{viaje}} \right] = \text{Costes Fijos} \left[\frac{\text{€}}{\text{km}} \right] \cdot \text{Horas disponibles de conducción} \left[\frac{\text{h}}{\text{jornada}} \right]$$

7.6 ANEXO 3.2 HOJA DE COSTES VARIABLES

En vista de que se han explicado previamente los inputs requeridos para calcular los costes variables en apartados anteriores del documento, en esta sección se presentarán las fórmulas utilizadas para obtener los outputs necesarios para analizar dichos costes variables.

$$\text{Combustible} \left[\frac{\text{€}}{\text{km}} \right] = \frac{\text{Precio de combustible} \left[\frac{\text{€}}{\text{litro}} \right]}{\text{Consumo de combustible} \left[\frac{\text{km}}{\text{litro}} \right]}$$

$$\text{Aceite} \left[\frac{\text{€}}{\text{km}} \right] = \frac{\text{Litros necesarios} [\text{litros}] \cdot \text{Precio del aceite} \left[\frac{\text{€}}{\text{litro}} \right]}{\text{Intervalo de cambio de aceite} [\text{km}]}$$

$$\text{Mantenimiento} \left[\frac{\text{€}}{\text{km}} \right] = \frac{\text{Mantto promedio} [\text{€}]}{\text{Intervalo de mantto} [\text{km}]}$$

$$\text{Neumáticos} \left[\frac{\text{€}}{\text{km}} \right] = \frac{N^{\circ} \text{ neumáticos} \cdot (\text{Precio 1 neumático} [\text{€}] + (N^{\circ} \text{ reencauches} \cdot \text{Precio 1 reencauche} [\text{€}]))}{(N^{\circ} \text{ reencauches} + 1) \cdot \text{Intervalo de cambio} [\text{km}]}$$

El coste variable total en €/km será igual a la suma de los costes variables de combustible, aceite, mantenimiento y gasto en neumáticos.

$$\text{Coste Variable por viaje} \left[\frac{\text{€}}{\text{viaje}} \right] = \text{Coste Variable Total} \left[\frac{\text{€}}{\text{km}} \right] \cdot \text{Distancia en cada viaje} \left[\frac{\text{km}}{\text{viaje}} \right]$$

Una vez se dispone del coste variable por viaje y del coste fijo por viaje, desarrollado en el apartado anterior, se puede obtener el coste total asumido al año:

$$\begin{aligned} \text{Coste Total Asumido} \left[\frac{\text{€}}{\text{año}} \right] \\ = N^{\circ} \text{ viajes} \left[\frac{\text{viajes}}{\text{año}} \right] \\ \cdot \left(\text{Peajes} \left[\frac{\text{€}}{\text{viaje}} \right] + \text{Coste Variable por viaje} \left[\frac{\text{€}}{\text{viaje}} \right] + \text{Coste Fijo por viaje} \left[\frac{\text{€}}{\text{viaje}} \right] \right) \end{aligned}$$

En los siguientes apartados del presente anexo se exponen los cálculos realizados hasta ahora. Tras un análisis detallado, se puede apreciar que el camión de hidrógeno exhibe los mayores costes variables debido a que el precio del hidrógeno como combustible aún no puede competir con el de tecnologías como el diésel. En segundo y tercer lugar se sitúan las tecnologías diésel y eléctrica, respectivamente, mientras que los camiones GLP se presentan como la opción más económica. En la tabla siguiente se muestran las diferencias de algunos de los principales costes según la tecnología para el viaje objeto de estudio:

Tabla 26. Resumen comparativo de costes según tecnología. Fuente: elaboración propia.

<i>Tecnología</i>	<i>Camión Diésel</i>	<i>Camión GLP</i>	<i>Camión Eléctrico</i>	<i>Camión de Hidrógeno</i>
Coste de combustible	0,36 €/km	0,25 €/km	0,44 €/km	0,62 €/km
Peajes	19,75 €/viaje	19,75 €/viaje	9,88 €/viaje	9,88 €/viaje
Costes Variables	0,6 €/km	0,56 €/km	0,6 €/km	0,88 €/km
Coste Total	203.398,05 €	195.320,57 €	199.948,86 €	256.407,95 €

7.7 ANEXO 3.3 COSTES VARIABLES EN UN CAMIÓN GLP

INPUT DE DATOS GLP			OUTPUT		
Datos de operación			Días de Viaje		
Horas disponibles de conducción	horas / día	8	Días por viaje Real	Días	1,5
Horas disponibles de conducción	horas / mes	180			
Horas de conducción (óptimas)	horas / día	8			
Días de viaje (óptimos)	Días	1			
Km x viaje	Km	666,666667			
Peaje GLP	€/ km	0,20			
Datos de vehículo			Costes Variables		
Modelo	Iveco Stralis NP 460		Km x viaje	666,67	
Inversión	€	114000	Combustible	€/ km	0,25 €
Ayuda económica	€	0	Aceite	€/ km	0,02 €
Coste Real	€	114000	Neumáticos	€/ km	0,05 €
Tiempo Horizonte	Años	10	Mantenimiento	€/ km	0,23 €
Depreciación	Años	17			
Valor Residual	%	6%			
Precio de Venta	€	47900			
Emissiones de CO2	kg CO2/km	0,6494			
Consumo de combustible	Km / Kg	3,673769287			
Intervalo entre cambio de aceite	Km	10000			
Aceite por cambio	Litro	25,5			
Número de neumáticos	-	5			
Mantto promedio	€	3500			
Intervalo entre reencauches	Km	50000			
Número de reencauches	-	1			
Km para mantto.	Km	15000			
Peajes x viaje	€/ Viaje	19,75196095			
Datos de mercado sobre el camión			COSTE VARIABLE		
Precio del aceite	€/ Litro	7,47	€/ km	0,56 €	
Precio del combustible	€/ Kg	0,93			
Precio de neumático	€	675,9			
Precio del reencauche	€	405,54			
			Peajes		
			x Viaje	19,75 €	
			Indicadores		
			Costes fijos	€/ hora	21,57
			Costes variables	€/ km	0,56
			Euros		
			Costes fijos por viaje	258,79 €	41%
			Costes variables por viaje	372,52 €	59%
			Coste total por viaje	651,07 €	
			Euro		
			Coste total asumido al año	€	195.320,57 €
			Emisiones al año	kg CO2	129.880 kg

Imagen 14. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo GLP. Fuente: elaboración propia.

