



Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Trabajo de Fin de Grado

*Impacto ambiental y energético de la evolución del
parque automovilístico ante diferentes escenarios de
Vehículo Eléctrico (VE) y Vehículo a Gas (VG)
considerando los vehículos pesados*

Autor

Paula Albendea López

Directores

Fidel Fernández Bernal

Andrés Diego Díaz Casado

Madrid

Julio 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Impacto ambiental y energético de la evolución del parque automovilístico ante
diferentes escenarios de Vehículo Eléctrico (VE) y Vehículo a Gas (VG) considerando
los vehículos pesados

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019-2020 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.

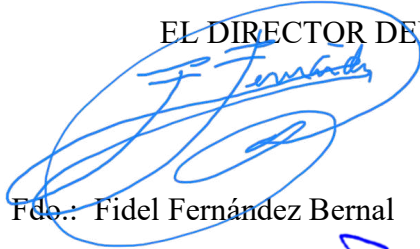


Fdo.: Paula Albendea López

Fecha: 13/07/2020

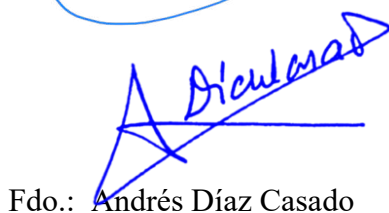
Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Fidel Fernández Bernal

Fecha: 16 7 2020
...../...../.....



Fdo.: Andrés Díaz Casado

Fecha: 16 jul 2020
...../...../.....

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Paula Albendea López

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Impacto ambiental y energético de la evolución del parque automovilístico ante diferentes escenarios de Vehículo Eléctrico (VE) y Vehículo a Gas (VG) considerando los vehículos pesados, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que

podieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

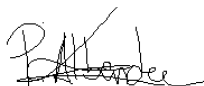
6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 13 de Julio de 2020

ACEPTA



Fdo.: Paula Albendea López

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

--

ENVIRONMENTAL AND ENERGY IMPACT OF THE EVOLUTION OF THE VEHICLE FLEET IN DIFFERENT SCENARIOS OF ELECTRIC VEHICLES (EV) AND GAS VEHICLES (GV) CONSIDERING HEAVY DUTY VEHICLES.

Author: Albendea López, Paula.

Director: Fernández Bernal, Fidel.

Director: Díaz Casado, Andrés Diego.

Collaborating Entity: ICAI- Universidad Pontificia Comillas.

EXECUTIVE SUMMARY

1. INTRODUCTION

The world's dependence on non-renewable energy sources and the pollution associated with them and the processes that make use of them are two of the greatest problems the international community faces today.

Transport is responsible for almost a quarter of the world's energy-related CO₂ emissions, according to the data provided by the International Energy Agency (IEA) [1]. In the European Union (EU), within the transport sector, heavy duty vehicles produce 20 % of greenhouse gas emissions and 5 % of the total EU GHG emissions. In the case of Spain, road transport accounts for 25 % of total emissions. In addition, heavy vehicles also emit other atmospheric pollutants, such as nitrogen oxides (NO_x) and particles which not only are they harmful for the environment but they also affect human health. NO_x emissions from heavy vehicles and buses accounted for 14 % of the country's total emissions and particulate matter for 11 % of the total particulate matter emissions from Spanish road transport.

Future trends show that, if no additional measures were taken to reduce CO₂ emissions, the share of road transport CO₂ emissions for which the heavy vehicle sector is responsible would increase by 10 % in 2030 compared to the levels of 2010. It is therefore important to work on the development of cleaner transport by improving the technologies used by conventional vehicles, limiting emissions, and gradually introducing the electric vehicle.

Another of the great problems associated with transport, and more specifically with fossil fuels, is the high energy dependence they generate. In 2018, Spain's

energy dependence on foreign sources stood at 73.4%. The development of renewable energy sources, is fundamental to solve the serious problem of energy dependence and to make the electric vehicle an option to solve the problem of pollution.

The main objective of this project is to evaluate the environmental and energy impact that the gradual introduction of the heavy electric vehicle could have, replacing the internal combustion engine heavy vehicle in Spain. With regard to the environmental impact, the project focuses on predicting and analyzing the evolution of the different types of emissions associated with the operation of heavy vehicles with conventional combustion engines. These emissions include greenhouse gases (GHG), NOx emissions and, particles. Regarding the energy topic, this thesis calculates the possible evolution of the Spanish electricity generation mix for the year 2050 and how, according to this evolution, the electric vehicle will be a more or less polluting option.

2. METHODOLOGY

To achieve the objectives described above, an Excel tool developed by the OVEMS (*Electric Vehicle Observation System*) and adapted for heavy vehicles will be used, which incorporates an optimization model. The objective of the model is to minimize the error between a set objective and the final result. The objective is to keep the annual giga-metres made by the total fleet of heavy vehicles constant over the years (2019-2050). With this objective in mind and taking the 2018 data as a reference, the model calculates:

- The evolution of the distribution of the vehicle fleet according to the type of fuel used, taking into account the percentage of registrations of each type of fuel expected in 2050.
- The evolution of energy consumption for 2050 and its distribution according to the type of fuel.
- The evolution of CO₂, NO_x and particle emissions according to the established distribution of registrations.

To establish the 2018 average values that will be used in the model for the calculation of future values, the following investigations are carried out:

1. Analysis of the European Regulation on emissions (*Chapter 2*). It establishes the average levels of emissions for 2018 and estimates how they may evolve in the future.
2. Study of various other official sources such as the *Dirección General de Tráfico* of Spain (DGT), the National Institute of Statistics (INE) and data provided by manufacturers.
3. Estimate of the evolution of the Spanish electricity generation mix, through the analysis of a study carried out by Monitor Deloitte [2]. These emissions are calculated by estimating the emission factor associated with this generation, a factor that indicates the kilograms of CO₂ expelled into the environment per kWh generated.

The model differentiates between city and road conditions to estimate the data of distance traveled annually by the vehicles, consumption and emissions. It also takes into account the age of the park and the evolution of technologies over the years. As for the age of the fleet, a 35-year-old vehicle will not travel the same kilometres, nor will it consume or emit the same as a newly registered one. In addition, as the years go by, it is expected that, for example, the average consumption of new vehicles will decrease or their emissions will be reduced, thanks to the development of technologies.

All calculations are made for each year according to the year of registration of the vehicle and the type of fuel or technology used. All the values are then aggregated without distinguishing between the year of registration and giving overall results for each year according to the type of fuel or technology used by the vehicle.

The ultimate objective is to calculate the evolution of emissions and energy consumption of the heavy duty vehicle fleet in future years, in order to determine the impact of the introduction of the electric vehicle. As an example, the process followed for the annual calculation of CO₂ emissions is defined below, according to the type of fuel and year of registration of the vehicle:

$\text{KtCO}_2 = \text{number of vehicles} \times \text{distance travelled} \times \text{energy consumption} / 100 \text{ km} \times \text{g of emissions/kWh}$

Finally, once all the average values for 2018 and the factors necessary to estimate the evolution of consumption and emissions in the future have been established, a base scenario is established which is analyzed in depth, and other additional scenarios are used to analyze what impact the introduction of the electric vehicle

(EV) has on the results obtained and what impact the assumed improvements in technologies have:

- **Base Scenario.** A target of 70 % of E.V. registrations for 2050 is set and an emission factor of 0.013 kgCO₂/kWh is used for the electricity generation mix.
- Scenario of non-inclusion of the E.V. Registrations of 0.0 % of E.V. for 2050.
- Scenario in which NO_x and particle filtering technologies stop being developed after year 2019.
- Scenario with a more polluting generation mix. An emission factor equal to that of 2018 is established (0.247 kgCO₂/kWh).
- Scenario with 100 % of E.V. registrations in 2050.
- Scenario with a more polluting generation mix and 100 % of E.V. registrations in 2050.

Lastly, a brief economic analysis of the profitability of heavy duty electric vehicles compared to diesel vehicles is carried out, depending on the annual distance they travel, the price of electricity and diesel and the average purchase price of these vehicles.

3. RESULTS AND CONCLUSIONS

As explained above, the planned scenarios are carried out and the results obtained for the evolution of the distribution of the fleet, the distance traveled, the energy consumption, and the emissions, are analyzed:

Evolution of the distribution of the fleet in the Base Scenario

Diesel vehicles account for 60 % of the heavy vehicle fleet, compared to 89 % in 2018. However, this is an ageing fleet that travels fewer kilometres than the average. This ageing is due to the reduction in the number of registrations of this type of vehicle. Electric vehicles account for 26 % of this fleet and their registrations make up 64.4 % of the total.

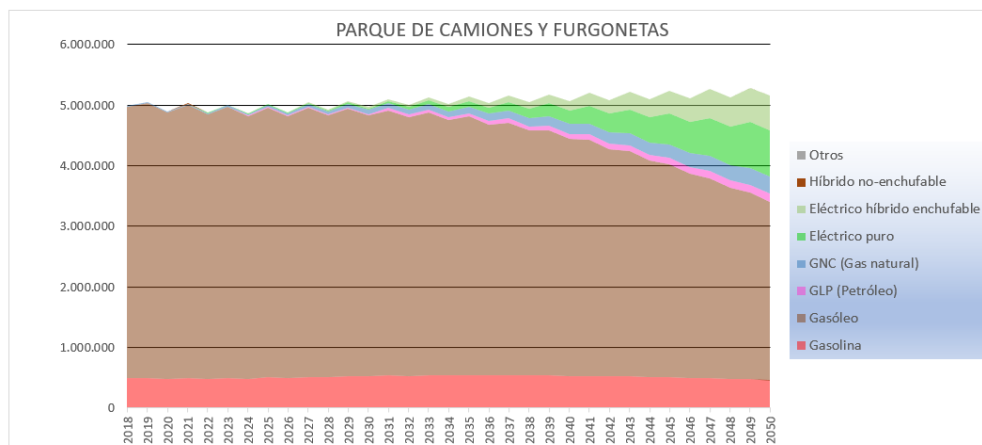


Figura 1: Evolution of the vehicle fleet according to the fuel used. *Source: own.*

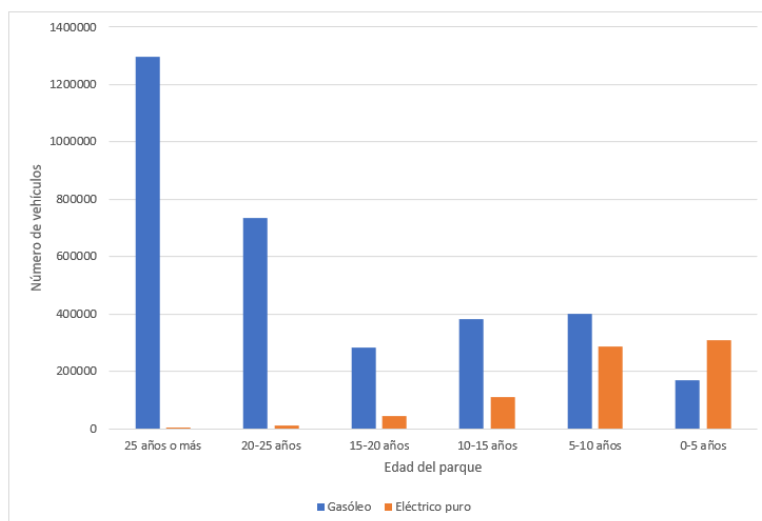


Figura 2: Age of the diesel vehicle fleet vs. age of the E.V. fleet. *Source: own.*

Evolution of the annual distance traveled in the Base Scenario

The annual distance traveled by the entire vehicle fleet remains constant, as this is the objective of the model. The diesel vehicle fleet, being an aged vehicle fleet, travels fewer kilometres on average, which affects consumption and emissions.

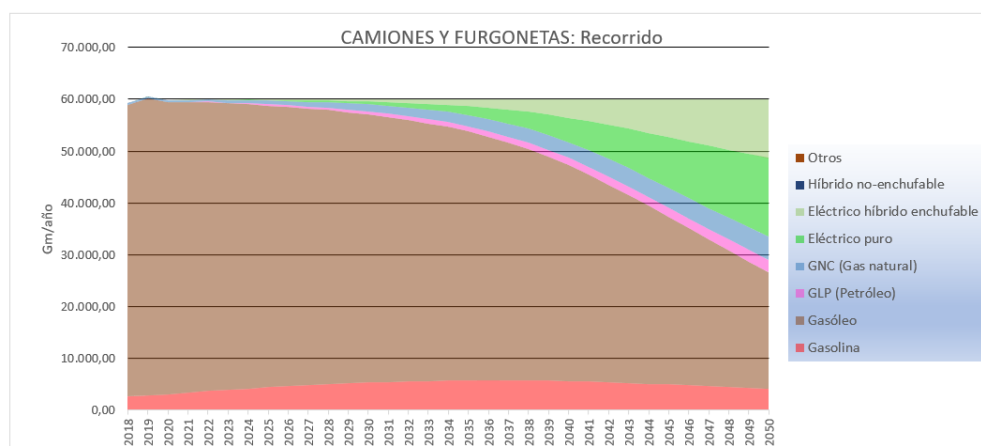


Figura 3: Evolution of the annual distance traveled by the heavy vehicle fleet according to the fuel used. *Source: own.*

Evolution of the energy consumption in the Base Scenario

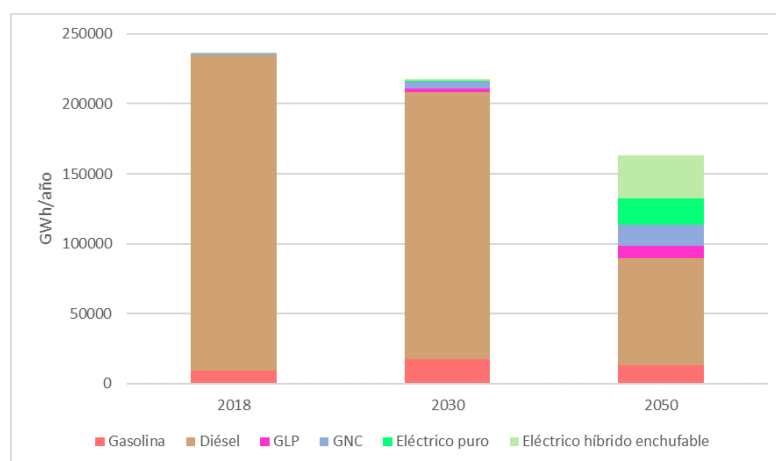


Figura 4: Annual energy consumption evolution according to the fuel used for 2018, 2030 y 2050. *Source: own.*

With 70 % of the registrations belonging to the E.V. fleet, and the set efficiency improvements of all heavy vehicles, the total consumption of the transport sector is reduced by 30 %, while the consumption associated with petrol and diesel vehicles is reduced by 60 % by 2050. If the estimated generation mix for 2050 is achieved (emission factor 0.013 kgCO₂/kWh), this reduction in diesel and petrol consumption would represent a major step towards Spain's energy independence,

as electric vehicles could be supplied by the country's renewable sources.

Evolution of CO2 emissions

The evolution in the base scenario is analyzed and compared with the 0 % E.V. inclusion scenario, to determine what portion of the emission reduction is due to E.V. inclusion and what portion is due to the estimated technology improvement (2 % per year).

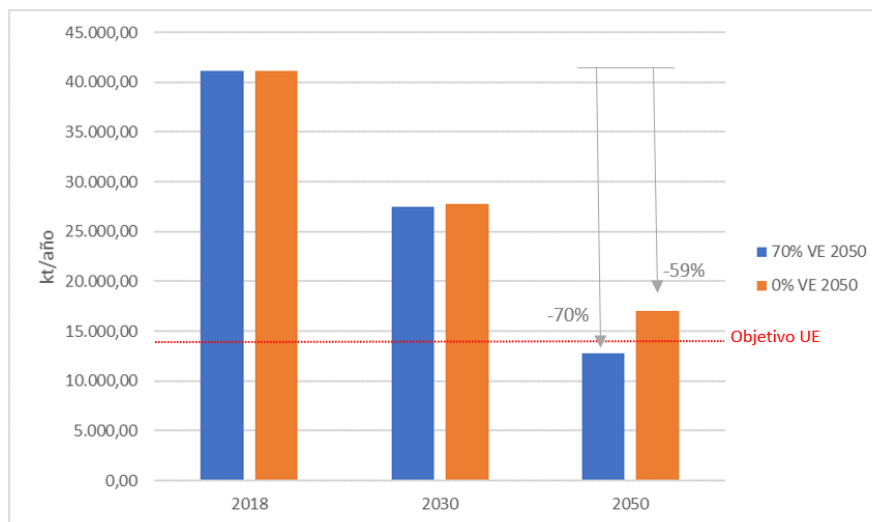


Figura 5: Comparison of the CO2 emissions in the base scenario and 0 % inclusion of the E.V. scenario. *Source: Own*

In the base scenario, CO2 emissions are reduced by 70 percent. In the scenario of non-inclusion of the electric vehicle, there is a 59 % reduction. These results suggest that for a drastic reduction in CO2 emissions, in addition to a rapid inclusion of the electric vehicle (even faster than that taken in the base scenario), this must be accompanied by the development of a cleaner generation mix and an improvement in the efficiency of existing vehicles as well as in the technologies that prevent emissions.

Furthermore, these results are compared with the three additional scenarios mentioned to find out how they would change if the generation mix were more polluting or if the penetration of E.V. were to occur more rapidly.

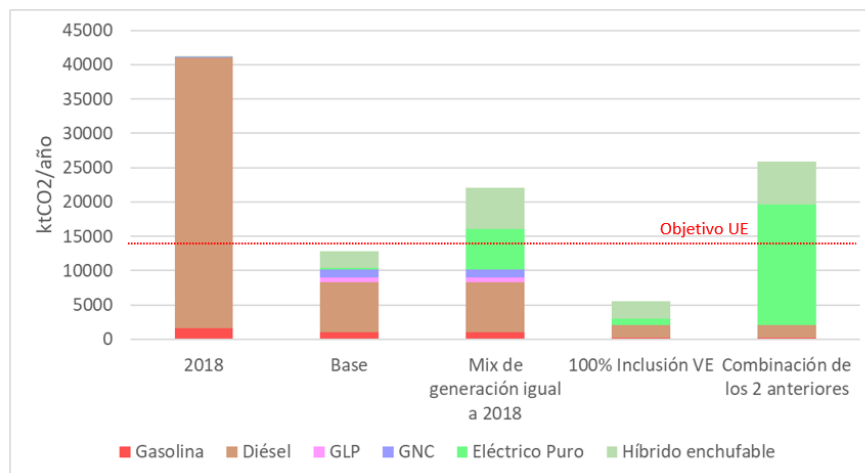


Figura 6: Comparison of the three additional scenarios analyzed for CO2 emissions, the base scenario and the levels of emissions of 2018. *Source: Own.*

The greatest reduction in emissions is achieved with the scenario of the fastest penetration of the E.V. and a minimally polluting generation mix.