7.8 ANEXO 3.4 COSTES VARIABLES EN UN CAMIÓN ELÉCTRICO

INPUT DE DATOS ELÉCTRICO		
Datos de operación		
Horas disponibles de conducción	horas / día	8
Horas disponibles de conducción	horas / mes	180
Horas de conducción (óptimas)	horas / día	8
Días de viaje (óptimos)	Días	1
Km x viaje	Km	666,66667
Peaje Eléctrico	€ / km	0,1
Datos de vehículo		
Modelo	DAF XD Electric	
Inversión	€	145000
Ayuda económica	€	7000
Coste Real	€	138000
Tiempo Horizonte	Años	10
Depreciación	Años	15
Valor Residual	%	6%
Precio de Venta	€	66783,6538
Emisiones de CO2	kg CO2/km	0
Consumo de combustible	Km / kWh	1,58730159
Intervalo entre cambio de aceite	Km	1
Aceite por cambio	Litro	0
Número de neumáticos	-	5
Mantto promedio	€	1525
Intervalo entre reencaches	Km	50000
Número de reencaches	-	1
Km para mantto.	Km	15000
Peajes x viaje	€ / Viaje	9,87598048
Datos de mercado sobre el camión		
Precio del aceite	€ / Litro	0
Precio del combustible	€ / kWh	0,70
Precio de neumático	€	675,9
Precio del reencache	€	405,54

OUTPUT		
Días de Viaje		
Días por viaje Real	Días	1,5
Costes Variables Km x viaje 666,67		
Combustible	€ / km	0,44 €
Aceite	€ / km	0,00 €
Neumáticos	€ / km	0,05 €
Mantenimiento	€ / km	0,10 €
COSTE VARIABLE	€ / km	0,60 €
Peajes	x Viaje	9,88 €
Indicadores		
Costes fijos	€ / hora	21,57
Costes variables	€ / km	0,60
Euros %		
Costes fijos por viaje	258,79 €	39%
Costes variables por viaje	397,83 €	61%
Coste total por viaje	666,50 €	
Coste total asumido al año	€	199.948,86 €
Emisiones al año	kg CO2	0 kg

Imagen 15. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo eléctrico. Fuente: elaboración propia.

7.9 ANEXO 3.5 COSTES VARIABLES EN UN CAMIÓN DE HIDRÓGENO

INPUT DE DATOS HIDRÓGENO		
Datos de operación		
Horas disponibles de conducción	horas / día	8
Horas disponibles de conducción	horas / mes	180
Horas de conducción (óptimas)	horas / día	8
Días de viaje (óptimos)	Días	1
Km x viaje	Km	666,666667
Peaje Eléctrico	€ / km	0,1
Datos de vehículo		
Modelo	Hyundai XCIENT Fuel Cell	
Inversión	€	150000
Ayuda económica	€	7000
Coste Real	€	143000
Tiempo Horizonte	Años	10
Depreciación	Años	12
Valor Residual	%	6%
Precio de Venta	€	69086,5385
Emisiones de CO2	kg CO2/km	0
Consumo de combustible	Km / kg	12,9032258
Intervalo entre cambio de aceite	Km	1
Aceite por cambio	Litro	0
Número de neumáticos	-	7
Mantto promedio	€	2750
Intervalo entre reencauches	Km	50000
Número de reencauches	-	1
Km para mantto.	Km	15000
Peajes x viaje	€ / Viaje	9,87598048
Datos de mercado sobre el camión		
Precio del aceite	€ / Litro	0
Precio del combustible	€ / kg	8,00
Precio de neumático	€	675,9
Precio del reencauche	€	405,54

OUTPUT		
Días de Viaje		
Días por viaje Real	Días	1,5
Costes Variables	Km x viaje	666,67
Combustible	€ / km	0,62 €
Aceite	€ / km	0,00 €
Neumáticos	€ / km	0,08 €
Mantenimiento	€ / km	0,18 €
COSTE VARIABLE	€ / km	0,88 €
Peajes	x Viaje	9,88 €
Indicadores		
Costes fijos	€ / hora	21,57
Costes variables	€ / km	0,88
Euros %		
Costes fijos por viaje	258,79 €	31%
Costes variables por viaje	586,02 €	69%
Coste total por viaje	854,69 €	
Coste total asumido al año	€	256.407,95 €
Emisiones al año	kg CO2	0 kg

Imagen 16. Hoja de cálculo de costes variables para el modelo de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

ANEXO IV HOJAS DE INVERSIÓN

En el presente anexo se expondrán las hojas de inversión obtenidas una vez implementados los valores de costes fijos, variables y de inversión. Cabe mencionar que la hoja de inversión correspondiente al camión diésel se ha incluido en el apartado 4.2.3.2 del documento para explicarla.

7.10 ANEXO 4.1 MODELO DE CAMIÓN GLP

Investment: 114.000,00	Period	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Horizon: 10 years	Variation		300	304	307	311	315	318	322	326	330	334	
Units: 300	Inflation		1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	
Variation: 1,2%	DOL		3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	
Unit Price: 821,09	Break even		821,09	847,36	874,48	902,46	931,34	961,14	991,90	1.023,64	1.056,40	1.090,20	
Inflation: 3,2%													
Operating Expenses: 195.320,57													
% of COGS(out of total costs): 59,0%													
% COGS: 46,8%													
	Revenues	246.326,24	257.259,19	268.677,38	280.602,35	293.056,61	306.063,63	319.647,96	333.835,22	348.652,16	364.126,74		
	- COGS	115.253,17	120.368,57	125.711,00	131.290,56	137.117,76	143.203,60	149.559,55	156.197,60	163.130,27	170.370,64		
	- SG&A	80.067,40	82.629,56	85.273,70	88.002,46	90.818,54	93.724,73	96.723,92	99.819,09	103.013,30	106.309,73		
	EBITDA	51.005,67	54.261,06	57.692,67	61.309,33	65.120,31	69.135,30	73.364,49	77.818,53	82.508,59	87.446,37		
Depreciation: 17 years	- Depreciation	6.303,53	6.303,53	6.303,53	6.303,53	6.303,53	6.303,53	6.303,53	6.303,53	6.303,53	6.303,53		
Salvage Value: 6,0%	Pretax Profit	44.702,14	47.957,53	51.389,14	55.005,80	58.816,78	62.831,77	67.060,96	71.515,00	76.205,06	81.142,84		
Taxes: 21%	- Taxes	9.387,45	10.071,08	10.791,72	11.551,22	12.351,52	13.194,67	14.082,80	15.018,15	16.003,06	17.040,00		
	NOPAT	35.314,69	37.886,45	40.597,42	43.454,58	46.465,25	49.637,10	52.978,16	56.496,85	60.202,00	64.102,84		
Selling price: 47.900,00	Book Value	114.000,00	107.696,47	101.392,94	95.089,41	88.785,88	82.482,35	76.178,82	69.875,29	63.571,76	57.268,24	50.964,71	
	Capex (114.000,00)												
	Taxes											643,59	
	NCS	(114.000,00)										48.543,59	
Days in inventory: 90 days	Inventory	28.418,59	29.679,92	30.997,23	32.373,02	33.809,86	35.310,48	36.877,70	38.514,48	40.223,90	42.009,20		
Collection Period: 60 days	Acc. Receivable	40.491,98	42.289,18	44.166,14	46.126,41	48.173,69	50.311,83	52.544,87	54.877,02	57.312,68	59.856,45		
Cash Ratio: 40%	Cash	11.473,69	11.950,34	12.447,10	12.964,84	13.504,44	14.066,84	14.653,03	15.264,00	15.900,84	16.564,64		
Payables Due: 70 days	Payables	22.103,35	23.084,38	24.108,96	25.179,01	26.296,56	27.463,70	28.682,65	29.955,70	31.285,26	32.673,82		
Accrued Due: 30 days	Accrued	6.580,88	6.791,47	7.008,80	7.233,08	7.464,54	7.703,40	7.949,91	8.204,31	8.466,85	8.737,79		
	- NWC	(51.700,04)	(54.043,59)	(56.492,72)	(59.052,18)	(61.726,89)	(64.522,04)	(67.443,03)	(70.495,49)	(73.685,32)	(77.018,68)		
	- ΔNWC	(51.700,04)	(2.343,55)	(2.449,13)	(2.559,45)	(2.674,72)	(2.795,15)	(2.920,99)	(3.052,46)	(3.189,83)	73.685,32		
	OCF	41.618,22	44.189,98	46.900,95	49.758,11	52.768,78	55.940,63	59.281,69	62.800,38	66.505,53	70.406,37		
	NCS	(114.000,00)										48.543,59	
	ΔNWC	(51.700,04)	(2.343,55)	(2.449,13)	(2.559,45)	(2.674,72)	(2.795,15)	(2.920,99)	(3.052,46)	(3.189,83)	73.685,32		
	Free Cash Flow	(114.000,00)	(10.081,81)	41.846,43	44.451,82	47.198,66	50.094,07	53.145,48	56.360,70	59.747,92	63.315,69	192.635,28	
	Other (Opp, Erosion, ...)												
PROJECT	PV: 275.825,08	FCF	(114.000,00)	(10.081,81)	41.846,43	44.451,82	47.198,66	50.094,07	53.145,48	56.360,70	59.747,92	63.315,69	192.635,28
	WACC: 12,0%												
	NPV: 161.825,08												
	Payback Period: 3,8 years												
	IRR: 30,1%												

Imagen 17. Hoja de inversión para el modelo GLP. Fuente: elaboración propia.

7.11 ANEXO 4.2 MODELO DE CAMIÓN ELÉCTRICO

Investment: 138.000,00	Time Horizon: 10 years	Period	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Units: 300				300	304	307	311	315	318	322	326	330	334
Variation: 1,2%		Variation		1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%
Unit Price: 821,09			821,09	847,36	874,48	902,46	931,34	961,14	991,90	1.023,64	1.056,40	1.090,20	
Inflation: 3,2%		Inflation		3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%
Operating Expenses: 199.948,86		DOL											
% of COGS(out of total costs): 60,6%		Break even											
% COGS: 49,2%													
		Revenues	246.326,24	257.259,19	268.677,38	280.602,35	293.056,61	306.063,63	319.647,96	333.835,22	348.652,16	364.126,74	
		- COGS	121.142,80	126.519,60	132.135,05	137.999,73	144.124,71	150.521,54	157.202,29	164.179,55	171.466,50	179.076,87	
		- SG&A	78.806,06	81.327,86	83.930,35	86.616,12	89.387,83	92.248,25	95.200,19	98.246,60	101.390,49	104.634,98	
		EBITDA	46.377,38	49.411,73	52.611,98	55.986,51	59.544,07	63.293,85	67.245,48	71.409,07	75.795,17	80.414,89	
Depreciation: 15 years		- Depreciation	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00	8.648,00
Salvage Value: 6,0%		Pretax Profit	37.729,38	40.763,73	43.963,98	47.338,51	50.896,07	54.645,85	58.597,48	62.761,07	67.147,17	71.766,89	
Taxes: 21%		- Taxes	7.923,17	8.560,38	9.232,44	9.941,09	10.688,17	11.475,63	12.305,47	13.179,82	14.100,91	15.071,05	
		NOPAT	29.806,21	32.203,35	34.731,55	37.397,42	40.207,89	43.170,22	46.292,01	49.581,24	53.046,27	56.695,84	
		Book Value	138.000,00	129.352,00	120.704,00	112.056,00	103.408,00	94.760,00	86.112,00	77.464,00	68.816,00	60.168,00	51.520,00
Selling price: 66.783,65		Capex	(138.000,00)										66.783,65
		Taxes											(3.205,37)
		NCS	(138.000,00)										63.578,29
Days in inventory: 90 days		Inventory	29.870,83	31.196,61	32.581,24	34.027,33	35.537,60	37.114,90	38.762,21	40.482,63	42.279,41	44.155,94	
Collection Period: 60 days		Acc. Receivable	40.491,98	42.289,18	44.166,14	46.126,41	48.173,69	50.311,83	52.544,87	54.877,02	57.312,68	59.856,45	
Cash Ratio: 40%		Cash	11.884,03	12.379,41	12.895,74	13.433,93	13.994,92	14.579,68	15.189,22	15.824,62	16.486,98	17.177,46	
Payables Due: 70 days		Payables	23.232,87	24.264,03	25.340,97	26.465,70	27.640,35	28.867,14	30.148,38	31.486,49	32.883,99	34.343,51	
Accrued Due: 30 days		Accrued	6.477,21	6.684,48	6.898,38	7.119,13	7.346,95	7.582,05	7.824,67	8.075,06	8.333,46	8.600,14	
		- NWC	(52.536,77)	(54.916,69)	(57.403,78)	(60.002,84)	(62.718,91)	(65.557,21)	(68.523,24)	(71.622,72)	(74.861,62)	(78.246,20)	
		- ANWC	(52.536,77)	(2.379,92)	(2.487,09)	(2.599,07)	(2.716,06)	(2.838,31)	(2.966,03)	(3.099,48)	(3.238,90)	(3.383,90)	74.861,62
		OCF	38.454,21	40.851,35	43.379,55	46.045,42	48.855,89	51.818,22	54.940,01	58.229,24	61.694,27	65.343,84	
		NCS	(138.000,00)										63.578,29
		ΔNWC	(52.536,77)	(2.379,92)	(2.487,09)	(2.599,07)	(2.716,06)	(2.838,31)	(2.966,03)	(3.099,48)	(3.238,90)	(3.383,90)	74.861,62
		Free Cash Flow	(138.000,00)	(14.082,56)	38.471,43	40.892,46	43.446,35	46.139,83	48.979,91	51.973,98	55.129,77	58.455,36	203.783,75
		Other (Opp, Erosion, ...)											
		FCF	(138.000,00)	(14.082,56)	38.471,43	40.892,46	43.446,35	46.139,83	48.979,91	51.973,98	55.129,77	58.455,36	203.783,75

PROJECT	PV: 258.277,47
	WACC: 12,0%
	NPV: 120.277,47
	Payback Period: 4,6 years
	IRR: 23,7%

Imagen 18. Hoja de inversión para el modelo eléctrico. Fuente: elaboración propia.