Evolution of Air Pollutant emissions

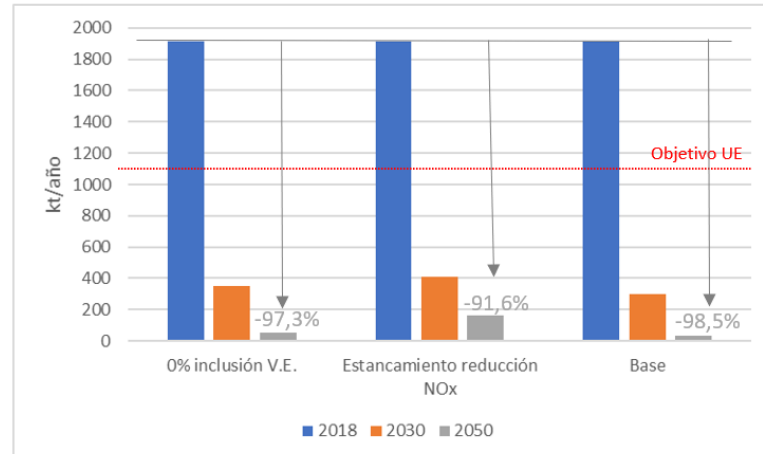


Figura 7: Comparison of the three scenarios analyzed for NOx emissions. *Source: Own.*

The results of the base scenario are compared with the non-inclusion scenario of the E.V. and a second scenario in which the filtering technologies of heavy

vehicles are not expected to develop in the coming years and, therefore, a vehicle registered in 2050 will emit the same per kWh as one registered in 2019, due to the fact that the levels of these pollutants have been drastically reduced in recent years.

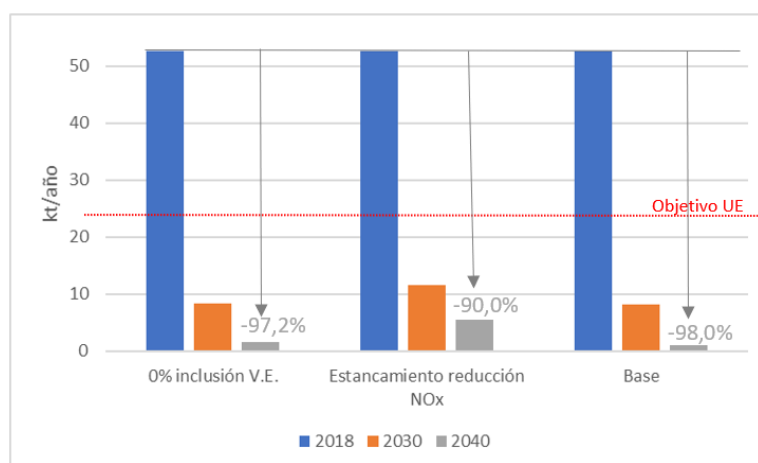


Figura 8: Comparison of the three scenarios analyzed for particle emissions. *Source: Own*

These results suggest that although the assumed future improvement in vehicle filter technologies and the introduction of the electric vehicle help to lower the emissions to minimum levels, most of the reduction is due to the improvement already achieved in the years leading up to 2018.

Economic analysis

The economic analysis carried out shows that, for the year 2018, the electric vehicle is not profitable considering the average number of kilometers made by an electric vehicle in this same year. For 2050, if the sale price of the E.V. is reduced by 45 %, the annual costs associated to the E.V. are less than those associated to the diesel heavy vehicle if the user travels more than 10,800 km driven annually (less than the 26.500 km average for 2018). If the sale price does not decrease, either the price of diesel must increase, or the price of electricity must fall, or heavy vehicles must travel more kilometres than in 2018 to be more economical than diesel vehicles.

IMPACTO AMBIENTAL Y ENERGÉTICO DE LA EVOLUCIÓN DEL PARQUE AUTOMOVILÍSTICO ANTE DIFERENTES ESCENARIOS DE VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE) Y VEHÍCULO A GAS (VG) CONSIDERANDO LOS VEHÍCULOS PESADOS.

Autor: Albendea López, Paula.

Director: Fernández Bernal, Fidel.

Director: Díaz Casado, Andrés Diego.

Entidad Colaboradora: ICAI- Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

1. INTRODUCCIÓN

La dependencia energética mundial en fuentes no renovables y la contaminación asociada a las mismas y a los procesos que hacen uso de ellas, son dos de los mayores problemas a los que se enfrenta la comunidad internacional hoy día.

El transporte es responsable de casi un cuarto de las emisiones de CO₂ mundiales relacionadas con la energía, según los datos proporcionados por la International Energy Agency (IEA) [1]. En la Unión Europea (UE), dentro del sector transporte, los vehículos pesados producen el 20 % de las emisiones gases de efecto invernadero y un 5 % del total de las emisiones GEI de la UE [3]. En el caso de España, el transporte por carretera, constituye el 25 % del total de las emisiones. Adicionalmente, los vehículos pesados también emiten otros contaminantes atmosféricos, como son los óxidos de nitrógeno (NO_x) y las partículas que, además de al medio ambiente, afectan a la salud humana. Las emisiones de NO_x de los vehículos pesados y autobuses constituyeron un 14 % del total de las emisiones del país y las de partículas un 11 % del total de las emisiones de partículas realizadas por el transporte por carretera español.

Las tendencias futuras muestran que, si no se adoptaran medidas adicionales para reducir las emisiones de CO₂, la proporción de las emisiones de CO₂ del transporte por carretera de las que es responsable el sector de los vehículos pesados aumentaría en un 10 % en 2030 en comparación con 2010 [4]. Por tanto, es importante que se trabaje en el desarrollo de un transporte más limpio, mediante la mejora de las tecnologías utilizadas por los vehículos convencionales, la limita-

ción de las emisiones y la paulatina introducción del vehículo eléctrico.

Otro de los grandes problemas asociados al transporte, y, más en concreto a los combustibles fósiles, es la gran dependencia energética que generan. En 2018, en España, la dependencia energética del exterior se situó en 73,4 %. El desarrollo de fuentes de energía renovables, fuentes de energía limpias, autóctonas e inagotable, resultan fundamentales para solucionar el grave problema de la dependencia energética y para que el vehículo eléctrico resulte una opción para solucionar el problema de la contaminación.

El principal objetivo de este proyecto es la evaluación del impacto ambiental y energético que podría tener la paulatina introducción del vehículo pesado eléctrico en sustitución del vehículo pesado con motor térmico en España. En cuanto al impacto ambiental, se tratará de estudiar la evolución de los diferentes tipos de emisiones asociadas al funcionamiento de los vehículos pesados con motor de combustión convencionales. Dentro de estas emisiones, se incluyen los gases de efecto invernadero (GEI), las emisiones de NOx, y, por último, las de partículas. En el ámbito energético se estudia la posible evolución del mix de generación eléctrico español para el año 2050 y cómo según esta evolución el vehículo eléctrico será una opción más o menos contaminante.

2. METODOLOGÍA

Para la consecución de los objetivos anteriormente descritos, se utilizará una herramienta Excel desarrollada por el *Observatorio del Vehículo Eléctrico (OVEMS)* y adaptada para vehículos pesados, la cual incorpora un modelo de optimización. El objetivo del modelo es minimizar el error entre un objetivo marcado y el resultado final. El objetivo es mantener constantes los giga-metros realizados anualmente por el total del parque de vehículos pesados a lo largo de los años (2019-2050). Teniendo en cuenta este objetivo y tomando como referencia los datos de 2018, el modelo calcula:

- La evolución de la distribución del parque de vehículos según el tipo de combustible utilizado, teniendo en cuenta el porcentaje de matriculaciones de cada tipo de combustible que se prevea para 2050.
- La evolución del consumo energético hasta 2050 y la distribución de este según el tipo de combustible.
- La evolución de las emisiones de CO₂, NOx y partículas según la distribución de las matriculaciones establecida.

Para establecer los valores medios de 2018 que serán utilizados en el modelo para el cálculo de los valores a futuro, se realizan las siguientes investigaciones:

1. Análisis de la Normativa Europea en materia de emisiones (*Capítulo 2*). Con ella se establecen los niveles medios de emisiones para 2018 y se estima cómo pueden ir evolucionando a futuro.
2. Estudio de diversas otras fuentes oficiales como la dirección general de tráfico (DGT), el Instituto Nacional de Estadística (INE) y los datos proporcionados por los fabricantes.
3. Estimación de la evolución del mix de generación eléctrico español, mediante el análisis de un estudio llevado a cabo por *Monitor Deloitte* [2]. Estas emisiones se calculan mediante la estimación del factor emisión asociado a esta generación, factor que indica los kilogramos de CO₂ expulsados al ambiente por kWh generado.

El modelo diferencia entre ciudad y carretera para establecer los datos de recorrido, consumo y emisiones. Además, tiene en cuenta la edad del parque y la evolución de las tecnologías a medida que pasen los años. En cuanto a la edad del parque, un vehículo con 35 años de edad no recorrerá los mismos kilómetros, ni consumirá ni emitirá lo mismo que uno recién matriculado. Adicionalmente, a medida que pasen los años se prevé que, por ejemplo, disminuya el consumo medio de los vehículos nuevos o se reduzcan sus emisiones, gracias al desarrollo de las tecnologías.

Todos los cálculos se realizan para cada año según el año de matriculación del vehículo y el tipo de combustible o tecnología utilizada. Posteriormente, se agregan todos los valores sin hacer la distinción del año de matriculación y se obtienen resultados globales para cada año según el tipo de combustible o tecnología utilizada por el vehículo.

El objetivo último es el cálculo de la evolución de emisiones y consumo energético del parque de vehículos pesados en los años futuros, para determinar el impacto de la introducción del vehículo eléctrico. A continuación, como ejemplo, se define el procedimiento seguido para el cálculo anual de las emisiones de CO₂, según el tipo de combustible y año de matriculación del vehículo:

$$\text{KtCO}_2 = \text{parque} \times \text{recorrido medio anual} \times \text{consumo}/100 \text{ km} \times \text{gramos de emisión/kWh}$$

Finalmente, una vez establecidos todos los valores medios para 2018 y los factores necesarios para estimar la evolución del consumo y emisiones a futuro, se establece un escenario base el cual se analiza en profundidad, y se utilizan otros escenarios adicionales para analizar qué impacto tiene la introducción del vehículo eléctrico (V.E.) en los resultados obtenidos y qué impacto tienen las mejoras en las tecnologías supuestas:

- **Escenario base.** Se establece un objetivo de matriculaciones DEL V.E. para 2050 del 70 % y un factor de emisión de 0,013 kgCO₂/kWh para el mix de generación eléctrica.
- Escenario de no inclusión del V.E. Se establecen unas matriculaciones del 0 % del V.E. para 2050.
- Escenario de estancamiento de mejora de las tecnologías de filtrado del NO_x y las partículas.
- Escenario con mix de generación más contaminante. Se establece un factor de emisión igual al de 2018 (0,247 kgCO₂/kWh).
- Escenario con 100 % de matriculaciones del V.E. en 2050
- Escenario con mix de generación más contaminante y 100 % de matriculaciones del V.E. en 2050.

Por último se realiza un breve análisis económico sobre la rentabilidad del vehículo pesado eléctrico frente al vehículo diésel según la distancia anual que estos recorran, el precio de la electricidad y del diésel y el precio medio de compra de estos vehículos.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Según lo explicado anteriormente, se realizan los escenarios previstos y se analizan los resultados obtenidos para la evolución del parque, la distribución del recorrido, el consumo y las emisiones:

Evolución de la distribución del parque en el Escenario Base

Los vehículos diésel suponen un 60 % del parque de los vehículos pesados, frente al 89 % que suponían en 2018. Sin embargo, se trata de un parque envejecido que realiza menos kilómetros que la media. Este envejecimiento se debe a la reducción en las matriculaciones de este tipo de vehículos mientras que las bajas se siguen produciendo. Los vehículos eléctricos suponen un 26 % de este parque y sus matriculaciones constituyen el 64,4 % del total.

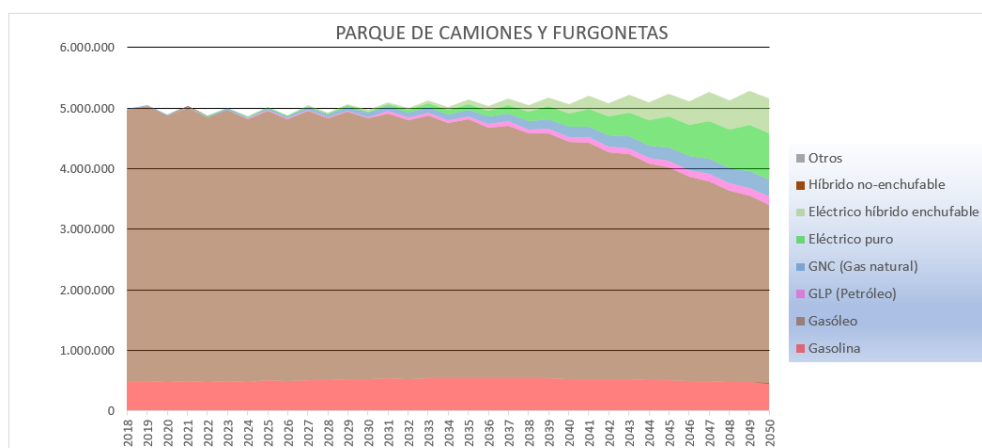


Figura 9: Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

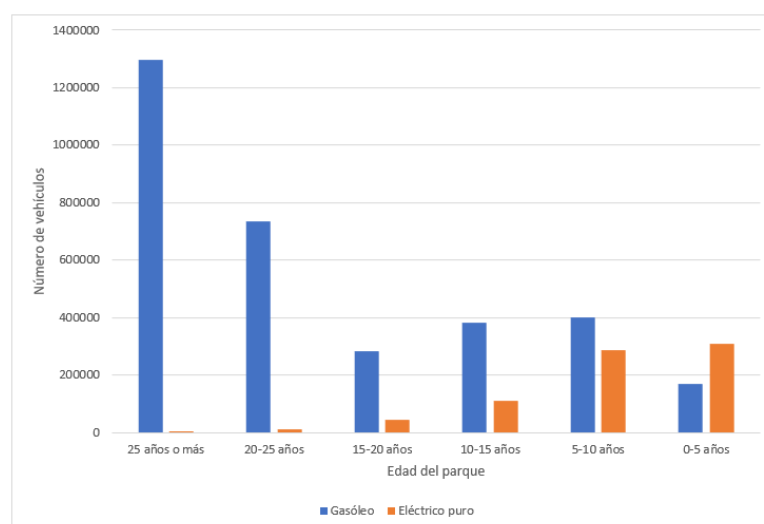


Figura 10: Edad del parque de gasóleo vs. eléctrico puro en el año 2050. Envejecimiento del parque de gasóleo. *Fuente: Propia.*

Evolución de la distribución del recorrido anual en el Escenario Base

El recorrido anual realizado por la totalidad del parque permanece constante, ya que es el objetivo del modelo. El parque de vehículos diésel, al ser un parque de vehículos envejecido, realiza menos kilómetros de media, lo cual afecta al consumo y las emisiones.

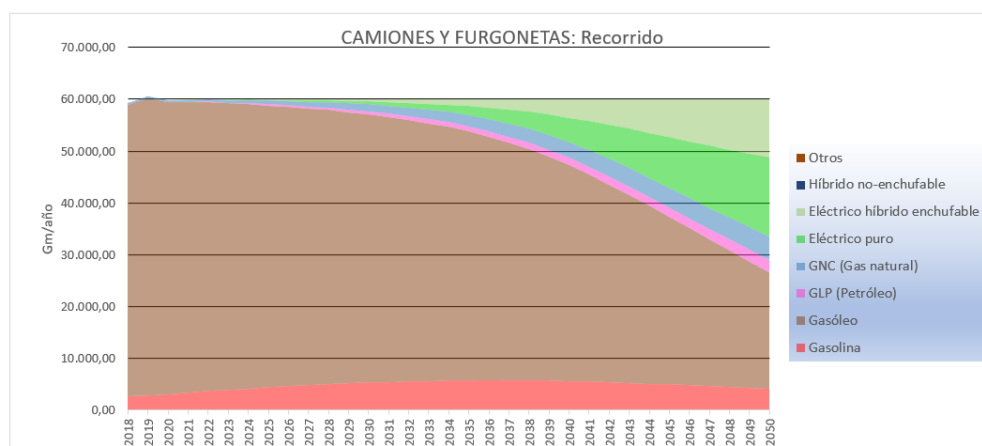


Figura 11: Evolución del recorrido anual del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

Evolución del consumo energético en el Escenario Base

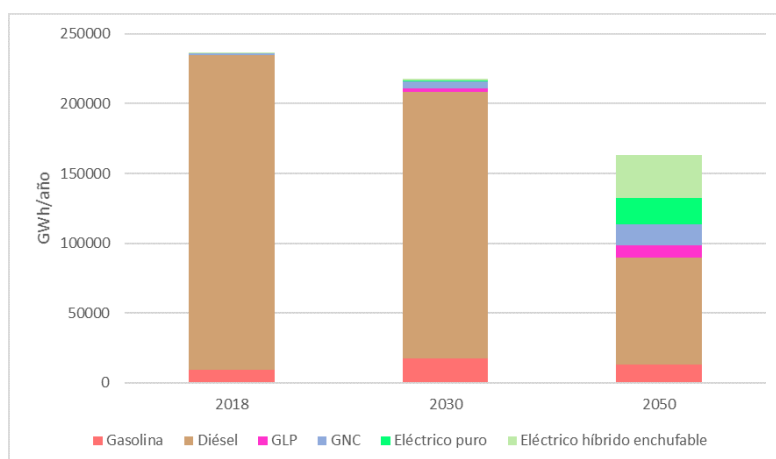


Figura 12: Evolución del consumo anual del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

Con una inclusión del vehículo eléctrico del 70 % y las mejoras establecidas en la eficiencia de todos los vehículos pesados, el consumo total del sector transporte se reduce en un 30 %, mientras que el consumo asociado a los vehículos de **gasolina y diésel se reducen en un 60 %** para 2050. Si se consigue el mix de generación estimado para 2050 (factor de emisión 0,013 kgCO₂/kWh), esta reducción del consumo de gasóleo y gasolina supondría un gran avance hacia la independencia energética de España, ya que los vehículos eléctricos podrían ser abastecidos por

las fuentes renovables del país.

Evolución de las emisiones de CO2

Se analiza la evolución en el escenario base y se compara con el escenario de 0 % de inclusión del V.E., para determinar qué porción de la disminución de las emisiones se debe a la inclusión del V.E. y qué porción se debe a la mejora en las tecnologías estimada (2 % anual).