7.12 ANEXO 4.3 MODELO DE CAMIÓN DE HIDRÓGENO

Investment: 143.000,00	Time Horizon: 10 years	Period	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Units: 300				300	304	307	311	315	318	322	326	330	334
Variation: 1,2%		Variation		1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%
Unit Price: 821,09			821,09	847,36	874,48	902,46	931,34	961,14	991,90	1.023,64	1.056,40	1.090,20	
Inflation: 3,2%		Inflation		3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%
Operating Expenses: 256.407,95		DOL											
% of COGS(out of total costs): 69,4%		Break even											
% COGS: 72,2%													
		Revenues	246.326,24	257.259,19	268.677,38	280.602,35	293.056,61	306.063,63	319.647,96	333.835,22	348.652,16	364.126,74	
		- COGS	177.862,02	185.756,25	194.000,86	202.611,39	211.604,09	220.995,93	230.804,61	241.048,65	251.747,35	262.920,90	
		- SG&A	78.545,93	81.059,40	83.653,30	86.330,21	89.092,77	91.943,74	94.885,94	97.922,29	101.055,81	104.289,59	
		EBITDA	(10.081,71)	(9.556,47)	(8.976,78)	(8.339,24)	(7.640,26)	(6.876,04)	(6.042,60)	(5.135,72)	(4.151,00)	(3.083,76)	
Depreciation: 12 years		- Depreciation	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67	11.201,67
Salvage Value: 6,0%		Pretax Profit	(21.283,38)	(20.758,13)	(20.178,45)	(19.540,91)	(18.841,93)	(18.077,71)	(17.244,26)	(16.337,39)	(15.352,66)	(14.285,43)	
Taxes: 21%		- Taxes	(4.469,51)	(4.359,21)	(4.237,47)	(4.103,59)	(3.956,80)	(3.796,32)	(3.621,30)	(3.430,85)	(3.224,06)	(2.999,94)	
		NOPAT	(16.813,87)	(16.398,93)	(15.940,97)	(15.437,32)	(14.885,12)	(14.281,39)	(13.622,97)	(12.906,54)	(12.128,60)	(11.285,49)	
		Book Value	143.000,00	131.798,33	120.596,67	109.395,00	98.193,33	86.991,67	75.790,00	64.588,33	53.386,67	42.185,00	30.983,33
Selling price: 69.086,54		Capex	(143.000,00)										69.086,54
		Taxes											(8.001,67)
		NCS	(143.000,00)										61.084,87
Days in inventory: 90 days		Inventory	43.856,39	45.802,91	47.835,83	49.958,97	52.176,35	54.492,15	56.910,73	59.436,65	62.074,69	64.829,81	
Collection Period: 60 days		Acc. Receivable	40.491,98	42.289,18	44.166,14	46.126,41	48.173,69	50.311,83	52.544,87	54.877,02	57.312,68	59.856,45	
Cash Ratio: 40%		Cash	16.226,54	16.914,76	17.632,50	18.381,04	19.161,72	19.975,92	20.825,10	21.710,77	22.634,51	23.597,97	
Payables Due: 70 days		Payables	34.110,52	35.624,49	37.205,64	38.856,98	40.581,61	42.382,78	44.263,90	46.228,51	48.280,31	50.423,19	
Accrued Due: 30 days		Accrued	6.455,83	6.662,42	6.875,61	7.095,63	7.322,69	7.557,02	7.798,84	8.048,41	8.305,96	8.571,75	
		- NWC	(60.008,56)	(62.719,95)	(65.553,22)	(68.513,82)	(71.607,46)	(74.840,10)	(78.217,95)	(81.747,53)	(85.435,61)	(89.289,30)	
		- ΔNWC	(60.008,56)	(2.711,39)	(2.833,27)	(2.960,60)	(3.093,64)	(3.232,64)	(3.377,85)	(3.529,57)	(3.688,09)	(3.853,61)	
		OCF	(5.612,20)	(5.197,26)	(4.739,31)	(4.235,65)	(3.683,46)	(3.079,72)	(2.421,30)	(1.704,87)	(926,94)	(83,82)	
		NCS	(143.000,00)										61.084,87
		ΔNWC	(60.008,56)	(2.711,39)	(2.833,27)	(2.960,60)	(3.093,64)	(3.232,64)	(3.377,85)	(3.529,57)	(3.688,09)	(3.853,61)	
		Free Cash Flow	(143.000,00)	(65.620,76)	(7.908,65)	(7.572,57)	(7.196,26)	(6.777,10)	(6.312,36)	(5.799,15)	(5.234,44)	(4.615,02)	146.436,66
		Other (Opp, Erosion...)											
		FCF	(143.000,00)	(65.620,76)	(7.908,65)	(7.572,57)	(7.196,26)	(6.777,10)	(6.312,36)	(5.799,15)	(5.234,44)	(4.615,02)	146.436,66

PROJECT	PV: (41.154,48)
	WACC: 12,0%
	NPV: (184.154,48)
	Payback Period: 40,0 years
	IRR: -6,5%

Imagen 19. Hoja de inversión para el modelo de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

ANEXO V ESCENARIOS ALTERNATIVOS

En el presente anexo, se presentarán los resultados obtenidos para cada una de las empresas en el apartado 5.3 de este documento. Conforme se ha explicado en dicho apartado, se han explorado doce escenarios distintos que reflejan una progresiva adquisición de cuota de mercado por parte de las tecnologías verdes. Esta transición implica una disminución gradual de la presencia de camiones diésel y, por ende, una reducción progresiva de las emisiones de CO₂. El propósito de estos escenarios es observar la posible evolución del sector en los años venideros, considerando tanto los aspectos económicos como medioambientales.

A continuación, se proporciona como recordatorio la distribución de camiones según su tecnología para cada uno de los escenarios estudiados en dicho apartado:

Escenario	% Diésel	% GLP	% Eléctrico	% Hidrógeno	Suma
Escenario 1	90,0%	7,0%	3,0%	0,0%	100,0%
Escenario 2	85,0%	10,0%	5,0%	0,0%	100,0%
Escenario 3	70,0%	20,0%	10,0%	0,0%	100,0%
Escenario 4	60,0%	25,0%	10,0%	5,0%	100,0%
Escenario 5	50,0%	30,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 6	40,0%	40,0%	15,0%	5,0%	100,0%
Escenario 7	30,0%	40,0%	25,0%	5,0%	100,0%
Escenario 8	30,0%	30,0%	30,0%	10,0%	100,0%
Escenario 9	30,0%	30,0%	20,0%	20,0%	100,0%
Escenario 10	20,0%	20,0%	40,0%	20,0%	100,0%
Escenario 11	15,0%	15,0%	40,0%	30,0%	100,0%
Escenario 12	10,0%	15,0%	45,0%	30,0%	100,0%

7.13 ANEXO 5.1 ESCENARIO 1

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	1.890	245.700.000,00 €	Emisiones Diesel	288.792,0 ton CO2	Present Value:	492.079.765,16 €
Camiones GLP	147	16.758.000,00 €	Emisiones GLP	19.092,4 ton CO2	NPV:	220.927.765,16 €
Camiones Eléctricos	63	8.694.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,753 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,008%
Total	2.100	271.152.000,00 €	Total	307.884 ton CO2	PV/Inv:	181,48%
GLS Spain						
Camiones Diesel	405	52.650.000,00 €	Emisiones Diesel	61.884,0 ton CO2	Present Value:	105.445.663,96 €
Camiones GLP	32	3.591.000,00 €	Emisiones GLP	4.091,2 ton CO2	NPV:	47.341.663,96 €
Camiones Eléctricos	14	1.863.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,753 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,008%
Total	450	58.104.000,00 €	Total	65.975 ton CO2	PV/Inv:	181,48%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	2.160	280.800.000,00 €	Emisiones Diesel	330.048,0 ton CO2	Present Value:	562.376.874,47 €
Camiones GLP	168	19.152.000,00 €	Emisiones GLP	21.819,8 ton CO2	NPV:	252.488.874,47 €
Camiones Eléctricos	72	9.936.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,753 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,008%
Total	2.400	309.888.000,00 €	Total	351.868 ton CO2	PV/Inv:	181,48%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	1.350	175.500.000,00 €	Emisiones Diesel	206.280,0 ton CO2	Present Value:	351.485.546,54 €
Camiones GLP	105	11.970.000,00 €	Emisiones GLP	13.637,4 ton CO2	NPV:	157.805.546,54 €
Camiones Eléctricos	45	6.210.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,753 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,008%
Total	1.500	193.680.000,00 €	Total	219.917 ton CO2	PV/Inv:	181,48%
Carreras SL						
Camiones Diesel	540	70.200.000,00 €	Emisiones Diesel	82.512,0 ton CO2	Present Value:	140.594.218,62 €
Camiones GLP	42	4.788.000,00 €	Emisiones GLP	5.455,0 ton CO2	NPV:	63.122.218,62 €
Camiones Eléctricos	18	2.484.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,753 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,008%
Total	600	77.472.000,00 €	Total	87.967 ton CO2	PV/Inv:	181,48%

Imagen 20. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 1. Fuente: elaboración propia.

7.14 ANEXO 5.2 ESCENARIO 2

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	1.785	232.050.000,00 €	Emisiones Diesel	272.748,0 ton CO2	Present Value:	496.055.377,70 €
Camiones GLP	210	23.940.000,00 €	Emisiones GLP	27.274,8 ton CO2	NPV:	225.575.377,70 €
Camiones Eléctricos	105	14.490.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,719 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,263%
Total	2.100	270.480.000,00 €	Total	300.023 ton CO2	PV/Inv:	183,40%
GLS Spain						
Camiones Diesel	383	49.725.000,00 €	Emisiones Diesel	58.446,0 ton CO2	Present Value:	106.297.580,93 €
Camiones GLP	45	5.130.000,00 €	Emisiones GLP	5.844,6 ton CO2	NPV:	48.337.580,93 €
Camiones Eléctricos	23	3.105.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,719 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,263%
Total	450	57.960.000,00 €	Total	64.291 ton CO2	PV/Inv:	183,40%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	2.040	265.200.000,00 €	Emisiones Diesel	311.712,0 ton CO2	Present Value:	566.920.431,65 €
Camiones GLP	240	27.360.000,00 €	Emisiones GLP	31.171,2 ton CO2	NPV:	257.800.431,65 €
Camiones Eléctricos	120	16.560.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,719 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,263%
Total	2.400	309.120.000,00 €	Total	342.883 ton CO2	PV/Inv:	183,40%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	1.275	165.750.000,00 €	Emisiones Diesel	194.820,0 ton CO2	Present Value:	354.325.269,78 €
Camiones GLP	150	17.100.000,00 €	Emisiones GLP	19.482,0 ton CO2	NPV:	161.125.269,78 €
Camiones Eléctricos	75	10.350.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,719 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,263%
Total	1.500	193.200.000,00 €	Total	214.302 ton CO2	PV/Inv:	183,40%
Carreras SL						
Camiones Diesel	510	66.300.000,00 €	Emisiones Diesel	77.928,0 ton CO2	Present Value:	141.730.107,91 €
Camiones GLP	60	6.840.000,00 €	Emisiones GLP	7.792,8 ton CO2	NPV:	64.450.107,91 €
Camiones Eléctricos	30	4.140.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,719 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,263%
Total	600	77.280.000,00 €	Total	85.721 ton CO2	PV/Inv:	183,40%

Imagen 21. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 2. Fuente: elaboración propia.

7.15 ANEXO 5.3 ESCENARIO 3

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	1.470	191.100.000,00 €	Emisiones Diesel	224.616,0 ton CO2	Present Value:	508.382.007,05 €
Camiones GLP	420	47.880.000,00 €	Emisiones GLP	54.549,6 ton CO2	NPV:	240.422.007,05 €
Camiones Eléctricos	210	28.980.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,606 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,091%
Total	2.100	267.960.000,00 €	Total	279.166 ton CO2	PV/Inv:	189,72%
GLS Spain						
Camiones Diesel	315	40.950.000,00 €	Emisiones Diesel	48.132,0 ton CO2	Present Value:	108.939.001,51 €
Camiones GLP	90	10.260.000,00 €	Emisiones GLP	11.689,2 ton CO2	NPV:	51.519.001,51 €
Camiones Eléctricos	45	6.210.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,606 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,091%
Total	450	57.420.000,00 €	Total	59.821 ton CO2	PV/Inv:	189,72%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	1.680	218.400.000,00 €	Emisiones Diesel	256.704,0 ton CO2	Present Value:	581.008.008,06 €
Camiones GLP	480	54.720.000,00 €	Emisiones GLP	62.342,4 ton CO2	NPV:	274.768.008,06 €
Camiones Eléctricos	240	33.120.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,606 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,091%
Total	2.400	306.240.000,00 €	Total	319.046 ton CO2	PV/Inv:	189,72%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	1.050	136.500.000,00 €	Emisiones Diesel	160.440,0 ton CO2	Present Value:	363.130.005,04 €
Camiones GLP	300	34.200.000,00 €	Emisiones GLP	38.964,0 ton CO2	NPV:	171.730.005,04 €
Camiones Eléctricos	150	20.700.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,606 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,091%
Total	1.500	191.400.000,00 €	Total	199.404 ton CO2	PV/Inv:	189,72%
Carreras SL						
Camiones Diesel	420	54.600.000,00 €	Emisiones Diesel	64.176,0 ton CO2	Present Value:	145.252.002,02 €
Camiones GLP	120	13.680.000,00 €	Emisiones GLP	15.585,6 ton CO2	NPV:	68.692.002,02 €
Camiones Eléctricos	60	8.280.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	4,606 years
Camiones Hidrógeno	0	0,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,091%
Total	600	76.560.000,00 €	Total	79.762 ton CO2	PV/Inv:	189,72%

Imagen 22. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 3. Fuente: elaboración propia.

7.16 ANEXO 5.4 ESCENARIO 4

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	1.260	163.800.000,00 €	Emisiones Diesel	192.528,0 ton CO2	Present Value:	484.487.690,34 €
Camiones GLP	525	59.850.000,00 €	Emisiones GLP	68.187,0 ton CO2	NPV:	216.842.690,34 €
Camiones Eléctricos	210	28.980.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,312 years
Camiones Hidrógeno	105	15.015.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,010%
Total	2.100	267.645.000,00 €	Total	260.715 ton CO2	PV/Inv:	181,02%
GLS Spain						
Camiones Diesel	270	35.100.000,00 €	Emisiones Diesel	41.256,0 ton CO2	Present Value:	103.818.790,79 €
Camiones GLP	113	12.825.000,00 €	Emisiones GLP	14.611,5 ton CO2	NPV:	46.466.290,79 €
Camiones Eléctricos	45	6.210.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,312 years
Camiones Hidrógeno	23	3.217.500,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,010%
Total	450	57.352.500,00 €	Total	55.868 ton CO2	PV/Inv:	181,02%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	1.440	187.200.000,00 €	Emisiones Diesel	220.032,0 ton CO2	Present Value:	553.700.217,54 €
Camiones GLP	600	68.400.000,00 €	Emisiones GLP	77.928,0 ton CO2	NPV:	247.820.217,54 €
Camiones Eléctricos	240	33.120.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,312 years
Camiones Hidrógeno	120	17.160.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,010%
Total	2.400	305.880.000,00 €	Total	297.960 ton CO2	PV/Inv:	181,02%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	900	117.000.000,00 €	Emisiones Diesel	137.520,0 ton CO2	Present Value:	346.062.635,96 €
Camiones GLP	375	42.750.000,00 €	Emisiones GLP	48.705,0 ton CO2	NPV:	154.887.635,96 €
Camiones Eléctricos	150	20.700.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,312 years
Camiones Hidrógeno	75	10.725.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,010%
Total	1.500	191.175.000,00 €	Total	186.225 ton CO2	PV/Inv:	181,02%
Carreras SL						
Camiones Diesel	360	46.800.000,00 €	Emisiones Diesel	55.008,0 ton CO2	Present Value:	138.425.054,38 €
Camiones GLP	150	17.100.000,00 €	Emisiones GLP	19.482,0 ton CO2	NPV:	61.955.054,38 €
Camiones Eléctricos	60	8.280.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,312 years
Camiones Hidrógeno	30	4.290.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,010%
Total	600	76.470.000,00 €	Total	74.490 ton CO2	PV/Inv:	181,02%

Imagen 23. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 4. Fuente: elaboración propia.