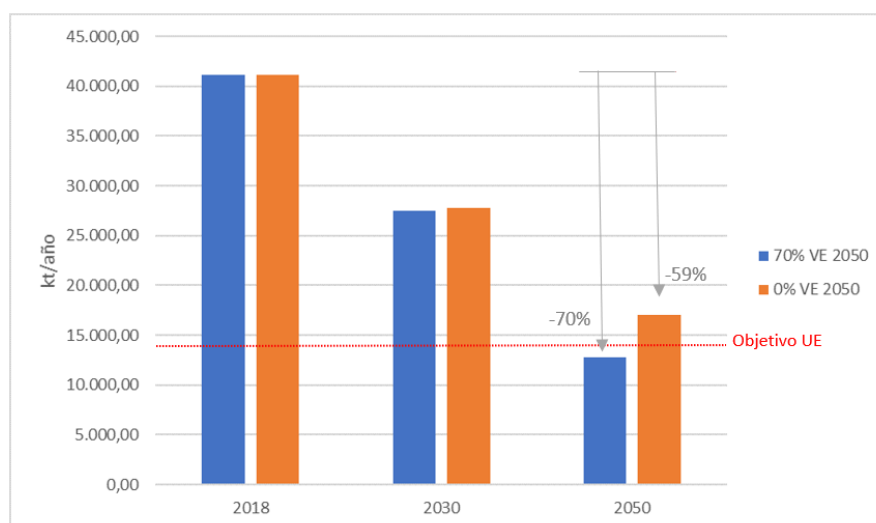


Figura 13: Comparativa de evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados del escenario base vs. escenario adicional de inclusión nula del VE *Fuente: Propia.*

En el escenario base, se reducen las emisiones de CO2 en un 70 %. En el escenario de no inclusión del vehículo eléctrico se da una reducción del 59 %. Estos resultados sugieren, que para una reducción drástica de las emisiones de CO2, además de una rápida inclusión del vehículo eléctrico (incluso más rápida que la tomada en el escenario base), esto debe ir acompañado de un desarrollo de un mix de generación más limpio y de una mejora de la eficiencia de los vehículos existentes así como de las tecnologías que impiden las emisiones.

Además, estos resultados se comparan con los tres escenarios adicionales mencionados para averiguar cómo cambiarían si el mix de generación fuera más contaminante o si la penetración del V.E. se diera de forma más rápida.

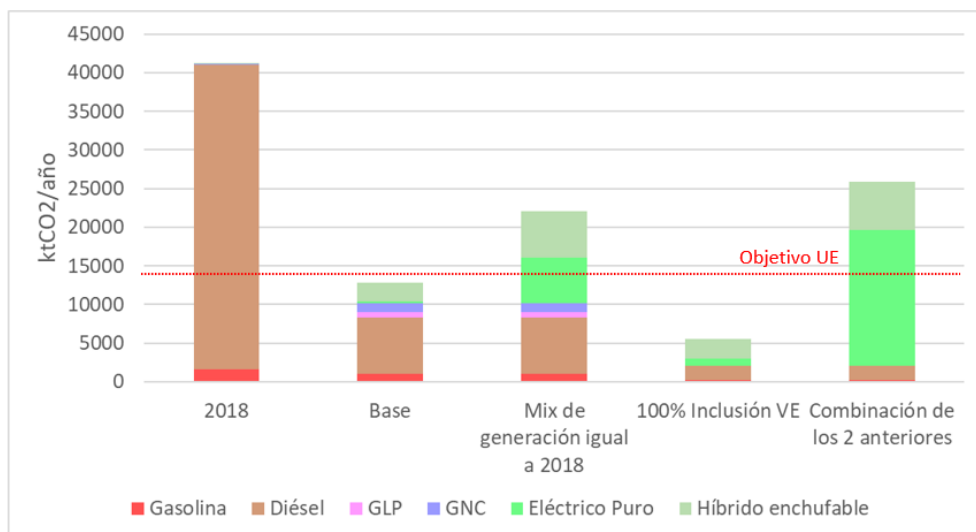


Figura 14: Comparación de resultados de escenarios adicionales para año 2050 frente a escenario base y 2018

La mayor reducción de emisiones se consigue con el escenario de más rápida penetración del V.E. y un mix de generación mínimamente contaminante.

Evolución de las emisiones de contaminantes atmosféricos

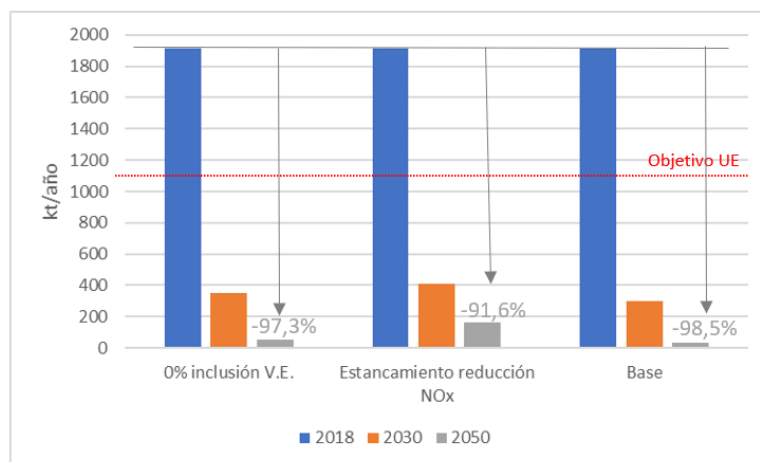


Figura 15: Comparativa de los tres escenarios planteados para el NOx. *Fuente: Propia*

Se comparan los resultados del escenario base con el escenario de no inclusión del V.E. y un segundo escenario en el que se prevé que las tecnologías de filtrado de los vehículos pesados no evolucionen en los próximos años y, por tanto, un vehículo matriculado en 2050 emita lo mismo por kWh que uno matriculado en 2019, debido a que los niveles de estos contaminantes se han logrado reducir drásticamente en los últimos años.

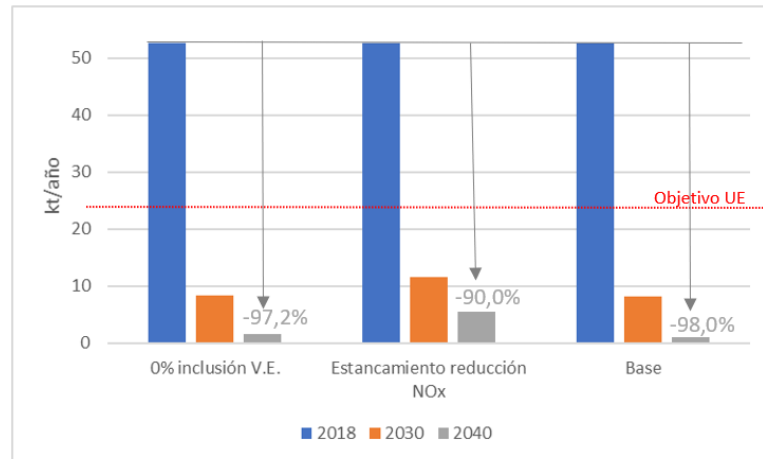


Figura 16: Comparativa de los tres escenarios planteados para las partículas. *Fuente: Propia*

Estos resultados sugieren que aunque la mejora supuesta a futuro en la tecnología de filtrado de los vehículos y la introducción del vehículo eléctrico consiguen unos niveles de las emisiones aún más bajos que si no se dieran, la mayor parte de la reducción se debe a la mejora ya conseguida en los años anteriores a 2018.

Breve análisis económico

El análisis económico llevado a cabo muestra que, para el año 2018, el vehículo eléctrico no resulta rentable considerando la media de kilómetros realizada por un vehículo eléctrico en este mismo año. Para 2050, si el precio de venta del V.E. se reduce en un 45 %, el V.E. es rentable a partir de los 10.800 km recorridos anualmente. Si el precio de compra no disminuye, o bien debe aumentar el precio del diésel, o bien debe disminuir el precio de la electricidad, o bien los vehículos pesados deben realizar más kilómetros que en 2018 para que el V.E. resulte rentable a su usuario.



Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Trabajo de Fin de Grado

*Impacto ambiental y energético de la evolución del
parque automovilístico ante diferentes escenarios de
Vehículo Eléctrico (VE) y Vehículo a Gas (VG)
considerando los vehículos pesados*

Autor

Paula Albendea López

Directores

Fidel Fernández Bernal

Andrés Diego Díaz Casado

Madrid

Julio 2020

Agradecimientos

A mis directores de este trabajo fin de grado, Fidel Fernández y Andrés Díaz, por su dedicación y cercanía. Les estaré siempre agradecida por sus consejos, paciencia y ayuda en este proyecto.

A mis compañeras de piso durante este año, por las molestias que les haya podido causar con mis reuniones matinales y por siempre estar dispuestas a ayudarme.

A mis amigos, especialmente a Patricia, por estar presente durante toda la carrera en los momentos más difíciles y animarme siempre a continuar.

A todos los profesores que a lo largo de mis estudios me han enseñado todo lo que hoy sé.

A mi familia, por lo ánimos que me han dado y la paciencia que han tenido. En especial a mis padres por todos los esfuerzos que realizan para darme siempre lo mejor.

GRACIAS

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	12
1.3. Metodología	14
2. Normativa Europea para Vehículos Pesados	19
2.1. Emisiones de CO ₂ y consumo de combustible	19
2.2. Emisiones de NO _x y PM _x . Euro Standards	22
3. Modelo	24
3.1. Modelo del Sector Eléctrico Español y el Vehículo Pesado Eléctrico	24
3.1.1. Situación actual	25
3.1.2. Previsiones a futuro	28
3.1.3. Los vehículos pesados y la electricidad	33
3.2. Hipótesis principal del modelo: recorrido anual constante	40
3.3. Modelo de Sustitución (Altas y Bajas de vehículos)	44
3.4. Modelo de Consumo del vehículo pesado de combustión	52
3.5. Modelo de Emisiones	56
3.5.1. Gases de efecto invernadero de los vehículos pesados de com- bustión	56
3.5.2. Contaminantes atmosféricos (NO _x y partículas)	59
4. Herramienta de Excel	63
4.1. Pestaña DAT_CAMFUR	64
4.1.1. Modelo de sustitución (Altas y bajas)	65
4.1.2. Recorrido	70
4.1.3. Consumo	73
4.1.4. Emisiones CO ₂ , NO _x y PM _x	76
4.1.5. Objetivo y error	78
4.2. Pestaña DAT0_PARQUE	79
4.3. Pestaña CAMFUR.PARAÑO	80

4.4.	Pestaña CAMFUR_KMAÑO	85
4.5.	Pestaña CAMFUR_KWHAÑO	90
4.6.	Pestaña CAMFUR_C02AÑO	94
4.7.	Pestaña CAMFUR_NOxAÑO	98
4.8.	Pestaña CAMFUR_PMxAÑO	100
4.9.	Pestaña CAMFUR_CO2_ELECTRICO	101
4.10.	Pestaña CAMFUR_RESULTGRAPH	106
5.	Aplicación del Modelo y de la Herramienta al Caso Español	107
5.1.	Parque de vehículos pesados	107
5.1.1.	Situación actual del parque de vehículos pesados español . . .	107
5.1.2.	Previsión de evolución del parque de vehículos pesados . . .	109
5.2.	Evolución del recorrido para la hipótesis tomada por el modelo . . .	112
5.3.	Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados	113
5.3.1.	Consumo	113
5.3.2.	Emisiones	115
6.	Breve análisis económico de la inclusión del vehículo eléctrico	126
6.1.	Precio actual de la electricidad y vehículo pesado eléctrico	126
6.2.	Precio del diésel y de los vehículos pesados convencionales	128
6.3.	Comparativa económica: vehículos pesados convencionales vs. eléctricos.	129
7.	Conclusiones	136
7.1.	Datos importantes tomados por el modelo utilizado, resultados y conclusiones	137
7.1.1.	Mix de generación	137
7.1.2.	Emisiones asociadas al vehículo eléctrico	139
7.1.3.	Recorrido anual constante	140
7.2.	Modelo de sustitución	140
7.3.	Consumo	144
7.4.	Emisiones de GEI de los vehículos pesados de combustión	145
7.4.1.	Contaminantes atmosféricos	148
7.5.	Conclusión sobre el análisis económico	152
8.	Posibles Futuras Líneas de Investigación	157
8.1.	Transporte de mercancías mediante el sistema ferroviario	157
8.2.	Otras líneas de investigación	160
	Anexos	162

A. Reflexión sobre los ODSs	163
B. Escenarios adicionales	169
B.1. Resultados para un mix de generación en 2050 igual al de 2018 . . .	169
B.2. Resultados para unas matriculaciones del 100 % de V.E. en 2050 . .	170
B.3. Resultados para una combinación de los dos escenarios anteriores .	173
B.4. Comparación de resultados de escenarios adicionales frente a esce- nario base y 2018	174
C. Tablas de resultados	175

Índice de figuras

1.	Evolution of the vehicle fleet according to the fuel used. <i>Source: own.</i>	XI
2.	Age of the diesel vehicle fleet vs. age of the E.V. fleet. <i>Source: own.</i>	XI
3.	Evolution of the annual distance traveled by the heavy vehicle fleet according to the fuel used. <i>Source: own.</i>	XII
4.	Annual energy consumption evolution according to the fuel used for 2018, 2030 y 2050. <i>Source: own.</i>	XII
5.	Comparison of the CO2 emissions in the base scenario and 0% inclusion of the E.V. scenario. <i>Source: Own</i>	XIII
6.	Comparison of the three additional scenarios analyzed for CO2 emissions, the base scenario and the levels of emissions of 2018. <i>Source: Own.</i>	XIV
7.	Comparison of the three scenarios analyzed for NOx emissions. <i>Source: Own</i>	XIV
8.	Comparison of the three scenarios analyzed for particle emissions. <i>Source: Own</i>	XV
9.	Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	XX
10.	Edad del parque de gasóleo vs. eléctrico puro en el año 2050. Envejecimiento del parque de gasóleo. <i>Fuente: Propia.</i>	XX
11.	Evolución del recorrido anual del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	XXI
12.	Evolución del consumo anual del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	XXI
13.	Comparativa de evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados del escenario base vs. escenario adicional de inclusión nula del VE <i>Fuente: Propia.</i>	XXII
14.	Comparación de resultados de escenarios adicionales para año 2050 frente a escenario base y 2018	XXIII
15.	Comparativa de los tres escenarios planteados para el NOx. <i>Fuente: Propia</i>	XXIII

16.	Comparativa de los tres escenarios planteados para las partículas. <i>Fuente: Propia</i>	XXIV
1.1.	Emisiones de CO2 en la UE. Sector transportes vs. Otros Sectores. Año 2018. <i>Fuente: Elaboración propia a partir de datos de La Agencia Europea de Medio Ambiente [3]</i>	2
1.2.	Emisiones CO2 en la UE. Desglose sector transportes. Año 2018. <i>Fuente: Elaboración propia a partir de datos de La Agencia Europea de Medio Ambiente [3]</i>	2
1.3.	Incremento de las emisiones de CO2 asociadas a los vehículos pesados si no se toman medidas (2010 vs. 2030). <i>Fuente: Propia a partir de datos de la AEM [4]</i>	4
1.4.	Índice de evolución del agregado de emisiones GEI 1990-2018 en España. <i>Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [5]</i>	4
1.5.	Emisiones GEI por sector en España. <i>Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [5]</i>	5
1.6.	Evolución emisiones NOx por sector en España. <i>Fuente: MITECO [6]</i>	6
1.7.	Evolución emisiones PM por sector. <i>Fuente: MITECO [6]</i>	7
1.8.	Proporción de dependencia energética de la EU-28 2007-2017. <i>Fuente: Eurostat [7]</i>	8
1.9.	Dependencia energética de España vs. UE28 2011-2018. <i>Fuente: AP-PA Renovables [8]</i>	8
1.10.	Energía procedente de fuentes renovables según el sector (2008-2017). <i>Fuente: INE [9]</i>	9
1.11.	Emisiones de CO2 originadas por cada tipo de vehículo según su combustible. <i>Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente [3]</i>	10
1.12.	Mix de generación eléctrica España (2018-2019). <i>Fuente: IPSOM [10]</i>	11
1.13.	Millones de toneladas de CO2 y factor de emisión asociado a la generación eléctrica. <i>Fuente: REE [11]</i>	12
3.1.	Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE [11]	26
3.2.	Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE [11]	26
3.3.	Millones de toneladas de CO2 y factor de emisión asociado a la generación eléctrica. <i>Fuente: REE [11]</i>	27
3.4.	Evolución del parque de generación. <i>Fuente: Elaboración propia a partir de datos Monitor Deloitte</i>	30

3.5.	Evolución de las emisiones de CO2 asociadas al mix de generación eléctrico. <i>Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE y Monitor Deloitte.</i>	32
3.6.	Evolución del factor de emisión del mix de generación eléctrico. <i>Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE y Monitor Deloitte.</i>	33
3.7.	Emisiones de CO2 asociadas a vehículos pesados eléctricos vs. consumo de los mismos en años 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12], Iberdrola [13] y Monitor Deloitte [2].</i>	38
3.8.	Función sigmoide utilizada para el cálculo de la penetración del VE puro pesado. <i>Fuente: Propia.</i>	46
3.9.	Bajas según la edad del parque. <i>Fuente: Propia.</i>	50
3.10.	Evolución del consumo de los vehículos pesados en Estados Unidos. <i>Fuente: Propia a partir de datos de EIA.</i>	52
3.11.	Extrapolación de la curva de la evolución de los límites de NOx en los últimos 28 años	60
3.12.	Extrapolación de la curva de la evolución de los límites de PMx en los últimos 21 años	61
4.1.	Distribución de la pestaña Dat_CAMFUR. <i>Fuente: Propia</i>	64
4.2.	División de la herramienta en urbano y carretera. Sección recorrido como ejemplo. <i>Fuente: Propia.</i>	65
4.3.	Distribución de la sección <i>Modelo de sustitución (Altas y Bajas)</i> . <i>Fuente: Propia.</i>	65
4.4.	Pestaña Dat_Camfur, columnas BQ, BR y BS. <i>Fuente: Propia.</i>	68
4.5.	Pestaña Dat_Camfur, bajas. <i>Fuente: Propia</i>	69
4.6.	Factor de corrección por edad del parque. Bajas. <i>Fuente: Propia.</i> . . .	69
4.7.	Distribución de la sección <i>Recorrido</i> . <i>Fuente: Propia.</i>	70
4.8.	Pestaña Dat_CamFur: Recorrido. Base de kilómetros anuales. <i>Fuente: Propia</i>	71
4.9.	Porcentaje del recorrido anual en ciudad y factor corrección del recorrido anual para cada tipo de vehículo pesado. <i>Fuente: Propia</i> .	71
4.10.	Factor corrección del recorrido anual por edad del parque. <i>Fuente: Propia</i>	72
4.11.	Pestaña Dat_Camfur: Recorrido total. <i>Fuente: Propia</i>	72
4.12.	Distribución de la sección <i>Consumo</i> . <i>Fuente: Propia.</i>	73
4.13.	Pestaña Dat_CamFur: factor evolución consumo. <i>Fuente: Propia</i> . . .	73
4.14.	Pestaña Dat_CamFur: Media consumo <i>Fuente: Propia</i>	74
4.15.	Pestaña Dat_CamFur: Efecto edad del parque en el consumo <i>Fuente: Propia</i>	75