7.17 ANEXO 5.5 ESCENARIO 5

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	1.050	136.500.000,00 €	Emisiones Diesel	160.440,0 ton CO2	Present Value:	492.039.123,68 €
Camiones GLP	630	71.820.000,00 €	Emisiones GLP	81.824,4 ton CO2	NPV:	225.234.123,68 €
Camiones Eléctricos	315	43.470.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,251 years
Camiones Hidrógeno	105	15.015.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,454%
Total	2.100	266.805.000,00 €	Total	242.264 ton CO2	PV/Inv:	184,42%
GLS Spain						
Camiones Diesel	225	29.250.000,00 €	Emisiones Diesel	34.380,0 ton CO2	Present Value:	105.436.955,07 €
Camiones GLP	135	15.390.000,00 €	Emisiones GLP	17.533,8 ton CO2	NPV:	48.264.455,07 €
Camiones Eléctricos	68	9.315.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,251 years
Camiones Hidrógeno	23	3.217.500,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,454%
Total	450	57.172.500,00 €	Total	51.914 ton CO2	PV/Inv:	184,42%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	1.200	156.000.000,00 €	Emisiones Diesel	183.360,0 ton CO2	Present Value:	562.330.427,06 €
Camiones GLP	720	82.080.000,00 €	Emisiones GLP	93.513,6 ton CO2	NPV:	257.410.427,06 €
Camiones Eléctricos	360	49.680.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,251 years
Camiones Hidrógeno	120	17.160.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,454%
Total	2.400	304.920.000,00 €	Total	276.874 ton CO2	PV/Inv:	184,42%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	750	97.500.000,00 €	Emisiones Diesel	114.600,0 ton CO2	Present Value:	351.456.516,91 €
Camiones GLP	450	51.300.000,00 €	Emisiones GLP	58.446,0 ton CO2	NPV:	160.881.516,91 €
Camiones Eléctricos	225	31.050.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,251 years
Camiones Hidrógeno	75	10.725.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,454%
Total	1.500	190.575.000,00 €	Total	173.046 ton CO2	PV/Inv:	184,42%
Carreras SL						
Camiones Diesel	300	39.000.000,00 €	Emisiones Diesel	45.840,0 ton CO2	Present Value:	140.582.606,76 €
Camiones GLP	180	20.520.000,00 €	Emisiones GLP	23.378,4 ton CO2	NPV:	64.352.606,76 €
Camiones Eléctricos	90	12.420.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,251 years
Camiones Hidrógeno	30	4.290.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	23,454%
Total	600	76.230.000,00 €	Total	69.218 ton CO2	PV/Inv:	184,42%

Imagen 24. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 5. Fuente: elaboración propia.

7.18 ANEXO 5.6 ESCENARIO 6

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	840	109.200.000,00 €	Emisiones Diesel	128.352,0 ton CO2	Present Value:	501.589.515,73 €
Camiones GLP	840	95.760.000,00 €	Emisiones GLP	109.099,2 ton CO2	NPV:	238.144.515,73 €
Camiones Eléctricos	315	43.470.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,148 years
Camiones Hidrógeno	105	15.015.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,222%
Total	2.100	263.445.000,00 €	Total	237.451 ton CO2	PV/Inv:	190,40%
GLS Spain						
Camiones Diesel	180	23.400.000,00 €	Emisiones Diesel	27.504,0 ton CO2	Present Value:	107.483.467,66 €
Camiones GLP	180	20.520.000,00 €	Emisiones GLP	23.378,4 ton CO2	NPV:	51.030.967,66 €
Camiones Eléctricos	68	9.315.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,148 years
Camiones Hidrógeno	23	3.217.500,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,222%
Total	450	56.452.500,00 €	Total	50.882 ton CO2	PV/Inv:	190,40%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	960	124.800.000,00 €	Emisiones Diesel	146.688,0 ton CO2	Present Value:	573.245.160,84 €
Camiones GLP	960	109.440.000,00 €	Emisiones GLP	124.684,8 ton CO2	NPV:	272.165.160,84 €
Camiones Eléctricos	360	49.680.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,148 years
Camiones Hidrógeno	120	17.160.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,222%
Total	2.400	301.080.000,00 €	Total	271.373 ton CO2	PV/Inv:	190,40%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	600	78.000.000,00 €	Emisiones Diesel	91.680,0 ton CO2	Present Value:	358.278.225,52 €
Camiones GLP	600	68.400.000,00 €	Emisiones GLP	77.928,0 ton CO2	NPV:	170.103.225,52 €
Camiones Eléctricos	225	31.050.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,148 years
Camiones Hidrógeno	75	10.725.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,222%
Total	1.500	188.175.000,00 €	Total	169.608 ton CO2	PV/Inv:	190,40%
Carreras SL						
Camiones Diesel	240	31.200.000,00 €	Emisiones Diesel	36.672,0 ton CO2	Present Value:	143.311.290,21 €
Camiones GLP	240	27.360.000,00 €	Emisiones GLP	31.171,2 ton CO2	NPV:	68.041.290,21 €
Camiones Eléctricos	90	12.420.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,148 years
Camiones Hidrógeno	30	4.290.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,222%
Total	600	75.270.000,00 €	Total	67.843 ton CO2	PV/Inv:	190,40%

Imagen 25. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 6. Fuente: elaboración propia.

7.19 ANEXO 5.7 ESCENARIO 7

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	630	81.900.000,00 €	Emisiones Diesel	96.264,0 ton CO2	Present Value:	507.141.990,34 €
Camiones GLP	840	95.760.000,00 €	Emisiones GLP	109.099,2 ton CO2	NPV:	242.016.990,34 €
Camiones Eléctricos	525	72.450.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,128 years
Camiones Hidrógeno	105	15.015.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,343%
Total	2.100	265.125.000,00 €	Total	205.363 ton CO2	PV/Inv:	191,28%
GLS Spain						
Camiones Diesel	135	17.550.000,00 €	Emisiones Diesel	20.628,0 ton CO2	Present Value:	108.673.283,64 €
Camiones GLP	180	20.520.000,00 €	Emisiones GLP	23.378,4 ton CO2	NPV:	51.860.783,64 €
Camiones Eléctricos	113	15.525.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,128 years
Camiones Hidrógeno	23	3.217.500,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,343%
Total	450	56.812.500,00 €	Total	44.006 ton CO2	PV/Inv:	191,28%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	720	93.600.000,00 €	Emisiones Diesel	110.016,0 ton CO2	Present Value:	579.590.846,10 €
Camiones GLP	960	109.440.000,00 €	Emisiones GLP	124.684,8 ton CO2	NPV:	276.590.846,10 €
Camiones Eléctricos	600	82.800.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,128 years
Camiones Hidrógeno	120	17.160.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,343%
Total	2.400	303.000.000,00 €	Total	234.701 ton CO2	PV/Inv:	191,28%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	450	58.500.000,00 €	Emisiones Diesel	68.760,0 ton CO2	Present Value:	362.244.278,81 €
Camiones GLP	600	68.400.000,00 €	Emisiones GLP	77.928,0 ton CO2	NPV:	172.869.278,81 €
Camiones Eléctricos	375	51.750.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,128 years
Camiones Hidrógeno	75	10.725.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,343%
Total	1.500	189.375.000,00 €	Total	146.688 ton CO2	PV/Inv:	191,28%
Carreras SL						
Camiones Diesel	180	23.400.000,00 €	Emisiones Diesel	27.504,0 ton CO2	Present Value:	144.897.711,53 €
Camiones GLP	240	27.360.000,00 €	Emisiones GLP	31.171,2 ton CO2	NPV:	69.147.711,53 €
Camiones Eléctricos	150	20.700.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	6,128 years
Camiones Hidrógeno	30	4.290.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	24,343%
Total	600	75.750.000,00 €	Total	58.675 ton CO2	PV/Inv:	191,28%

Imagen 26. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 7. Fuente: elaboración propia.