4.16. Pestaña Dat_CamFur: Consumo total <i>Fuente: Propia</i>	75
4.17. Distribución de la sección <i>Emisiones CO2. Fuente: Propia.</i>	76
4.18. Factor de evolución de las emisiones con los años. <i>Fuente: Propia.</i>	77
4.19. Dat_CamFur: Media emisiones. <i>Fuente: Propia.</i>	77
4.20. Dat_CamFur: Factores de corrección según la antigüedad del parque para las emisiones <i>Fuente: Propia</i>	78
4.21. Dat_CamFur: Emisiones finales. <i>Fuente: Propia</i>	78
4.22. Distribución de la pestaña DAT0_PARQUE. <i>Fuente: Propia</i>	79
4.23. Pestaña DAT0_PARQUE. <i>Fuente: Propia.</i>	80
4.24. Distribución de la Pestaña DAT0_PARQUE <i>Fuente: propia</i>	80
4.25. Pestaña CAMFUR_PARAÑO, datos de distribución del parque, bajas y efecto de antigüedad. <i>Fuente: Propia.</i>	81
4.26. Número de vehículos por tipo de combustible según el año de matriculación para cada año. Pestaña CAMFUR_PARAÑO. <i>Fuente: Propia</i>	82
4.27. Distribución del parque de camiones y furgonetas por tipo de combustible para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_PARAÑO. <i>Fuente: Propia.</i>	83
4.28. Distribución del parque de camiones y furgonetas de gasóleo según el año de matriculación. Pestaña CAMFUR_PARAÑO. <i>Fuente: Propia</i>	84
4.29. Distribución de la pestaña CamFur_kmAÑO. <i>Fuente: Propia</i>	85
4.30. Gm recorridos anualmente por los vehículos pesados según su año de matriculación para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KMAÑO <i>Fuente: Propia.</i>	88
4.31. Gm totales recorridos anualmente por el conjunto del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible que utilizan. Pestaña CAMFUR_KMAÑO <i>Fuente: Propia.</i>	89
4.32. Gm totales recorridos anualmente por los vehículos pesados de gasóleo según su año de matriculación en los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KMAÑO <i>Fuente: Propia.</i>	89
4.33. Distribución de la pestaña CamFur_kWhAÑO. <i>Fuente: Propia</i>	90
4.34. GWh consumidos anualmente por los vehículos pesados según su año de matriculación para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KWHAÑO. <i>Fuente: Propia.</i>	92
4.35. GWh totales consumidos anualmente por el conjunto del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible que utilizan. Pestaña CAMFUR_KWHAÑO. <i>Fuente: Propia.</i>	93
4.36. GWh consumidos anualmente por los vehículos pesados de gasóleo según su año de matriculación en los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KWHAÑO. <i>Fuente: Propia.</i>	93

4.37. Distribución de la pestaña CamFur_CO2AÑO. <i>Fuente: Propia</i>	94
4.38. Kt de CO2 emitidas anualmente por los vehículos pesados según su año de matriculación para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_CO2AÑO. <i>Fuente: Propia</i>	97
4.39. Kt de CO2 totales emitidas anualmente por el conjunto del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible que utilizan. Pestaña CAMFUR_CO2AÑO. <i>Fuente: Propia</i>	97
4.40. Kt de CO2 emitidas anualmente por los vehículos pesados de gasóleo según su año de matriculación en los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_CO2AÑO. <i>Fuente: Propia</i>	98
4.41. Distribución de la pestaña CamFur_NOxAÑO. <i>Fuente: Propia</i> . . .	99
4.42. Distribución de la pestaña CamFur_PMxAÑO. <i>Fuente: Propia</i> . . .	100
4.43. Distribución de la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	101
4.44. Evolución del factor de emisión para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	102
4.45. Evolución de las horas de funcionamiento de las plantas CCGT para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	103
4.46. Evolución de las emisiones de las plantas CCGT para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	103
4.47. Evolución de la demanda eléctrica nacional para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	103
4.48. Consumo del vehículo eléctrico puro e híbrido enchufable para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	104
4.49. Rendimiento de proceso de transporte y distribución de la electricidad, así como del proceso de carga y uso de las baterías del vehículo eléctrico para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i> . 104	
4.50. Consumo en barras de la central de los vehículos eléctricos para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	105
4.51. Emisiones totales de CO2 asociadas al vehículo eléctrico. Pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. <i>Fuente: Propia</i>	105
4.52. Distribución de la pestaña CamFur_ResultGRAPH. <i>Fuente: Propia</i> . 106	
5.1. Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2010-2018. <i>Fuente: Propia</i>	108
5.2. Distribución del parque de vehículos pesados por combustible para el año 2018. <i>Fuente: Propia</i>	108
5.3. Distribución del parque de vehículos pesados que utilizan <i>otros combustibles</i> . Año 2018. <i>Fuente: Propia</i>	109
5.4. Evolución de la distribución de las altas de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia</i>	110

5.5.	Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	111
5.6.	Edad del parque de gasóleo vs. eléctrico puro en el año 2050. Envejecimiento del parque de gasóleo. <i>Fuente: Propia.</i>	112
5.7.	Evolución del recorrido anual del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	113
5.8.	Evolución del consumo anual del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	114
5.9.	Evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	116
5.10.	Evolución del factor de emisión del mix de generación eléctrica. <i>Fuente: Propia.</i>	117
5.11.	Evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	118
5.12.	Evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050 para el escenario adicional de inclusión nula del VE <i>Fuente: Propia.</i>	118
5.13.	Comparativa de evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados del escenario base vs. escenario adicional de inclusión nula del VE <i>Fuente: Propia.</i>	119
5.14.	Evolución de las emisiones de NOx anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	120
5.15.	Evolución de las emisiones de partículas del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	121
5.16.	Evolución de las emisiones de NOx anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	121
5.17.	Evolución de las emisiones de partículas del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	122
5.18.	Evolución de las emisiones de NOx anuales por ciudad del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	123
5.19.	Evolución de las emisiones de partículas por ciudad del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	123
5.20.	Comparativa de los tres escenarios planteados para el NOx. <i>Fuente: Propia</i>	124
5.21.	Comparativa de los tres escenarios planteados para las partículas. <i>Fuente: Propia</i>	125
6.1.	Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2018. <i>Fuente: Propia</i>	130

6.2.	Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 con reducción del precio de compra del V.E. <i>Fuente: Propia</i>	131
6.3.	Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 sin reducción del precio de compra del V.E. <i>Fuente: Propia</i>	132
6.4.	Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	133
6.5.	Escenario B. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	134
6.6.	Escenario C. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	135
7.1.	Evolución del parque de generación. <i>Fuente: Elaboración propia a partir de datos Monitor Deloitte [2].</i>	138
7.2.	Evolución del factor de emisión del mix de generación eléctrico. <i>Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE y Monitor Deloitte [2].</i>	138
7.3.	Emisiones de CO2 asociadas a vehículos pesados eléctricos vs. consumo de los mismos en años 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12], Iberdrola [13] y Monitor Deloitte [2].</i>	139
7.4.	Evolución del recorrido anual del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	140
7.5.	Evolución de la distribución de las altas de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	141
7.6.	Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	143
7.7.	Edad del parque de gasóleo vs. eléctrico puro en el año 2050. Envejecimiento del parque de gasóleo. <i>Fuente: Propia.</i>	143
7.8.	Evolución del consumo anual del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	145
7.9.	Evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	146
7.10.	Evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	147
7.11.	Evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050 para el escenario adicional de inclusión nula del VE <i>Fuente: Propia.</i>	147

7.12. Comparativa de evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados del escenario base vs. escenario adicional de inclusión nula del VE <i>Fuente: Propia.</i>	148
7.13. Evolución de las emisiones de NOx anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	149
7.14. Evolución de las emisiones de partículas del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. <i>Fuente: Propia.</i>	150
7.15. Comparativa de los tres escenarios planteados para el NOx. <i>Fuente: Propia</i>	151
7.16. Comparativa de los tres escenarios planteados para las partículas. <i>Fuente: Propia</i>	151
7.17. Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2018. <i>Fuente: Propia</i>	152
7.18. Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 con reducción del precio de compra del V.E. <i>Fuente: Propia</i>	153
7.19. Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 sin reducción del precio de compra del V.E. <i>Fuente: Propia</i>	153
7.20. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	154
7.21. Escenario B. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	155
7.22. Escenario C. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	155
8.1. Transporte interior de mercancías en la UE, en miles de millones de toneladas-kilómetro. <i>Fuente: Tribunal de Cuentas Europeo, a partir de los últimos datos disponibles de Eurostat [14].</i>	158
8.2. Emisiones de CO2 por tonelada-kilómetro en la UE en 2012. <i>Fuente: Tribunal de Cuentas Europeo, a partir de los datos proporcionados por la Agencia Europea de Medio Ambiente [14].</i>	158
A.1. 17 ODSs. <i>Fuente: Sustainable Development Goals. United Nations [15]</i>	164
A.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible incluidos en este proyecto.	165
B.1. Evolución emisiones CO2 para un mix de generación en 2050 igual de contaminante que el actual.	169
B.2. Evolución de las matriculaciones de vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.	170

B.3. Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.	171
B.4. Evolución de la distancia recorrida por vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.	171
B.5. Evolución del consumo de vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.	172
B.6. Evolución de las emisiones de CO2 asociadas a los vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.	172
B.7. Evolución de las emisiones de CO2 asociadas a los vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050 y un mix de generación igual de contaminante que el actual	173
B.8. Comparación de resultados de escenarios adicionales para año 2050 frente a escenario base y 2018	174

Índice de tablas

2.1.	Políticas de la Unión Europea en materia de emisiones	20
2.2.	Euro Standards para vehículos pesados. <i>Fuente: AirClim</i>	22
3.1.	Consumo medio corregido para 2018. <i>Fuente: Propia.</i>	35
3.2.	Eficiencia de las baterías vs. Potencia de carga. <i>Fuente: Universidad de L'Aquila [16].</i>	35
3.3.	Eficiencia de los cargadores vs. Potencia de carga. <i>Fuente: Universidad de L'Aquila [16].</i>	35
3.4.	Eficiencia de las baterías y el proceso de carga de los vehículos pesados eléctricos. <i>Fuente: Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12].</i>	36
3.5.	Cálculo del consumo en barras de la central teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. <i>Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12] e Iberdrola [13].</i>	37
3.6.	Cálculo de las emisiones de CO2 asociadas al funcionamiento del vehículo eléctrico en 2018. <i>Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12], Iberdrola [13] y Monitor Deloitte [2].</i>	37
3.7.	Medidas de energía consumida a diferentes velocidades por el Nissan Leaf y el i-MiEV. <i>Fuente: The University of Western Australia, School of Electrical Electronic and Computer Engineering</i>	40
3.8.	Cálculo del consumo en barras de la central en ciudad teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. <i>Fuente: Propia a partir de datos de la Universidad de L'Aquila [16] y University of Western Australia [17].</i>	40
3.9.	Recorrido anual medio vehículos pesados según antigüedad. <i>Fuente: Propia.</i>	43
3.10.	Porcentaje de matriculaciones previstas por el modelo para 2050 por tipo de combustible.	47
3.11.	Porcentaje de bajas con respecto al parque del año anterior.	48

3.12. Porcentaje de bajas respecto al parque de vehículos pesados según el año de matriculación para los años 2014, 2105, 2016 y 2017.	49
3.13. Cálculo de factor de bajas según la edad del parque.	49
3.14. Factores de corrección por antigüedad para las bajas utilizados en el modelo.	51
3.15. Evolución del consumo de los vehículos pesados en Estados Unidos y media porcentual de variación anual de este. <i>Fuente: Propia a partir de datos de EIA.</i>	53
3.16. Consumo medio de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.	54
3.17. Emisiones medias de CO2 de los vehículos pesados en 2013 según el tipo de recorrido (urbano, rural e interurbano). <i>Fuente: Propia a partir de datos de la Generalitat de Catalunya [18].</i>	57
3.18. Emisiones medias de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.	57
3.19. Emisiones de CO2 según la normativa que limita las emisiones de NOx, partículas, HC y CO a la que se ajusta la tecnología del vehículo pesado. <i>Fuente: NSCA [19].</i>	58
3.20. Evolución de la normativa europea en materia de emisiones de vehículos pesados. <i>Fuente: Propia a partir de datos de la UE.</i>	62
5.1. Porcentaje de altas según el tipo de combustible 2018-2030-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	110
5.2. Distribución del parque según el tipo de combustible 2018-2030-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	111
5.3. Evolución del consumo (GWh/año) según el tipo de combustible 2018-2030-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	115
5.4. Evolución de las emisiones de CO2 (kt/año) del total del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible 2018-2030-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	117
5.5. Evolución de las emisiones en kt/año de NOx y partículas asociadas a los vehículos pesados. <i>Fuente: Propia.</i>	122
6.1. Coste usuario final asociado al funcionamiento del vehículo pesado eléctrico medio. <i>Fuente: Propia a partir de datos de REE y fabricantes.</i>	126
6.2. Precio de tres modelos de vehículo pesado eléctrico y precio medio del vehículo pesado genérico estimado en la actualidad. <i>Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.</i>	127
6.3. Coste usuario final asociado para 2050 al funcionamiento del vehículo pesado eléctrico medio. <i>Fuente: Propia a partir de datos de REE y fabricantes.</i>	127

6.4.	Coste usuario final asociado al funcionamiento del vehículo pesado diésel medio en 2018. <i>Fuente: Propia a partir de datos fabricantes.</i>	128
6.5.	Precio de modelos de vehículo pesado de tamaño similar a los eléctricos analizados. <i>Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.</i>	128
6.6.	Coste usuario final asociado al funcionamiento del vehículo pesado diésel medio 2050. <i>Fuente: Propia a partir de datos fabricantes.</i>	129
6.7.	Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. <i>Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.</i>	129
6.8.	Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. <i>Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.</i>	131
6.9.	Escenario A. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	132
6.10.	Escenario B. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	134
6.11.	Escenario C. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs. el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	134
7.1.	Cálculo del consumo en barras de la central teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. <i>Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12] e Iberdrola [13].</i>	139
7.2.	Cálculo del consumo en barras de la central en ciudad teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. <i>Fuente: Propia a partir de datos de la Universidad de L'Aquila [16] y University of Western Australia [17].</i>	140
7.3.	Porcentaje de matriculaciones previstas por el modelo para 2050 por tipo de combustible.	141
7.4.	Porcentaje de altas según el tipo de combustible 2018-2030-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	141
7.5.	Factores de corrección por antigüedad para las bajas utilizados en el modelo.	142
7.6.	Distribución del parque según el tipo de combustible 2018-2030-2050. <i>Fuente: Propia.</i>	142
7.7.	Evolución del consumo de los vehículos pesados en Estados Unidos y media porcentual de variación anual de este. <i>Fuente: Propia a partir de datos de EIA.</i>	144
7.8.	Consumo medio de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.	144

7.9.	Emisiones medias de CO ₂ de los vehículos pesados en 2013 según el tipo de recorrido (urbano, rural e interurbano). <i>Fuente: Propia a partir de datos de la Generalitat de Catalunya [18].</i>	146
7.10.	Emisiones medias de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.	146
7.11.	Evolución de la normativa europea en materia de emisiones de vehículos pesados. <i>Fuente: Propia a partir de datos de la UE.</i>	149
7.12.	Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. <i>Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.</i>	152
7.13.	Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. <i>Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.</i>	152
7.14.	Escenario A. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	154
7.15.	Escenario B. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	154
7.16.	Escenario C. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs. el vehículo diésel. <i>Fuente: Propia.</i>	155

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

La dependencia energética mundial en fuentes no renovables y la contaminación asociada a las mismas y a los procesos que hacen uso de ellas, son dos de los mayores problemas a los que se enfrenta la comunidad internacional hoy día.

El transporte es responsable de casi un cuarto de las emisiones de CO₂ mundiales relacionadas con la energía, según los datos proporcionados por la International Energy Agency (IEA) [1]. Por ello, para conseguir los objetivos marcados para 2050 por la comunidad internacional en materia de disminución de los gases de efecto invernadero, el transporte es un factor decisivo.

La IEA [1] asegura que para 2050, si no se tomaran las medidas necesarias, el parque de turismos se triplicaría, el transporte de mercancías por carretera se duplicaría y, con ello, el uso de energía y las emisiones de CO₂ en el sector transporte se verían duplicadas. La IEA, habla de datos mundiales, sin embargo, se prevé que en los países más desarrollados como es España, se produzca un estancamiento del consumo. En este estudio, ante la incertidumbre, se asume que se tomarán las medidas necesarias para que esto no ocurra y se utiliza un escenario en el que los kilómetros recorridos por los vehículos pesados en los años futuros se mantienen constantes. El presente proyecto, por tanto, investiga cómo evolucionarían las emisiones y el consumo de los vehículos pesados eléctricos si se produjera este estancamiento del recorrido de los vehículos pesados pero el mix de generación eléctrica evolucionara y se produjera la inclusión del vehículo eléctrico en el parque de vehículos pesados.

En el caso de la Unión Europea (UE), las emisiones de gases de efecto inver-

nadero (GEI) asociadas al transporte representan más de una cuarta parte de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de la UE. Por el momento, no se aprecia una inversión de esta tendencia, lo que convierte al sector del transporte en un obstáculo importante para cumplir los objetivos de la UE en materia de protección del clima. Dentro de estas emisiones asociadas al transporte, los coches, las furgonetas, los camiones y los autobuses producen más del 70 % de ellas (Ver *Figura: 1.1*) [20].

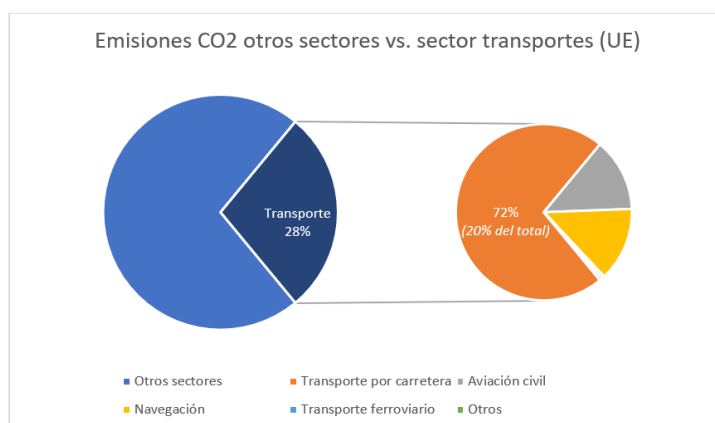


Figura 1.1: Emisiones de CO2 en la UE. Sector transportes vs. Otros Sectores. Año 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de La Agencia Europea de Medio Ambiente [3]

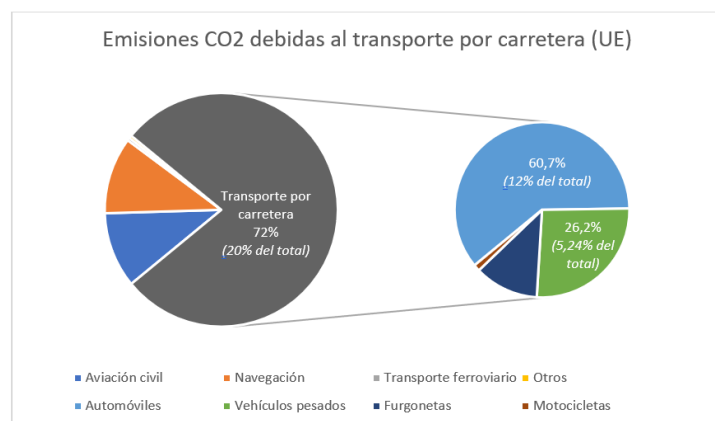


Figura 1.2: Emisiones CO2 en la UE. Desglose sector transportes. Año 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de La Agencia Europea de Medio Ambiente [3]

Como se observa en la *Figura: 1.2*, dentro del sector transporte, según los datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEM), los llamados *heavy duty vehicles* (HDVs), es decir, los vehículos pesados, son responsables del 27 % de las emisiones de CO₂ debidas al transporte por carretera, y del 5 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la UE [4]. Para lograr reducir las emisiones de CO₂ de la UE, es necesario trabajar en todos los agentes o sectores, ya que tan sólo con la mejora de todos ellos se podrán conseguir los objetivos marcados. Es recomendable, por tanto, que se tomen medidas para limitar las emisiones de estos vehículos y se invierta en el desarrollo de nuevas y más limpias tecnologías [20]. Además, aunque el transporte pesado no parezca suponer una fracción tan importante en las emisiones de GEI en la UE, el desarrollo de las tecnologías para conseguir turismos más limpios tan sólo puede ir acompañado de un desarrollo similar para los demás sectores del transporte.