7.20 ANEXO 5.8 ESCENARIO 8

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	630	81.900.000,00 €	Emisiones Diesel	96.264,0 ton CO2	Present Value:	471.698.322,85 €
Camiones GLP	630	71.820.000,00 €	Emisiones GLP	81.824,4 ton CO2	NPV:	201.008.322,85 €
Camiones Eléctricos	630	86.940.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	7,980 years
Camiones Hidrógeno	210	30.030.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	22,172%
Total	2.100	270.690.000,00 €	Total	178.088 ton CO2	PV/Inv:	174,26%
GLS Spain						
Camiones Diesel	135	17.550.000,00 €	Emisiones Diesel	20.628,0 ton CO2	Present Value:	101.078.212,04 €
Camiones GLP	135	15.390.000,00 €	Emisiones GLP	17.533,8 ton CO2	NPV:	43.073.212,04 €
Camiones Eléctricos	135	18.630.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	7,980 years
Camiones Hidrógeno	45	6.435.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	22,172%
Total	450	58.005.000,00 €	Total	38.162 ton CO2	PV/Inv:	174,26%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	720	93.600.000,00 €	Emisiones Diesel	110.016,0 ton CO2	Present Value:	539.083.797,54 €
Camiones GLP	720	82.080.000,00 €	Emisiones GLP	93.513,6 ton CO2	NPV:	229.723.797,54 €
Camiones Eléctricos	720	99.360.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	7,980 years
Camiones Hidrógeno	240	34.320.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	22,172%
Total	2.400	309.360.000,00 €	Total	203.530 ton CO2	PV/Inv:	174,26%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	450	58.500.000,00 €	Emisiones Diesel	68.760,0 ton CO2	Present Value:	336.927.373,46 €
Camiones GLP	450	51.300.000,00 €	Emisiones GLP	58.446,0 ton CO2	NPV:	143.577.373,46 €
Camiones Eléctricos	450	62.100.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	7,980 years
Camiones Hidrógeno	150	21.450.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	22,172%
Total	1.500	193.350.000,00 €	Total	127.206 ton CO2	PV/Inv:	174,26%
Carreras SL						
Camiones Diesel	180	23.400.000,00 €	Emisiones Diesel	27.504,0 ton CO2	Present Value:	134.770.949,39 €
Camiones GLP	180	20.520.000,00 €	Emisiones GLP	23.378,4 ton CO2	NPV:	57.430.949,39 €
Camiones Eléctricos	180	24.840.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	7,980 years
Camiones Hidrógeno	60	8.580.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	22,172%
Total	600	77.340.000,00 €	Total	50.882 ton CO2	PV/Inv:	174,26%

Imagen 27. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 8. Fuente: elaboración propia.

7.21 ANEXO 5.9 ESCENARIO 9

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrio SL						
Camiones Diesel	630	81.900.000,00 €	Emisiones Diesel	96.264,0 ton CO2	Present Value:	408.806.822,77 €
Camiones GLP	630	71.820.000,00 €	Emisiones GLP	81.824,4 ton CO2	NPV:	137.066.822,77 €
Camiones Eléctricos	420	57.960.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,516 years
Camiones Hidrógeno	420	60.060.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	19,121%
Total	2.100	271.740.000,00 €	Total	178.088 ton CO2	PV/Inv:	150,44%
GLS Spain						
Camiones Diesel	135	17.550.000,00 €	Emisiones Diesel	20.628,0 ton CO2	Present Value:	87.601.462,02 €
Camiones GLP	135	15.390.000,00 €	Emisiones GLP	17.533,8 ton CO2	NPV:	29.371.462,02 €
Camiones Eléctricos	90	12.420.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,516 years
Camiones Hidrógeno	90	12.870.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	19,121%
Total	450	58.230.000,00 €	Total	38.162 ton CO2	PV/Inv:	150,44%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	720	93.600.000,00 €	Emisiones Diesel	110.016,0 ton CO2	Present Value:	467.207.797,45 €
Camiones GLP	720	82.080.000,00 €	Emisiones GLP	93.513,6 ton CO2	NPV:	156.647.797,45 €
Camiones Eléctricos	480	66.240.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,516 years
Camiones Hidrógeno	480	68.640.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	19,121%
Total	2.400	310.560.000,00 €	Total	203.530 ton CO2	PV/Inv:	150,44%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	450	58.500.000,00 €	Emisiones Diesel	68.760,0 ton CO2	Present Value:	292.004.873,41 €
Camiones GLP	450	51.300.000,00 €	Emisiones GLP	58.446,0 ton CO2	NPV:	97.904.873,41 €
Camiones Eléctricos	300	41.400.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,516 years
Camiones Hidrógeno	300	42.900.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	19,121%
Total	1.500	194.100.000,00 €	Total	127.206 ton CO2	PV/Inv:	150,44%
Carreras SL						
Camiones Diesel	180	23.400.000,00 €	Emisiones Diesel	27.504,0 ton CO2	Present Value:	116.801.949,36 €
Camiones GLP	180	20.520.000,00 €	Emisiones GLP	23.378,4 ton CO2	NPV:	39.161.949,36 €
Camiones Eléctricos	120	16.560.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,516 years
Camiones Hidrógeno	120	17.160.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	19,121%
Total	600	77.640.000,00 €	Total	50.882 ton CO2	PV/Inv:	150,44%

Imagen 28. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 9. Fuente: elaboración propia.