Los países de la UE que más contribuyen a las emisiones de CO₂ procedentes de los vehículos pesados son Alemania, Francia, Reino Unido, Italia, España y Polonia, al tener el mayor número de vehículos pesados registrados. Las emisiones de CO₂ de estos países constituyen más de dos tercios del total de emisiones de CO₂ de vehículos pesados de la Unión [4]. Desde 1990, los países más responsables del aumento de las emisiones de CO₂ de los HDVs han sido Alemania (+14,9 millones de toneladas de CO₂ (MtCO₂)), Polonia (+9,9 MtCO₂) y España (+7,3 MtCO₂). En conjunto, estos tres países han representado más de dos tercios del aumento total de las emisiones de CO₂ de los HDVS en la UE-28 [4].

Las tendencias futuras muestran que, si no se adoptaran medidas adicionales para reducir las emisiones de CO₂, la proporción de las emisiones de CO₂ del transporte por carretera de las que es responsable el sector de los vehículos pesados aumentaría en un 10 % en 2030 en comparación con 2010 (CE, 2016b; CE, 2017a) (Ver *Figura 1.3*) [4]. Este aumento de las emisiones no es compatible con el objetivo de la política a largo plazo de la UE de reducir las emisiones de GEI del transporte en al menos un 60 % para 2050 en comparación con los niveles de 1990, tal como se reitera en la estrategia de movilidad de bajas emisiones de la Comisión Europea (CE, 2016a) [4].

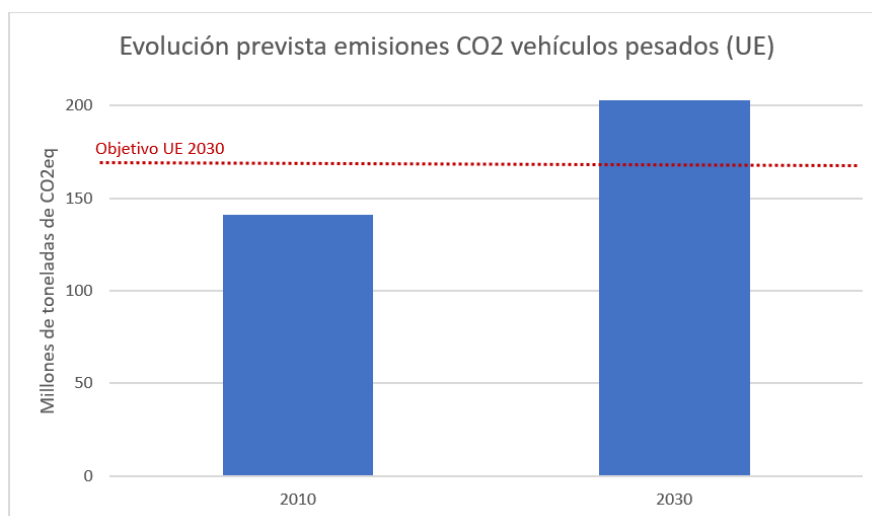


Figura 1.3: Incremento de las emisiones de CO2 asociadas a los vehículos pesados si no se toman medidas (2010 vs. 2030). Fuente: Propia a partir de datos de la AEM [4].

En el caso español, el nivel de emisiones brutas totales de gases de efecto invernadero (GEI)¹ se situó en 2018 en un +15,5 % respecto a 1990 y un -24,6 % respecto a 2005 [21] (Ver Figura 1.4).

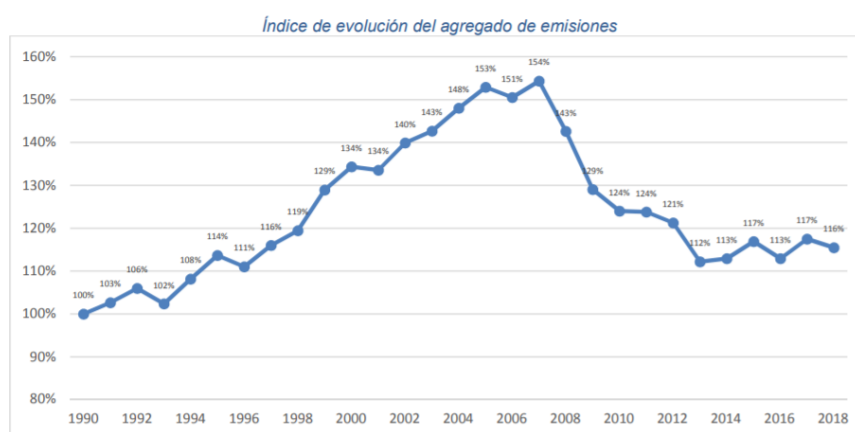


Figura 1.4: Índice de evolución del agregado de emisiones GEI 1990-2018 en España. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [5].

¹Los gases de efecto invernadero directo que se estiman en el Inventario son: dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), óxido nitroso (N2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6).

El sector que más contribuyó al global de las emisiones de GEI en España, en 2018 es el del transporte, siendo su aportación de un 27 % (ver *Figura 1.5*). Dentro de este sector, el transporte por carretera, constituye el 25 % del total de las emisiones. Las emisiones de CO₂ debidas al gasóleo son las mayoritarias, representando un 19,9 % del total del Inventario, y las emisiones de CO₂ debidas a la gasolina suponen un 4,6 % [5]. Esto se debe a que los vehículos antiguos de gasóleo, que aún permanecen en el parque actual, no disponían de las tecnologías que disponen hoy en día y, por tanto, eran mucho más contaminantes. Es recomendable por esta razón, que además de la introducción del vehículo eléctrico, se impulse un plan *renove* para sustituir aquellos vehículos de más edad por otros nuevos, aunque estos sigan utilizando un motor de combustión.

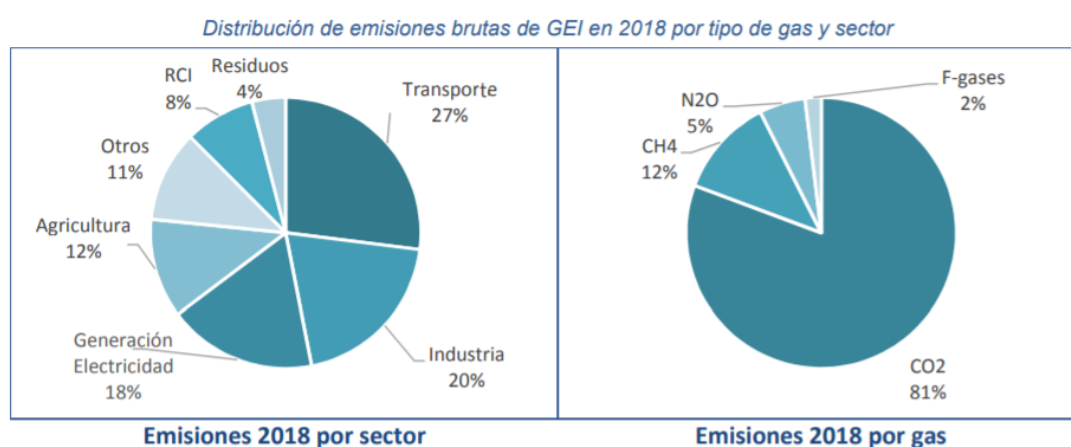


Figura 1.5: Emisiones GEI por sector en España. *Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [5].*

Además de los GEI, existen otros contaminantes atmosféricos que también deben tenerse en cuenta y que también son emitidos en gran parte por el sector transporte. Dentro de estos contaminantes atmosféricos se encuentran las partículas (PM) y los óxidos de nitrógeno (NO_x)², ambos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente.

²Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Se forman como subproducto en todas las combustiones llevadas a cabo a altas temperaturas, principalmente en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. El NO_x es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la producción de ácidos y elevados niveles de PM_{2.5} en el ambiente. Interviene en la formación del smog fotoquímico. Además, da lugar a la lluvia ácida al reaccionar la humedad ambiental [21]

Las emisiones de NO_x de los vehículos pesados supusieron en 2019 un 43 % del total de las emisiones de NO_x realizadas por el transporte por carretera español, que a su vez supuso un 32.7% del total de las emisiones de NO_x del país [6] (Véase F_RoadTransport en *Figura 1.6*). Es decir, las emisiones de NO_x de los vehículos pesados y autobuses constituyeron un 14 % del total de las emisiones del país. Aunque parezca un porcentaje muy elevado, hay que tener en cuenta que las emisiones de NO_x afectan sobre todo a la salud humana, cuando se producen altas concentraciones de las mismas. Los vehículos pesados circulan la mayoría de su recorrido por carretera, por lo que las emisiones de estos gases se disipan en el ambiente alejado de los núcleos urbanos y no suponen la misma amenaza que en los mismos. Aún teniendo esto en cuenta, para alcanzar los objetivos marcados por la UE, se deben reducir estas emisiones del sector de transportes en un 40 % (-122 kt) respecto al año 2015, según los datos del Ministerio para la Transición Ecológica [5].

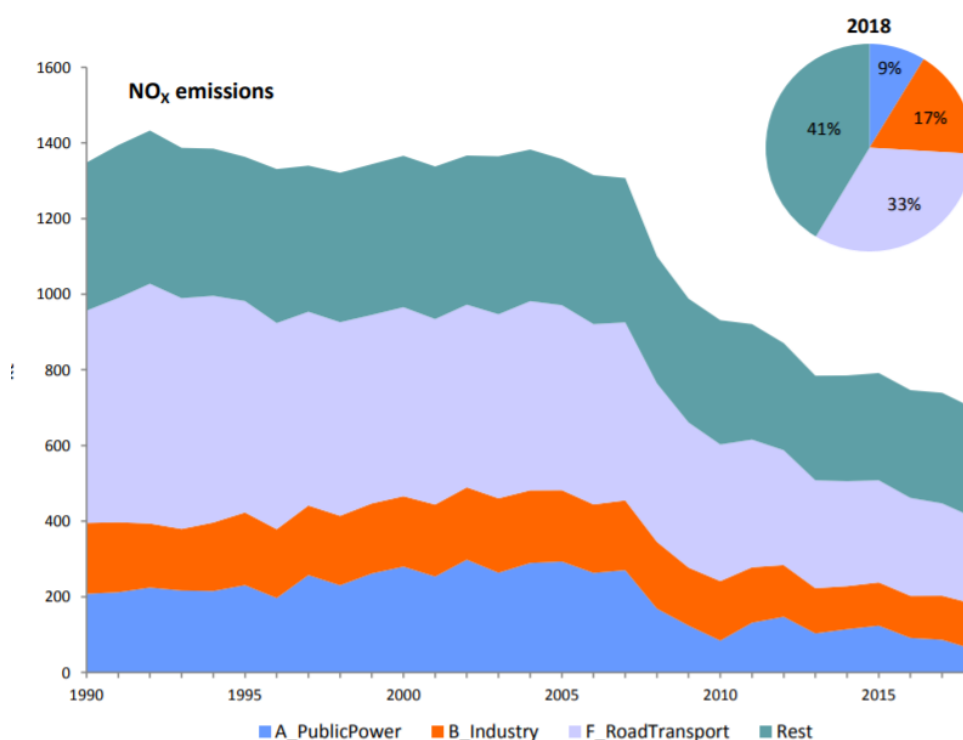


Figura 1.6: Evolución emisiones NO_x por sector en España. *Fuente: MITECO [6].*

En cuanto a las emisiones de partículas (PM_{2,5})³, la industria, la combustión

³El material particulado (PM_{2,5}) está formado por partículas sólidas o líquidas de polvo,

doméstica y el transporte rodado representan el 62 % de dichas emisiones. Las emisiones de partículas de vehículos pesados supusieron un 11 % del total de las emisiones de partículas realizadas por el transporte por carretera español, que a su vez supuso un 8 % de total de las emisiones de partículas del país [21]. Para alcanzar los objetivos marcados por la UE, las emisiones de partículas realizadas por el sector transporte deben verse reducidas entre un 20 % y un 40 % para 2030 [5]

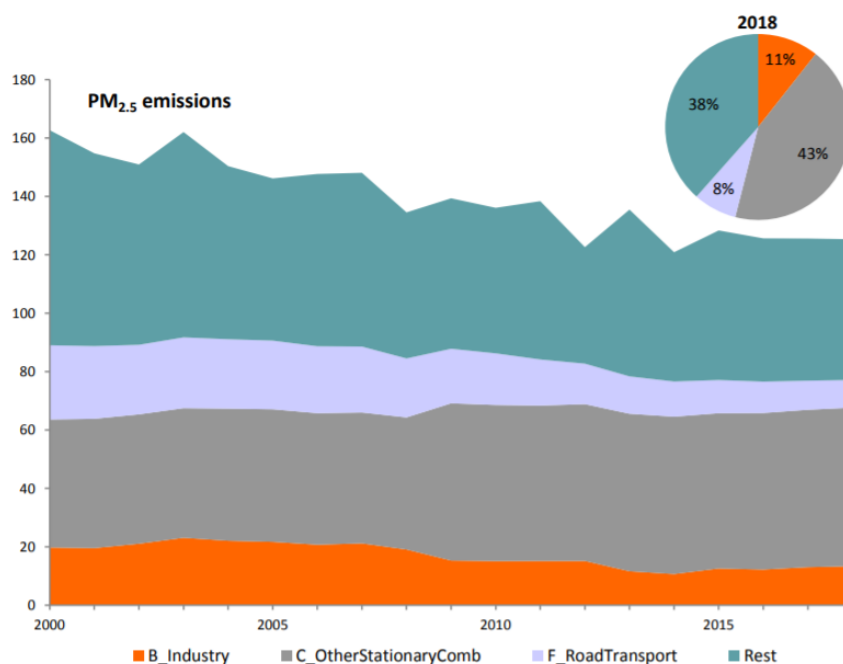


Figura 1.7: Evolución emisiones PM por sector. *Fuente: MITECO [6]*

Por otro lado, otro de los motivos por los que se debería invertir en el desarrollo de vehículos que usen otros tipos de combustibles, combustibles no convencionales, es para disminuir la dependencia energética que tiene Europa de otros países. En 2017, la tasa de dependencia energética europea alcanzó el máximo nivel (el 55,1 %). Las tasas más altas de 2017 se registraron para el petróleo crudo (86,7 %) y para el gas natural (74,3 %), mientras que la última cifra disponible para los combustibles fósiles sólidos fue del 43,9 %, según los datos publicados por Eurostat [7]

cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro es inferior a $2,5 \mu\text{m}$. La exposición prolongada o repetitiva al material particulado puede provocar efectos nocivos en el sistema respiratorio de la persona [21]

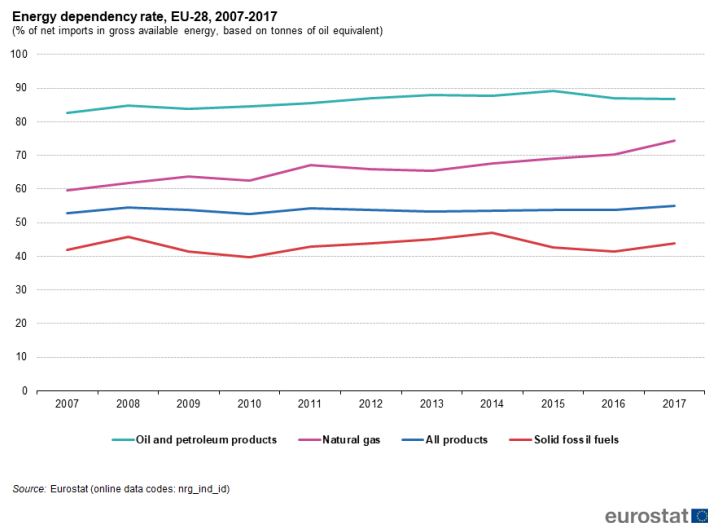


Figura 1.8: Proporción de dependencia energética de la EU-28 2007-2017. *Fuente: Eurostat [7].*

En el caso de España, en 2018, la dependencia energética del exterior se situó en 73,4%, es decir, un 20 % más que la media europea. En 2008, España llegó a alcanzar el 81,3% de dependencia energética del exterior [8]. Sin embargo, la generación con energías renovables ha hecho que la dependencia haya ido disminuyendo. (Ver *Figura 1.9*). Las energías renovables, por tanto, al ser fuentes de energía limpias, autóctonas e inagotables, resultan fundamentales para solucionar el grave problema de la dependencia energética.

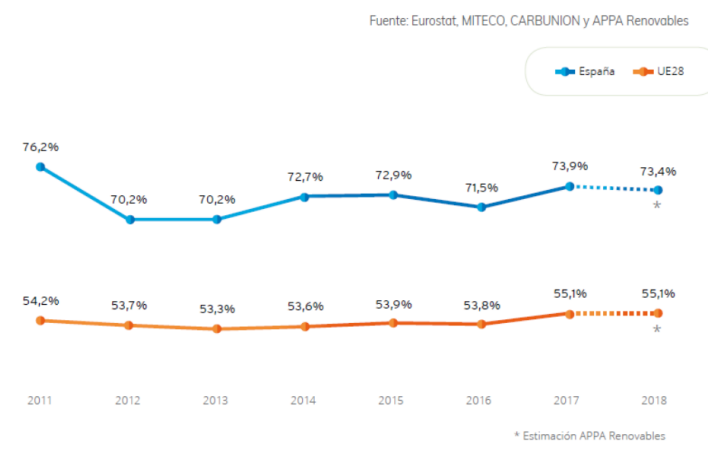


Figura 1.9: Dependencia energética de España vs. UE28 2011-2018. *Fuente: APPA Renovables [8].*

España se comprometió con la Unión Europea a que, en 2030, el consumo final bruto de energía proceda en un 27 % de fuentes renovables y que en el sector transporte el uso de esta energía sea de al menos un 15 %. Sin embargo, la energía consumida en España en 2018 procedía mayormente de energía fósil (petróleo 44,9 %; gas natural 21,1 % y carbón 8,6 %). Para conseguir cumplir con los compromisos asumidos con la UE, se pusieron en marcha tanto el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 como el Plan de Energías Renovables 2011-2020 [8]. En 2017, el 17,5 % de la energía total procedía de fuentes renovables, pero el uso de la energía procedente de estas fuentes era tan sólo de un 5,9 % en el sector transportes [9].

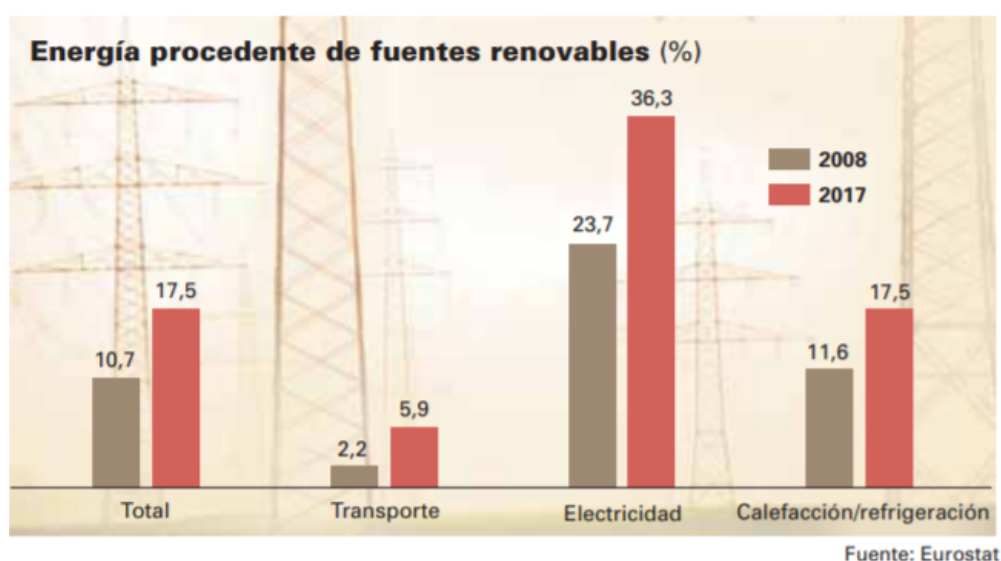


Figura 1.10: *Energía procedente de fuentes renovables según el sector (2008-2017).*
Fuente: INE [9]

En cuanto a las emisiones asociadas a un vehículo, especialmente las de CO₂, no sólo hay que tener en cuenta las generadas durante su uso, si no también las que causan su producción y eliminación. Un vehículo eléctrico no presenta emisiones locales ⁴, sin embargo, la producción y desecho de este tipo de vehículo es menos respetuosa con el medio ambiente que un vehículo con motor de combustión interna. Además, el nivel de emisiones asociadas a su producción y uso varía según las fuentes utilizadas para la generación de electricidad, la cual usan estos vehículos

⁴Emisiones locales: emisiones emitidas por el propio vehículo en el lugar de su uso (in situ) por la quema de combustible de su motor u otros procesos.

para la carga de sus baterías [3].

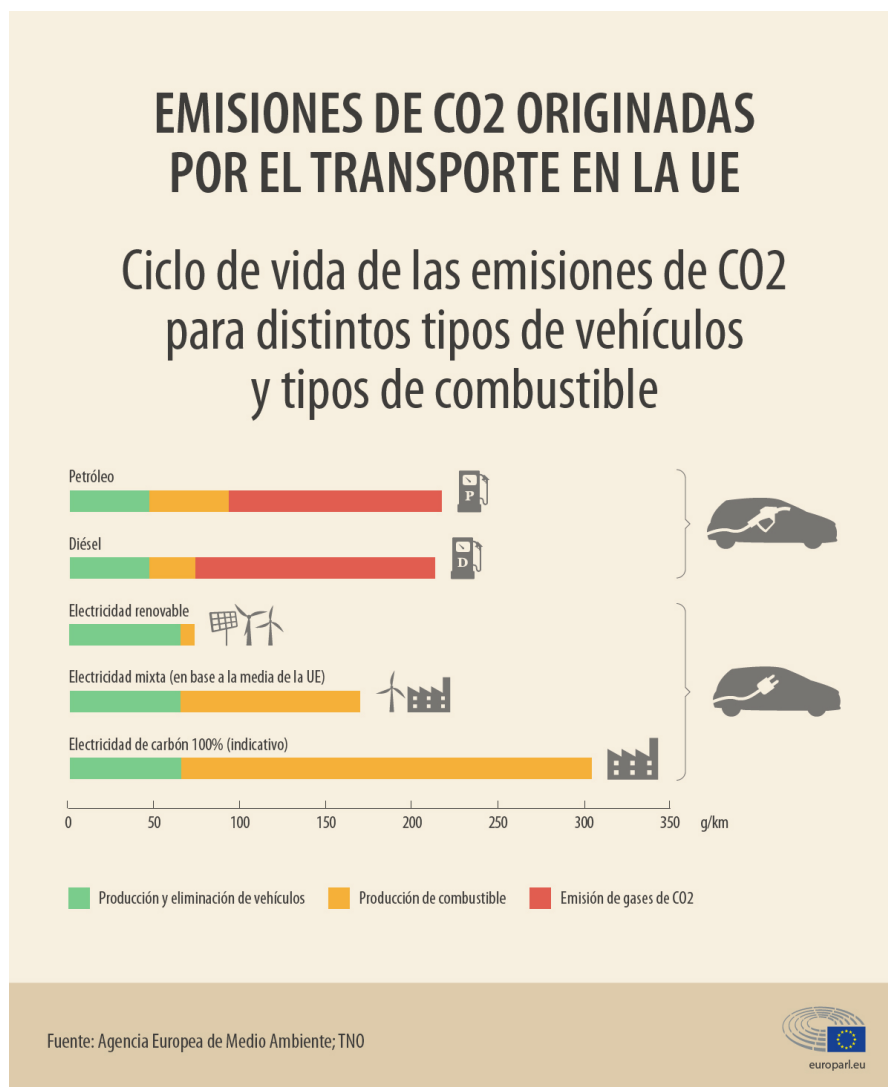


Figura 1.11: *Emisiones de CO₂ originadas por cada tipo de vehículo según su combustible. Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente [3]*

Por todo ello, además de introducir el vehículo eléctrico, tanto en el parque de turismos como en el parque de vehículos pesados, es importante que se desarrollen las fuentes de energías renovables, ya que además de garantizarnos independencia energética, es la única manera de que los vehículos eléctricos sean lo menos contaminantes posible. Si se usa un mix de generación basado en gran parte en fuentes limpias y renovables, estos vehículos serán mucho menos contaminantes.

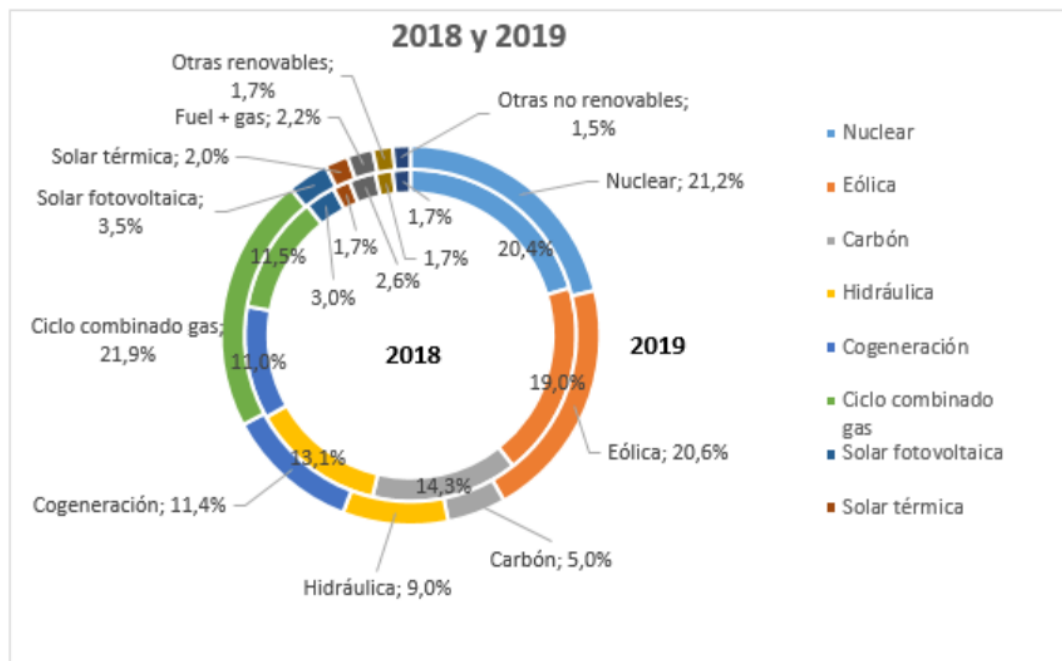


Figura 1.12: *Mix de generación eléctrica España (2018-2019)*. Fuente: IPSOM [10].

El nivel de emisiones asociadas a este mix de generación eléctrico se mide mediante un factor de emisión ⁵. En 2018, este factor fue de 0,247 kgCo2/kwh, un 15 % menor que el de 2017 (0,29 kgC02/kWh) pero aproximadamente igual que el de 2016. Este factor ha ido sufriendo fluctuaciones a lo largo de los años, observables en la *Figura 1.13*. Estas fluctuaciones se deben, en gran medida, al tipo de año hidráulico, ya que si se da un año seco, la energía que producen las centrales hidráulicas disminuye y se necesita respaldo de otras fuentes más contaminantes. Con las nuevas inversiones en eólica y solar se ha conseguido marcar una tendencia pero no eliminar estas fluctuaciones. Según sigan evolucionando las técnicas utilizadas para la producción de electricidad, este factor se verá más o menos reducido.

⁵El factor de emisión es un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión del contaminante.

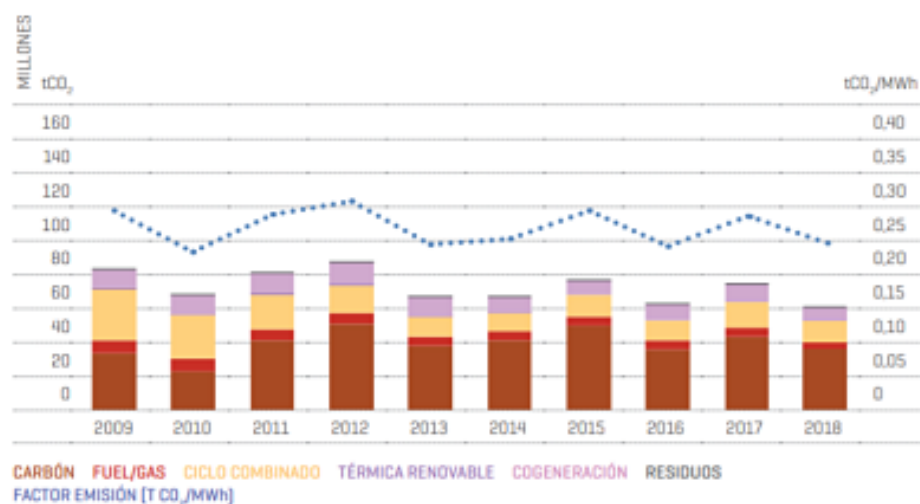


Figura 1.13: Millones de toneladas de CO₂ y factor de emisión asociado a la generación eléctrica. *Fuente: REE [11].*

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es la evaluación del impacto ambiental y energético que podría tener la paulatina introducción del vehículo pesado eléctrico en sustitución del vehículo pesado con motor térmico en España.

En cuanto al impacto ambiental, se tratará de estudiar la evolución de los diferentes tipos de emisiones asociadas al funcionamiento de los vehículos pesados con motor de combustión convencionales. Dentro de estas emisiones, se incluyen los gases de efecto invernadero (GEI), las emisiones de NO_x, y, por último, las de partículas.

Los vehículos pesados (camiones y furgonetas) son los responsables del 25 % de las emisiones de GEI dentro del sector transportes[4], como ya se explicó en la sección anterior. La mayor parte de estas emisiones GEI de los vehículos pesados se deben a los motores de combustión que utilizan combustibles fósiles, es decir, diésel o gasolina. Sin embargo, el parque de vehículos pesados de gasolina es muy reducido, por lo que la mayoría de las emisiones GEI de este grupo del transporte se deben a los vehículos diésel. Para poder estudiar correctamente la evolución de estas emisiones a medida que aumenta el número de vehículos pesados eléctricos, es necesario tener en cuenta las emisiones de GEI producidas en la generación de electricidad. Como ya se explicó en la *Sección Motivación*, cuanto más limpio sea el

mix de generación utilizado para producir la electricidad que utilizan este tipo de vehículos para su recarga, menos dañinos para el medio ambiente serán (Ver *Figura 1.13*). Por lo tanto, otro objetivo es estimar o hacer una predicción basada en los datos disponibles de la evolución del *mix* de generación español en los años futuros.

En el caso de las emisiones de NOx, la mayor parte de estas emisiones se deben a los vehículos diésel, combustible que utilizan la mayor parte de vehículos pesados actualmente. Sin embargo, no son tan perjudiciales en carretera como lo son en las ciudades, ya que sus altas concentraciones pueden afectar a la salud humana. Sin embargo, en carretera, que es donde la mayoría de los vehículos pesados realizan la mayor parte de su recorrido, estas emisiones se disipan en áreas alejadas de los núcleos urbanos y su efecto no es tan perjudicial. Las emisiones de este gas de los vehículos pesados supusieron en 2019 un 43 % del total de las emisiones de NOx realizadas por el transporte por carretera español, que a su vez supuso un 32.7 % del total de las emisiones de NOx del país [6]. Este porcentaje es significativo, por lo que al introducir el vehículo eléctrico se espera una gran evolución en la reducción de estas emisiones.

En cuanto a las partículas, su relevancia también es mayor en las ciudades, ya que se trata de contaminantes atmosféricos que afectan, sobre todo, a la salud humana, por lo que no son de tanta importancia en el caso de los vehículos pesados (camiones y furgonetas), cuyo recorrido lo realizan mayoritariamente en carretera. Además, los vehículos pesados son responsables tan sólo de un 11 % de las emisiones de estas partículas dentro del sector transporte, que a su vez, tan sólo emite el 8 % del total de las partículas emitidas anualmente en España [21].

Por otro lado, en el ámbito energético, la dependencia de España debido a la escasez de recursos fósiles hace que económicamente tenga un gran déficit comercial exterior en cuanto a recursos energéticos[22]. Según el *El Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España*, la balanza comercial española registró en 2018 un déficit total de 33.840 millones de euros de los que el déficit energético supuso el 74 % del total [8].

Este déficit, se debe en su mayoría a la importación de combustibles fósiles, los cuales son utilizados en gran medida por los vehículos. Este proyecto trata, por tanto, de evaluar el potencial impacto que la introducción del vehículo pesado eléctrico en sustitución del vehículo de combustión interna en España tendría sobre su dependencia energética, considerando que si se desarrollaran lo suficiente las fuentes de energía renovables, la electricidad utilizada en los vehículos eléctricos podría ser casi en su totalidad autóctona.

Por último, para poder estudiar la evolución de las emisiones y el consumo al introducir el vehículo eléctrico, es primero necesario hacer varios escenarios de la evolución de la distribución del parque de vehículos pesados y analizar cuál sería el óptimo dentro de las posibilidades reales. Para determinar esta distribución, hay que tener en cuenta que en este estudio se supone constante el recorrido anual realizado por el parque de vehículos pesados a lo largo de los años, ya que se toma como hipótesis que la demanda del transporte por carretera no aumenta en estos años. Los vehículos pesados eléctricos disponen de menor autonomía actualmente, debido al actual desarrollo de las baterías, por lo que los kilómetros que realizarán en los primeros años de funcionamiento serán menores que los que realizan los vehículos de combustión interna, por lo que en los primeros años será necesario un mayor número de vehículos convencionales para poder cumplir con el objetivo de kilómetros, o más de un vehículo eléctrico por vehículo convencional sustituido.

1.3. Metodología

Para la consecución de los objetivos anteriormente descritos, se utilizará una herramienta Excel desarrollada por el *Observatorio del Vehículo Eléctrico (OVEMS)* y adaptada para vehículos pesados, descrita en detalle en el *Capítulo 4*, la cual incorpora un modelo de optimización. El objetivo del modelo es minimizar el error entre un objetivo marcado y el resultado final. El objetivo es mantener constantes los giga-metros realizados anualmente por el total del parque de vehículos pesados a lo largo de los años (2019-2050). Teniendo en cuenta este objetivo, el modelo calcula cómo debe ir evolucionando la distribución del parque de vehículos pesados a medida que el vehículo eléctrico se va introduciendo y, a su vez, cómo irán evolucionando las emisiones y el consumo energético de los mismos según esta distribución.

Se utiliza como año de referencia el año 2018, por ser el último año de los que se tienen datos oficiales, y se calculan los datos de emisiones, consumo y parque hasta el año 2050, año para el cual la Unión Europea ha marcado sus objetivos de reducción de emisiones y desarrollo de las energías procedentes de fuentes renovables.

Para determinar el número de giga-metros a marcar como objetivo, se recogen datos históricos de parque, proporcionados por la DGT, y los kilómetros realizados anualmente por un vehículo pesado, datos cuya consecución se detalla en el *Capítulo 4*. Posteriormente, se multiplica el parque de 2018 por el valor medio de kilómetros anuales realizados por un vehículo pesado y se obtiene el objetivo de giga-metros a realizar en todos los años futuros hasta 2050.

Además, para calcular la evolución de la distribución del parque según el combustible utilizado, las emisiones y el consumo, se recogen datos históricos de parque según la tecnología utilizada, emisiones medias por de cada tecnología, normativa europea y datos de fabricantes sobre el consumo energético cada 100 Km. Además, se tienen en cuenta otros factores como la antigüedad del parque, factor que afectará a los kilómetros recorridos, el consumo y las emisiones.

Todos los cálculos se realizan para cada año según el año de matriculación del vehículo y el tipo de combustible o tecnología utilizada. Posteriormente, se agregan todos los valores sin hacer la distinción del año de matriculación y se obtienen resultados globales para cada año según el tipo de combustible o tecnología utilizada por el vehículo.

Para la obtención de los datos históricos necesarios, se consultaron diversas fuentes oficiales, tanto de organismos españoles como europeos, intentando siempre verificar la fiabilidad de los mismos y contrastando las diferentes fuentes con el objetivo de obtener unos resultados que se ajusten lo máximo posible a la realidad.

Sin embargo, cierta información necesaria para el cálculo del modelo no se encuentra directamente disponible en ninguna fuente oficial. Para su estimación, se analizaron datos relacionados con la información en cuestión y se realizó un análisis que permitiera estimar de la manera más precisa posible el dato del que no se disponía. Es el caso, por ejemplo, del efecto de la antigüedad del parque en las bajas del mismo. Para ello, se analizó cómo se ha ido dando de baja el parque históricamente según su año de matriculación en cuatro años diferentes y se hizo una media de todos estos valores para conseguir el factor necesario.

El objetivo último es el cálculo de la evolución de emisiones y consumo energético del parque de vehículos pesados en los años futuros, para determinar el impacto de la introducción del vehículo eléctrico. A continuación, como ejemplo, se define el procedimiento seguido para el cálculo anual de las emisiones de CO₂, según el tipo de combustible y año de matriculación del vehículo:

$$\text{KtCO}_2 = \text{parque} \times \text{recorrido medio anual} \times \text{consumo}/100 \text{ km} \times \text{gramos de emisión/kWh}$$

Como se puede observar, para este cálculo se necesita conocer el número de vehículos que compone el parque en cada año, el número medio de kilómetros re-

corridos anualmente y el consumo o emisiones medias de cada tipo de vehículo.