7.22 ANEXO 5.10 ESCENARIO 10

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	420	54.600.000,00 €	Emisiones Diesel	64.176,0 ton CO2	Present Value:	410.361.379,93 €
Camiones GLP	420	47.880.000,00 €	Emisiones GLP	54.549,6 ton CO2	NPV:	131.901.379,93 €
Camiones Eléctricos	840	115.920.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,580 years
Camiones Hidrógeno	420	60.060.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	18,596%
Total	2.100	278.460.000,00 €	Total	118.726 ton CO2	PV/Inv:	147,37%
GLS Spain						
Camiones Diesel	90	11.700.000,00 €	Emisiones Diesel	13.752,0 ton CO2	Present Value:	87.934.581,41 €
Camiones GLP	90	10.260.000,00 €	Emisiones GLP	11.689,2 ton CO2	NPV:	28.264.581,41 €
Camiones Eléctricos	180	24.840.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,580 years
Camiones Hidrógeno	90	12.870.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	18,596%
Total	450	59.670.000,00 €	Total	25.441 ton CO2	PV/Inv:	147,37%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	480	62.400.000,00 €	Emisiones Diesel	73.344,0 ton CO2	Present Value:	468.984.434,20 €
Camiones GLP	480	54.720.000,00 €	Emisiones GLP	62.342,4 ton CO2	NPV:	150.744.434,20 €
Camiones Eléctricos	960	132.480.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,580 years
Camiones Hidrógeno	480	68.640.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	18,596%
Total	2.400	318.240.000,00 €	Total	135.686 ton CO2	PV/Inv:	147,37%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	300	39.000.000,00 €	Emisiones Diesel	45.840,0 ton CO2	Present Value:	293.115.271,38 €
Camiones GLP	300	34.200.000,00 €	Emisiones GLP	38.964,0 ton CO2	NPV:	94.215.271,38 €
Camiones Eléctricos	600	82.800.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,580 years
Camiones Hidrógeno	300	42.900.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	18,596%
Total	1.500	198.900.000,00 €	Total	84.804 ton CO2	PV/Inv:	147,37%
Carreras SL						
Camiones Diesel	120	15.600.000,00 €	Emisiones Diesel	18.336,0 ton CO2	Present Value:	117.246.108,55 €
Camiones GLP	120	13.680.000,00 €	Emisiones GLP	15.585,6 ton CO2	NPV:	37.686.108,55 €
Camiones Eléctricos	240	33.120.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	11,580 years
Camiones Hidrógeno	120	17.160.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	18,596%
Total	600	79.560.000,00 €	Total	33.922 ton CO2	PV/Inv:	147,37%

Imagen 29. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 10. Fuente: elaboración propia

7.23 ANEXO 5.11 ESCENARIO 11

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	315	40.950.000,00 €	Emisiones Diesel	48.132,0 ton CO2	Present Value:	348.247.158,43 €
Camiones GLP	315	35.910.000,00 €	Emisiones GLP	40.912,2 ton CO2	NPV:	65.377.158,43 €
Camiones Eléctricos	840	115.920.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,149 years
Camiones Hidrógeno	630	90.090.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,282%
Total	2.100	282.870.000,00 €	Total	89.044 ton CO2	PV/Inv:	123,11%
GLS Spain						
Camiones Diesel	68	8.775.000,00 €	Emisiones Diesel	10.314,0 ton CO2	Present Value:	74.624.391,09 €
Camiones GLP	68	7.695.000,00 €	Emisiones GLP	8.766,9 ton CO2	NPV:	14.009.391,09 €
Camiones Eléctricos	180	24.840.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,149 years
Camiones Hidrógeno	135	19.305.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,282%
Total	450	60.615.000,00 €	Total	19.081 ton CO2	PV/Inv:	123,11%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	360	46.800.000,00 €	Emisiones Diesel	55.008,0 ton CO2	Present Value:	397.996.752,49 €
Camiones GLP	360	41.040.000,00 €	Emisiones GLP	46.756,8 ton CO2	NPV:	74.716.752,49 €
Camiones Eléctricos	960	132.480.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,149 years
Camiones Hidrógeno	720	102.960.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,282%
Total	2.400	323.280.000,00 €	Total	101.765 ton CO2	PV/Inv:	123,11%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	225	29.250.000,00 €	Emisiones Diesel	34.380,0 ton CO2	Present Value:	248.747.970,30 €
Camiones GLP	225	25.650.000,00 €	Emisiones GLP	29.223,0 ton CO2	NPV:	46.697.970,30 €
Camiones Eléctricos	600	82.800.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,149 years
Camiones Hidrógeno	450	64.350.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,282%
Total	1.500	202.050.000,00 €	Total	63.603 ton CO2	PV/Inv:	123,11%
Carreras SL						
Camiones Diesel	90	11.700.000,00 €	Emisiones Diesel	13.752,0 ton CO2	Present Value:	99.499.188,12 €
Camiones GLP	90	10.260.000,00 €	Emisiones GLP	11.689,2 ton CO2	NPV:	18.679.188,12 €
Camiones Eléctricos	240	33.120.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,149 years
Camiones Hidrógeno	180	25.740.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,282%
Total	600	80.820.000,00 €	Total	25.441 ton CO2	PV/Inv:	123,11%

Imagen 30. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 11. Fuente: elaboración propia

7.24 ANEXO 5.12 ESCENARIO 12

RESULTADOS POR EMPRESA						
Primafrío SL						
Camiones Diesel	210	27.300.000,00 €	Emisiones Diesel	32.088,0 ton CO2	Present Value:	351.023.395,73 €
Camiones GLP	315	35.910.000,00 €	Emisiones GLP	40.912,2 ton CO2	NPV:	67.313.395,73 €
Camiones Eléctricos	945	130.410.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,139 years
Camiones Hidrógeno	630	90.090.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,343%
Total	2.100	283.710.000,00 €	Total	73.000 ton CO2	PV/Inv:	123,73%
GLS Spain						
Camiones Diesel	45	5.850.000,00 €	Emisiones Diesel	6.876,0 ton CO2	Present Value:	75.219.299,08 €
Camiones GLP	68	7.695.000,00 €	Emisiones GLP	8.766,9 ton CO2	NPV:	14.424.299,08 €
Camiones Eléctricos	203	27.945.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,139 years
Camiones Hidrógeno	135	19.305.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,343%
Total	450	60.795.000,00 €	Total	15.643 ton CO2	PV/Inv:	123,73%
Acrotal SA						
Camiones Diesel	240	31.200.000,00 €	Emisiones Diesel	36.672,0 ton CO2	Present Value:	401.169.595,12 €
Camiones GLP	360	41.040.000,00 €	Emisiones GLP	46.756,8 ton CO2	NPV:	76.929.595,12 €
Camiones Eléctricos	1.080	149.040.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,139 years
Camiones Hidrógeno	720	102.960.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,343%
Total	2.400	324.240.000,00 €	Total	83.429 ton CO2	PV/Inv:	123,73%
Transportes Sesé SL						
Camiones Diesel	150	19.500.000,00 €	Emisiones Diesel	22.920,0 ton CO2	Present Value:	250.730.996,95 €
Camiones GLP	225	25.650.000,00 €	Emisiones GLP	29.223,0 ton CO2	NPV:	48.080.996,95 €
Camiones Eléctricos	675	93.150.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,139 years
Camiones Hidrógeno	450	64.350.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,343%
Total	1.500	202.650.000,00 €	Total	52.143 ton CO2	PV/Inv:	123,73%
Carreras SL						
Camiones Diesel	60	7.800.000,00 €	Emisiones Diesel	9.168,0 ton CO2	Present Value:	100.292.398,78 €
Camiones GLP	90	10.260.000,00 €	Emisiones GLP	11.689,2 ton CO2	NPV:	19.232.398,78 €
Camiones Eléctricos	270	37.260.000,00 €	Emisiones Eléctrico	0,0 ton CO2	Payback Period:	15,139 years
Camiones Hidrógeno	180	25.740.000,00 €	Emisiones Hidrógeno	0,0 ton CO2	IRR:	15,343%
Total	600	81.060.000,00 €	Total	20.857 ton CO2	PV/Inv:	123,73%

Imagen 31. Resultados obtenidos para cada empresa en el escenario 12. Fuente: elaboración propia.