En cuanto al número de vehículos que compone el parque en cada año, no sólo se necesita conocer el total si no que se necesitan los datos según el año de matriculación. Es decir, se necesita saber en cada año la edad de los vehículos que componen el parque. Los vehículos más antiguos consumirán y emitirán más y realizarán menos kilómetros. Además, a medida que avanzan las tecnologías, las emisiones y el consumo se reducen, es decir, en 1990, un vehículo de 10 años de antigüedad no emitía ni consumía lo mismo que lo que emite o consume en 2020 un vehículo de esa misma edad. En esta misma línea, es importante conocer cómo se van a ir dando de alta los diferentes tipos de vehículos y, sobre todo, qué proporción de vehículos eléctricos se pretende alcanzar para 2050. Una vez determinado este objetivo, se calcula cómo debe ir introduciéndose el vehículo eléctrico de forma gradual a lo largo de los años, para lo cual se utiliza una función sigmoidea que se explicará en el *Capítulo 3*. También se debe conocer cómo van a ir dándose de baja los vehículos para no contabilizar sus emisiones y consumo en el cálculo.

Para calcular el kilometraje anual, se utiliza una media obtenida de los datos proporcionados en el *Anexo Metodológico de las Cuentas Ecológicas del Transporte* [23] en el que se recogen los recorridos de las diferentes categorías de vehículos del modo viario según pautas de conducción (interurbana, rural y urbana) en miles de km para los años 2011 y 2012 y posteriormente se extrapolan para los demás años. Además, el número de kilómetros realizados por cada tipo de vehículo pesado anualmente no sólo depende de la tecnología que utiliza si no que también depende de la antigüedad del vehículo. Los vehículos antiguos suelen realizar menos kilómetros que los nuevos. La DGT en un análisis de los datos recogidos en las ITV [24] proporciona el kilometraje anual de los vehículos pesados en grupos de cuatro años de antigüedad. La imposibilidad de obtener los datos de año en año llevó a utilizar estos datos aunque su exactitud no fuera la óptima.

Los valores de emisiones medias, al no disponer de datos reales de emisiones como en el caso de los turismos, se obtuvieron mediante el estudio de la normativa europea en materia de emisiones de vehículos pesados. Las emisiones reales de los turismos son aproximadamente 4 veces las establecidas en las normas [22], dato que también se utilizará en los vehículos pesados al no disponer de datos reales para poder hacer el mismo contraste. También se tiene que tener en cuenta el tipo de combustible o tecnología utilizada por el vehículo puesto que las emisiones no son las mismas. En el caso de los vehículos eléctricos no sólo hay que tener en cuenta las emisiones directas que realizan los vehículos durante su funcionamiento, que en principio son nulas, si no también las emisiones asociadas a la generación de

la electricidad que utilizan. Por eso, es igualmente importante la hipótesis que se haga del mix de generación español a futuro, es decir, cómo van a ir evolucionando las nuevas fuentes de energía.

El presente proyecto consta de siete capítulos que incluyen la explicación del proceso seguido para alcanzar los objetivos anteriormente descritos, describir los resultados obtenidos, un capítulo dedicado a un breve análisis económico (*Capítulo 6*), un capítulo dedicado a las conclusiones (*Capítulo 7*) y un último capítulo que expone las posibles futuras líneas de investigación (*Capítulo 8*). Cada capítulo incluye:

- **Capítulo 2.** Estudio de la normativa europea tanto en materia de emisiones de vehículos pesados como en materia de desarrollo de las energías renovables. La normativa europea acerca de las emisiones de gases de efecto invernadero permitidas para los vehículos pesados es muy escasa ya que nunca se había regulado hasta años muy recientes. Se realiza una breve descripción de la misma y de los objetivos marcados por la Unión Europea y se analizan los pasos tomados o que debería tomar España para cumplirlos. También se describen los conocidos *EURO Standards*, que regulan las emisiones de NOx o partículas.
- **Capítulo 3.** Descripción detallada del modelo utilizado para el cálculo de emisiones y consumo energético de los vehículos pesados en los próximos años (2019-2050), así como el cálculo de las variables necesarias para esto: evolución del parque y kilometraje anual. En esta misma línea se explica la obtención de las emisiones y consumos medios de cada tipo de vehículo pesado según su combustible o tecnología utilizada. En el caso del vehículo eléctrico, es necesario estudiar también las fuentes de generación de electricidad y la electricidad que realmente debe producirse para su funcionamiento, que determinarán las emisiones generadas. Para ello, se describen los objetivos marcados por la UE sobre el desarrollo e inclusión de las fuentes de energías renovables, lo cual ayudará a prever la evolución del mix de generación eléctrica, del cuál dependerá que los vehículos eléctricos sean más o menos contaminantes en términos de emisiones de CO₂.
- **Capítulo 4.** Descripción detallada de la herramienta de Excel utilizada para el cálculo de resultados. Se explica pestaña a pestaña el contenido de cada una de ellas y las fórmulas utilizadas en cada sección, todo ello acompañado de ilustraciones de la herramienta y de los resultados obtenidos.

- **Capítulo 5.** Aplicación del modelo y la herramienta al caso español. Se exponen la evolución del parque de vehículos pesados, su consumo, el recorrido que realizan y las emisiones de CO₂ y contaminantes atmosféricos asociadas a los mismos prevista hasta 2050. Se trata de un capítulo donde se exponen los resultados obtenidos al aplicar el modelo desarrollado al caso español.
- **Capítulo 6.** Breve análisis sobre la rentabilidad del vehículo pesado eléctrico frente al vehículo diésel según la distancia anual que estos recorran, el precio de la electricidad y del diésel y el precio medio de compra de estos vehículos.
- **Capítulo 7.** Recopilación de las principales conclusiones de cada capítulo así como la exposición de los resultados.
- **Capítulo 8.** Exposición de varias posibles futuras líneas de investigación. Entre ellas, una de las más interesantes es la posibilidad del traspaso del transporte de mercancías al sistema ferroviario.

Capítulo 2

Normativa Europea para Vehículos Pesados

2.1. Emisiones de CO₂ y consumo de combustible

Desde 1999 se han introducido una serie de normas de emisiones progresivamente más estrictas, las llamadas EURO. Sin embargo, estas normas Euro sólo regulan las emisiones que afectan a la calidad del aire, no el CO₂ u otros gases de efecto invernadero (GEI). En la práctica, muchas de las modificaciones del motor necesarias para limitar las emisiones reguladas también han disminuido la eficiencia del combustible de los motores y, por lo tanto, han provocado un aumento de las emisiones de CO₂. Las emisiones de CO₂ no pueden abordarse tan fácilmente a través de los límites de las emisiones de los vehículos y se ha desarrollado una legislación para abordar las emisiones de CO₂ de los automóviles y las camionetas, pero aún no para los vehículos comerciales más pesados.

Además de las normas de emisiones Euro, la UE ha introducido directivas sobre la formación de los conductores, la contratación pública y el cobro a los usuarios de las carreteras, todas las cuales influyen en las emisiones de los vehículos pesados.

Nombre del Reglamento	Año
Directive 1999/96/EC European emission regulations for new heavy-duty diesel engines	1999
Regulation (EC) No 484/2002 for the purposes of establishing a driver attestation	2002
Directive 2003/59/EC Initial Qualification and Periodic Training for Drivers of Road Vehicles for the Carriage of Goods or Passengers	2003
Directive 2005/78/EC and Directive 2005/55/EC: Twin Directives on Heavy-Duty Vehicle Emissions	2005
Regulation 595/2009 on typeapproval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI)	2009
Directive 2006/38 Eurovignette Directive: Charging of heavyduty vehicles for the use of road infrastructure	2006
Directive 2009/33 on the promotion of clean and energyefficient road transport vehicles	2010
Directive Of The European Parliament And Of The Council on labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters	2012
Directive 96/53/EC on vehicle dimensions and weights	1996

Tabla 2.1: Políticas de la Unión Europea en materia de emisiones

Por lo tanto, la normativa europea, a diferencia de lo que ocurre con los turismos y los vehículos ligeros (furgonetas), nunca había establecido límites obligatorios sobre las emisiones de CO₂ y el consumo de combustible de los vehículos pesados, ni planes de vigilancia para controlar e informar sobre ello. Sin embargo, recientemente se han adoptado nuevas medidas. En 2014, la Comisión Europea publicó una estrategia para reducir el consumo de combustible de los llamados *Heavy Goods Vehicles* (HVs) y las emisiones de CO₂ [20]. Desde entonces se han iniciado varias de las medidas previstas en la estrategia, entre ellas:

1. Desarrollo de una herramienta de simulación informática, la Herramienta de Cálculo del Consumo Energético de Vehículos (VECTO), para estimar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de los vehículos pesados. La necesidad de una herramienta de software para estimar estos parámetros se debe a la diversidad de tipos de HVs, razón por la cual no se consideró apropiado realizar pruebas de emisiones en laboratorio como las que se realizan para los coches y las furgonetas [20].
2. Nueva legislación para la determinación de las emisiones de CO₂ y el consumo de combustible de los nuevos HVs. En esta legislación se incluye el llamado Reglamento de Certificación (CE, 2017c) que se basa en la disponibilidad de VECTO, así como un reglamento recientemente acordado para monitorear y reportar dicha información (CE, 2017b) [20].
3. Trabajo analítico para poder establecer posibles normas futuras de emisión de CO₂ del vehículo pesado [20].

La Herramienta de Cálculo del Consumo Energético de Vehículos (VECTO) es una herramienta de simulación de vehículos que proporciona valores de consumo de combustible y emisiones de CO₂ de las diferentes categorías, tamaños y tecnologías de los vehículos pesados (CCI, 2016). Está previsto que los fabricantes de vehículos utilicen VECTO antes del registro, la venta o la puesta en servicio de un nuevo HV en la UE. La información resultante sobre el consumo de combustible de los HVs y las emisiones de CO₂ se pondrá a disposición a través del régimen de vigilancia y notificación propuesto. Este nuevo sistema de vigilancia y notificación está diseñado para ayudar a mejorar la transparencia del mercado y la competencia, y para promover vehículos más eficientes en el mercado de la UE, con el fin de seguir apoyando la aplicación del marco de la política climática y energética de la UE para 2030.

2.2. Emisiones de NOx y PMx. Euro Standards

Los *Euro Standards* regulan las emisiones de los llamados contaminantes del aire o atmosféricos, en los que se incluyen los óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (THC y NMHC), monóxido de carbono (CO), partículas (PM), y números de partículas (PN). Los límites de emisiones han existido desde los 1970s para vehículos ligeros (menos de 3,5 toneladas) y desde los 1980s para vehículos pesados. Las normas tanto para vehículos ligeros como pesados se designan como *Euro* y van seguidas de un número (normalmente números arábigos para los vehículos ligeros: Euro 1, 2, 3..., y números romanos para los vehículos pesados: Euro I, II, III...). El cumplimiento de las normas se determina haciendo funcionar el vehículo o el motor en un ciclo de prueba normalizado. Los vehículos que no cumplen con las normas no pueden venderse en la Unión Europea, pero las nuevas normas no se aplican a los vehículos que ya están en las carreteras [25].

En el siguiente *Cuadro 2.2* se recoge toda la normativa europea en materia de emisiones de contaminante atmosféricos, es decir los diferentes *Euro Standards* a lo largo de los años, para vehículos pesados.

Normativa	NOx (g/kWh) Diesel	NOx (g/kWh) Gasolina	PM (mg/kWh) Diesel	PM (mg/kWh) Gasolina
EURO I 1992	8.0	n/a	360/612	n/a
EURO II a 1996.10	7.0	n/a	250	n/a
EURO II b 1998.10	7.0	n/a	150	n/a
EURO III 2000.10	5.0	5.0	100/160	n/a
EURO IV 2005.10	3.5	3.5	20/30	n/a
EURO V 2008.10	2.0	2.0	20/30	30
EURO VI 2013.01	0.4/0.46	0.46	10	10

Tabla 2.2: Euro Standards para vehículos pesados. *Fuente: AirClim*

En estos *Euro Standards* se establecen los límites permitidos en g/kWh de cada uno de los contaminantes atmosféricos. En la *Tabla 2.2* se muestra cómo se han ido endureciendo a lo largo de los años los límites de emisión de los vehículos pesados en la UE. En el caso del NOx y las PM, los únicos relevantes para la investigación que vamos a llevar a cabo, están regulados para vehículos diésel desde 1992, sin embargo, para vehículos pesados de gasolina se regulan a partir del 2000 y 2008, respectivamente.

Antes de la primera directiva de la Unión Europea para regular las emisiones de los vehículos pesados en 1988 (88/77/CEE), había habido una norma común dentro de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (ECE R49) [25]. Las normas Euro I para motores medianos y pesados se introdujeron en 1992-93 (91/542/EC), como se observa en la *Tabla 2.2* [25]. La misma directiva también estableció normas para Euro II, que entraron en vigor en 1995-96 [25]. En 1999 se aprobó otra directiva (1999/96/CE) que establecía normas para Euro III (2000), IV (2005) y V (2008) [25]. En 2013 entró en vigor la norma Euro VI, definida en el reglamento 595/2009 [25]. Como se ha comentado antes, las normas para los vehículos pesados se definen por la producción de energía (g/kWh) y no pueden compararse directamente con las normas para los vehículos ligeros, en los que las normas se definen según la distancia [25]. La reducción más drástica se ha dado en los últimos años en el NOx, donde las normas han sido mucho más estrictas, reduciéndose los límites en 12 veces desde la Euro III a la Euro VI.

Capítulo 3

Modelo

En este capítulo se describe el modelo utilizado para el cálculo de emisiones y consumo energético de los vehículos pesados en los próximos años (hasta 2050), así como el cálculo de las variables necesarias para esto: evolución del parque y kilometraje anual. En esta misma línea se explica la obtención de las emisiones y consumos medios de cada tipo de vehículo pesado según su combustible o tecnología utilizada. En el caso del vehículo eléctrico, es necesario estudiar también las fuentes de generación de electricidad y la electricidad que realmente debe producirse para su funcionamiento, que determinarán las emisiones generadas. Para ello, se describen los objetivos marcados por la UE sobre el desarrollo e inclusión de las fuentes de energías renovables, lo cual ayudará a prever la evolución del mix de generación eléctrica, del cual dependerá que los vehículos eléctricos sean más o menos contaminantes en términos de emisiones de CO₂.

3.1. Modelo del Sector Eléctrico Español y el Vehículo Pesado Eléctrico

Para el estudio del vehículo pesado eléctrico, es importante conocer tanto la eficiencia de los propios vehículos como el medio de obtención de energía eléctrica que estos van a consumir. Según el mix de generación del que disponga nuestro país estos vehículos serán más o menos contaminantes en términos de emisiones de CO₂. Por ello, se procede a estudiar la situación actual del sector eléctrico español y se hace una estimación de su evolución futura basándose en los objetivos marcados por la Unión Europea. Por último, se estudian las principales características del vehículo pesado eléctrico medio para poder determinar las emisiones asociadas a él teniendo en cuenta el mix de generación previsto.

3.1.1. Situación actual

La demanda nacional aumentó en 2018 en un 0,4 % con respecto al año 2017, según los datos de Red Eléctrica de España (REE) [26], alcanzando una demanda de 268.877 GWh [11]. En 2019, sin embargo, se produjo una caída en la demanda de un 1,6 % respecto al año 2018 (264.635 GWh). En este estudio, no obstante, se tendrán en cuenta los datos de 2018 ya que es el año establecido como referencia para todos los cálculos.

La generación eléctrica nacional registró, en 2018, una caída del 0,5 % respecto al año anterior, siendo los sectores que más cayeron el carbón y el ciclo combinado, cuya producción descendió un 17,2 % y un 18,9 % respectivamente [11].

Más del 95 % de la demanda del sistema eléctrico se cubrió con producción interna, siendo las importaciones, por tanto, necesarias para cubrir menos de un 5 % de la demanda. En cuanto al balance de los intercambios internacionales, las importaciones superaron a las exportaciones en 11.102 GWh [11].

La capacidad instalada del parque generador en España fue de 98.643 MW a finales de año, un 0,2 % menos que a finales del año 2017, debido en gran medida al cierre de la Central de Ciclo Combinado de Tarragona [11] [26]. De esta potencia instalada, el 48,5 % se tratan de plantas de energía renovable y el 51,5 % restante de tecnologías no renovables [11] (Ver *Figura 3.1*) [11].

En cuanto a la producción, se dio un incremento en la generación por parte de las fuentes renovables debido, en su mayor parte, al incremento de la producción hidráulica en un 84,8 % y de la eólica en un 2,9 %, respecto al año anterior.

El pico de demanda se registró el 8 de febrero a las 20.24 horas con 40.947 MW, un 0,9 % inferior al máximo registrado en enero del año anterior, y muy por debajo del récord histórico de 45.450 MW en 2007 [11].

Por tecnologías, la producción eléctrica peninsular del 2018 se cubrió en primer lugar con la nuclear con un 21,5 %, seguida de la eólica con el 19,8 %. El carbón descendió hasta un 14,1 %, seguida de la hidráulica con un 13,8 % de participación. El resto se reparte entre cogeneración con un 11,9 %, los ciclos combinados con 10,7 %, las tecnologías solares (4,8 %) y otras (3,4 %) [11]. Todo ello observable en la *Figura 3.2*.

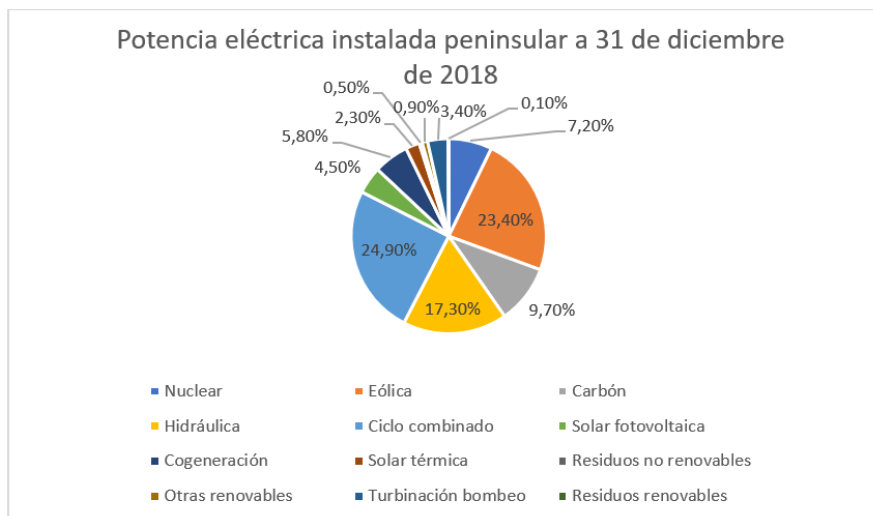


Figura 3.1: Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE [11]

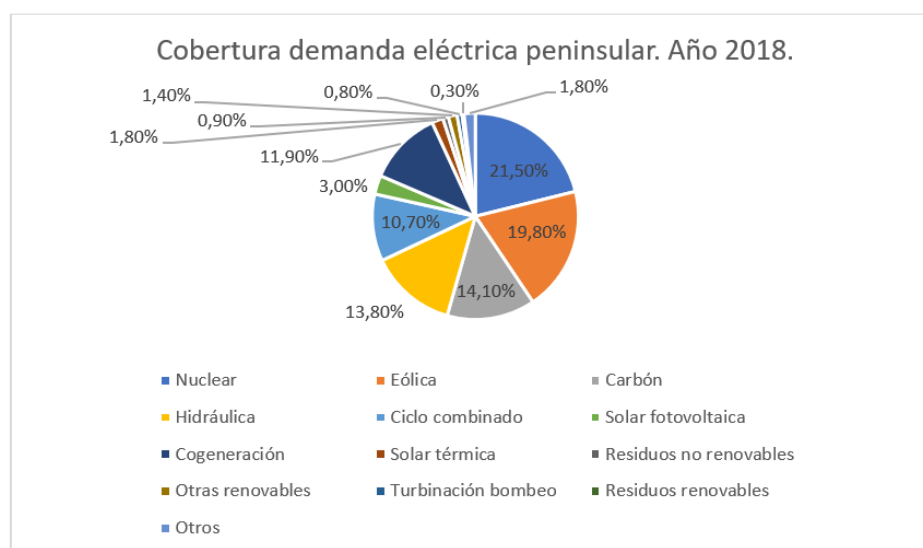


Figura 3.2: Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE [11]

Las emisiones de CO₂ asociadas a las plantas de generación eléctrica tienen un gran impacto en el efecto invernadero, por lo que se deben tener en cuenta. Sin embargo, por simplificar el modelo, no se tienen en cuenta las emisiones de otros contaminantes como el NO_x o las partículas asociadas a las mismas.

En 2018, las emisiones de CO₂ equivalentes emitidas a la atmósfera en el territorio nacional se situaron en 332,8 millones de toneladas. De este total, el 17,8 % fueron emisiones derivadas de la generación de electricidad, es decir, 64,2 millones de toneladas de CO₂ equivalentes, un 13,8 % menos que en 2017, debido al incremento de las renovables. De estas emisiones, el 55,5 % están asociadas a la producción con carbón y el 18,4 % se relacionan con los ciclos combinados [11] [27].

El factor de emisión¹ para el año 2018, fue de 0,247 kgCO₂/kWh [11]. Este valor es similar al que se dio en 2016, e inferior al valor de 2017, año en el que se produjo un repunte de las emisiones (Ver *Figura 3.3*). La evolución de este factor de emisión ha seguido en los últimos años una tendencia similar a las emisiones totales de CO₂ asociadas a la generación, ya que la demanda y generación se han mantenido constantes. En 2010 se alcanzó el mínimo de emisiones, después de un periodo continuado de descenso desde 2007 debido a la instalación de fuentes de energía renovable. A partir de entonces, se ha producido un estancamiento acompañado de pequeñas oscilaciones, a la baja o al alza, de año a año. Estas pequeñas oscilaciones se deben al tipo de año hidráulico que se de (húmedo o seco), ya que según sea la generación de estas plantas se necesitará un mayor o menor respaldo de otras fuentes más contaminantes. El desarrollo de la energía solar y eólica ha logrado establecer una tendencia pero no evita estas fluctuaciones.

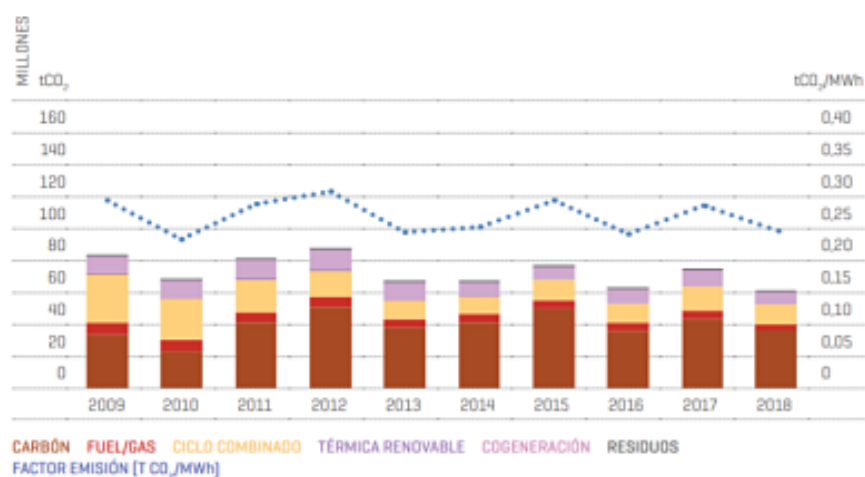


Figura 3.3: Millones de toneladas de CO₂ y factor de emisión asociado a la generación eléctrica. *Fuente: REE [11]*

¹Factor que se obtiene al dividir las toneladas de CO₂ generadas anualmente por las plantas de generación entre la energía generada.

En cuanto al precio de la electricidad, el precio medio final de la energía en el mercado eléctrico fue de 64,4 €/MWh, superando el máximo histórico del 2008 [11]. El precio más alto pagado por el pequeño consumidor se registró en septiembre, con 0,138 €/kWh, y el más bajo en marzo, con 0,107 €/kWh [11].

3.1.2. Previsiones a futuro

Siguiendo la línea de investigación seguida por José González en su trabajo de fin de grado [22], se ha decidido utilizar el informe llevado a cabo por *Monitor Deloitte* [2], *Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación*, para realizar las previsiones a futuro sobre el mix de generación eléctrico español. Las fechas clave de dicho informe son 2030 y 2050, siendo este último el año en el que nos centramos en esta investigación. Estos años coinciden con los años para los cuales la Comisión Europea ha marcado objetivos en materia de emisiones, penetración de las renovables y eficiencia energética.

Si España quisiera cumplir con los objetivos de descarbonización marcados, en el año 2050 debería emitir menos de 88 MteqCO₂, es decir, debería reducir anualmente las emisiones GEI en un 4 % desde 2015 (336 MteqCO₂) a 2050 [2].

Para la consecución de dicho objetivo, y teniendo en cuenta el nivel de electrificación y la eficiencia energética, *Monitor Deloitte* plantea cuatro posibles escenarios:

1. Continuista: escenario que asemeja el futuro a la situación actual. Supone que en 2030, las fuentes de energía más utilizada seguirán siendo los productos petrolíferos, el uso de la electricidad se mantiene y el consumo de gas aumenta ligeramente.
2. Electrificar la economía: en este escenario se produce tanto una gran penetración del vehículo eléctrico, en especial de los turismos eléctricos (50 % de las ventas de turismos en 2030) y como una transición del transporte de mercancías hacia el ferrocarril eléctrico (20 % de las t-km totales transportadas en 2030).
3. Reducción convencional: escenario de gran desarrollo de la eficiencia energética. En el sector transporte este desarrollo se lleva a cabo mediante la reducción de las emisiones y el consumo de los nuevos vehículos de combustión interna, sin la penetración del vehículo eléctrico. En los vehículos pesados aumenta el uso del gas natural.

4. Alta eficiencia eléctrica: se produce una gran penetración del vehículo eléctrico a 2030 (60 % de ventas), la electrificación de la demanda en todos los sectores de la economía y una gran ganancia de eficiencia en los vehículos convencionales.

Este estudio se basa en la introducción del vehículo eléctrico en el parque de los vehículos pesados español, algo que no consideran los escenarios *Continuista* y *Reducción Convencional*. Además, todos los escenarios, menos el *Continuista*, permiten conseguir los objetivos de la CE para 2030, sin embargo tan sólo el de *Alta Eficiencia Energética* permite conseguir los objetivos para 2050. Por ello, en el presente estudio sólo se tendrá en cuenta este escenario.

Para determinar la posible evolución del mix de generación eléctrica española, hay que tener en cuenta el objetivo de conseguir un mix casi totalmente libre de emisiones para 2050. Dicho esto, Monitor Deloitte considera que para que la transición del mix de generación sea eficiente, se debe aprovechar el parque actual de energías maduras hasta que se desarrollen nuevas tecnologías libres de emisiones, ya que existen muchas incertidumbres que condicionan la evolución del mix. Entre estas incertidumbres se encuentran: el ritmo real de crecimiento de la demanda, la disponibilidad de las tecnologías de almacenamiento a gran escala (baterías), el desarrollo de las energías renovables y cómo deberá operar un sistema eléctrico con una demanda mayor a la actual y con una generación más intermitente [2].

En cuanto a las baterías eléctricas, no se prevé que estén lo suficientemente desarrolladas como para prestar servicios de respaldo al sistema eléctrico de manera masiva para 2030, aunque quizás si suponga una buena opción para 2050 [2].

Con referencia a las fuentes de energía renovables, se prevé un crecimiento de la generación eólica y fotovoltaica, ya que son las fuentes más maduras económicamente y con una mayor disponibilidad de recurso/emplazamiento [2]. Monitor Deloitte estima que según los escenarios de demanda para 2030 y para cumplir con el objetivo de la CE (peso de renovables en la demanda final de un 27 %), se requerirán entre 35-40 GW de nueva potencia renovable, es decir para 2030 debería haber instalado en el sistema entre 84 y 89 GW de capacidad renovable. Esta nueva potencia renovable se reparte en su mayor parte entre potencia eólica (60-80 %) y potencia fotovoltaica (40-20 %). Por tanto, de los 35 GW adicionales, 18 GW se obtendrían de la generación eólica, 12 GW de la fotovoltaica y 5 GW de otras tecnologías renovables [2].

Se estima que en un escenario de gran penetración de las renovables, aún serán necesarios al menos 10-15 GW de generación síncrona con tecnología convencional

para el control de tensión y frecuencia del sistema eléctrico, garantizando la disponibilidad de potencia firme en períodos de escasez de recurso renovable [2].

Para este respaldo deberían mantenerse todas las tecnologías de generación convencional instaladas, o la mayor parte, para así evitar la necesidad de una gran inversión. Monitor Deloitte apuesta por las centrales de gas de ciclo combinado (CCGT) para proporcionar este respaldo con las menores emisiones posibles y mantener el índice de cobertura en 1,1 suponiendo un aumento de la demanda de un 2 % anual hasta 2030 y algo similar hasta 2050 [2].

Se prevé el cierre de todo el carbón nacional, lo cual supondría la necesidad de 2 GW adicionales que podrían venir dados por parte de nuevas centrales térmicas. Además, el cierre previsto de las centrales de carbón importado haría necesario un respaldo adicional de 8 GW [2]. Monitor Deloitte apuesta por mantener las centrales nucleares ya que su desaparición podría suponer unas emisiones extra de unas 370 MteqCO₂ hasta 2050, una subida del coste de la electricidad de 5-10 €/MWh para 2030 y unas necesidades de respaldo de 8 GW, que supondrían una inversión de unos 3.000 millones de euros [2].

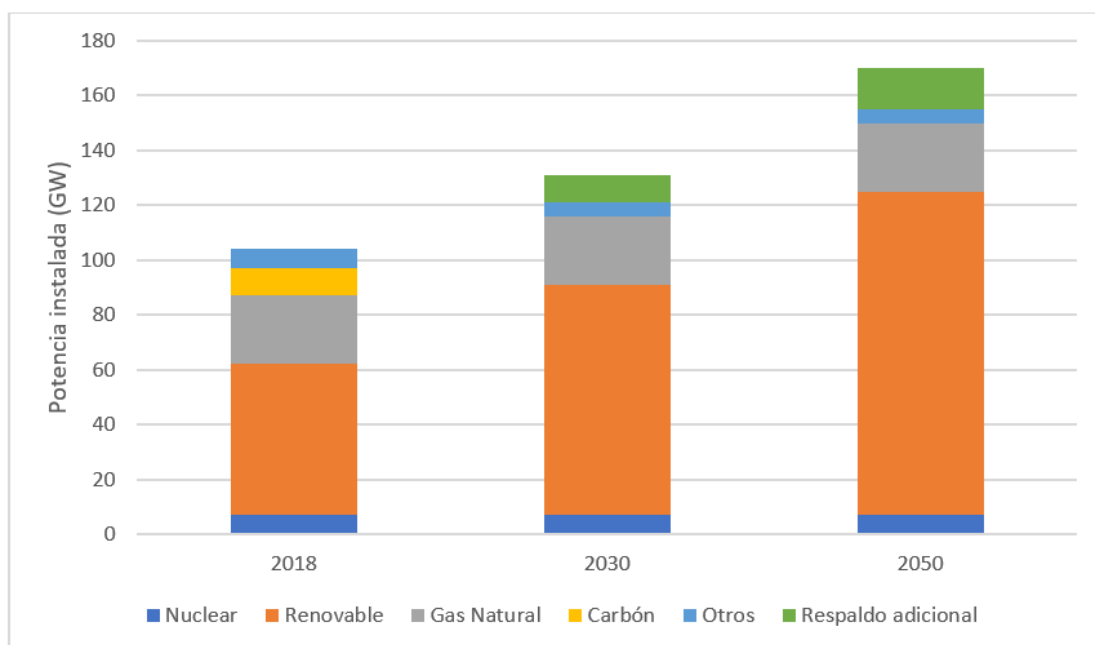


Figura 3.4: Evolución del parque de generación. *Fuente: Elaboración propia a partir de datos Monitor Deloitte*

El presente estudio requiere de la determinación de las emisiones de GEI del mix de generación eléctrico a futuro, para poder incluir su efecto en la evolución de las emisiones del parque de vehículos pesados al ir introduciendo los vehículos eléctricos. Estos vehículos no tienen asociadas emisiones directas en su funcionamiento, pero hay que tener en cuenta las emisiones generadas para la consecución de la electricidad que utilizan para recargar sus baterías.

Debido a que suponemos el cierre de las centrales térmicas de carbón para 2030, la única fuente de emisiones del mix de generación futuro serían las centrales CCGT. Monitor Deloitte no expone el cálculo de las emisiones asociadas a estas plantas, por lo que se hace uso del método de cálculo propuesto por J. González [22] para calcular las emisiones asociadas al mix de generación eléctrica tanto en 2030 como en 2050.

Se supone que la tecnología de las plantas CCGT no se sufre ningún desarrollo hasta 2050, lo cual es algo pesimista pero nos permite calcular la cantidad máxima de emisiones que se tendrían de no evolucionar las técnicas utilizadas. Además, se utiliza la previsión de horas de funcionamiento de estas plantas estimada por Monitor Deloitte. La estimación de Monitor Deloitte tan sólo llega al 2040, por lo que para el cálculo de las emisiones en 2050, se extrapola el valor de las mismas, teniendo en cuenta la tendencia prevista en los próximos años.

La fórmula utilizada para el cálculo es:

$$e_n = h_n \times \frac{e_{2018}}{h_{2018}} \quad (3.1)$$

Dónde:

- e: emisiones de CO2 generadas por plantas CCGT
- h: horas de funcionamiento de las plantas CCGT
- n: año para el cual se quieren calcular las emisiones

Según el estudio de Monitor Deloitte, la previsión de horas de funcionamiento de estas plantas será 2.150 horas en 2030, 1.350 horas en 2035 y 650 horas en 2040. Para 2050, estimamos que las horas de funcionamiento no disminuirán en tan gran medida como de 2030 a 2040 ya que suponemos que el aumento de la demanda requerirá un respaldo adicional, a pesar del desarrollo de las fuentes renovables. Por ello, el valor utilizado para el cálculo es de 600 horas, valor conservador que evita unos cálculos demasiado optimistas.

Las emisiones de CO₂ asociadas al funcionamiento de las plantas CCGT en 2018 supusieron, según los datos proporcionados por REE, el 18,4% del total de las emisiones asociadas a la generación eléctrica (64,2 MteqCO₂), es decir, las emisiones totales de estas plantas fueron de 11,81 MteqCO₂. La producción de electricidad de las mismas fue de 28.770 GWh y la capacidad instalada de 24,56 GW. Teniendo estos dos datos en cuenta, obtenemos que las horas de funcionamiento de estas plantas en 2018 fueron 1.171 horas.

Utilizando todos estos datos, calculamos mediante la **ecuación 3.1** las emisiones asociadas a las plantas CCGT para los años 2030, 2040 y 2050. Obtenemos unos valores de 21,68 MteqCO₂ en 2030, 6,55 MteqCO₂ en 2040 y 6,05 MteqCO₂ en 2050.

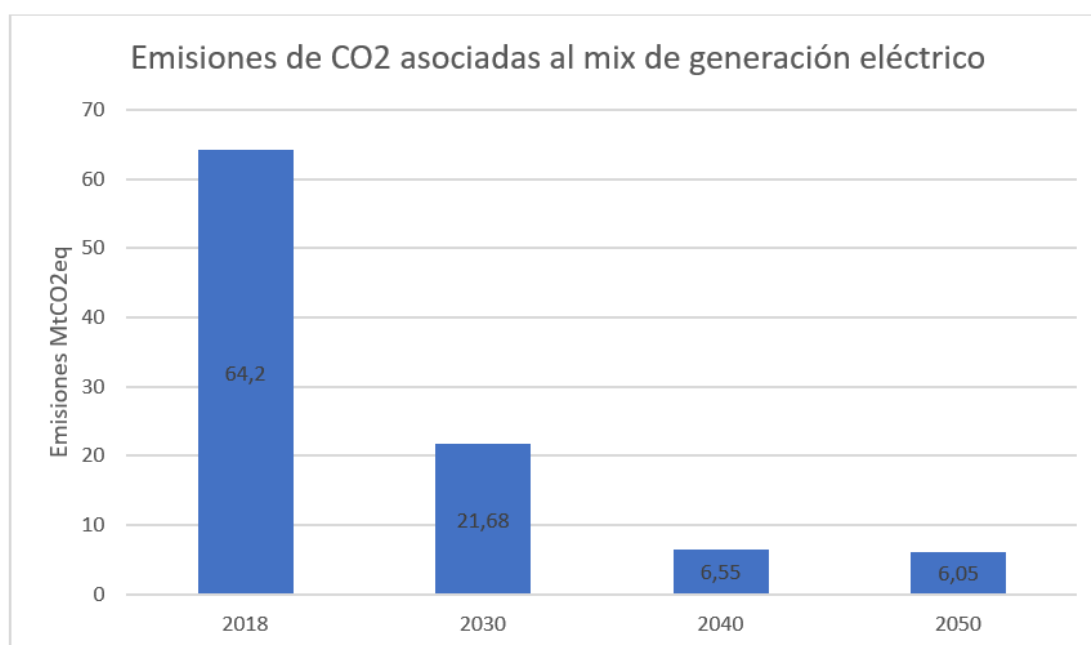


Figura 3.5: Evolución de las emisiones de CO₂ asociadas al mix de generación eléctrico. *Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE y Monitor Deloitte.*

Para el cálculo del factor de emisión del mix de generación eléctrica necesitamos además de las emisiones totales generadas, la estimación de la demanda en los años 2030 y 2050. Según el estudio de Monitor Deloitte, la previsión de la demanda para 2030 es de 329 TWh. El estudio no ofrece la previsión para 2050 pero, considerando que estima un crecimiento de la demanda de un 1,9% anual

y que la demanda en 2018 fue de 253,5 TWh (crecimiento de 75,5 TWh en 12 años, desde 2018 a 2030), tomamos como valor para esta previsión de demanda a 2050 unos 455 TWh. Los factores de emisión obtenidos son 0,066 kgCO₂/kWh para 2030 y 0,013 kgCO₂/kWh para 2050. En 2018, este factor de emisión fue de 0,247 kgCO₂/kWh, según los datos de REE.

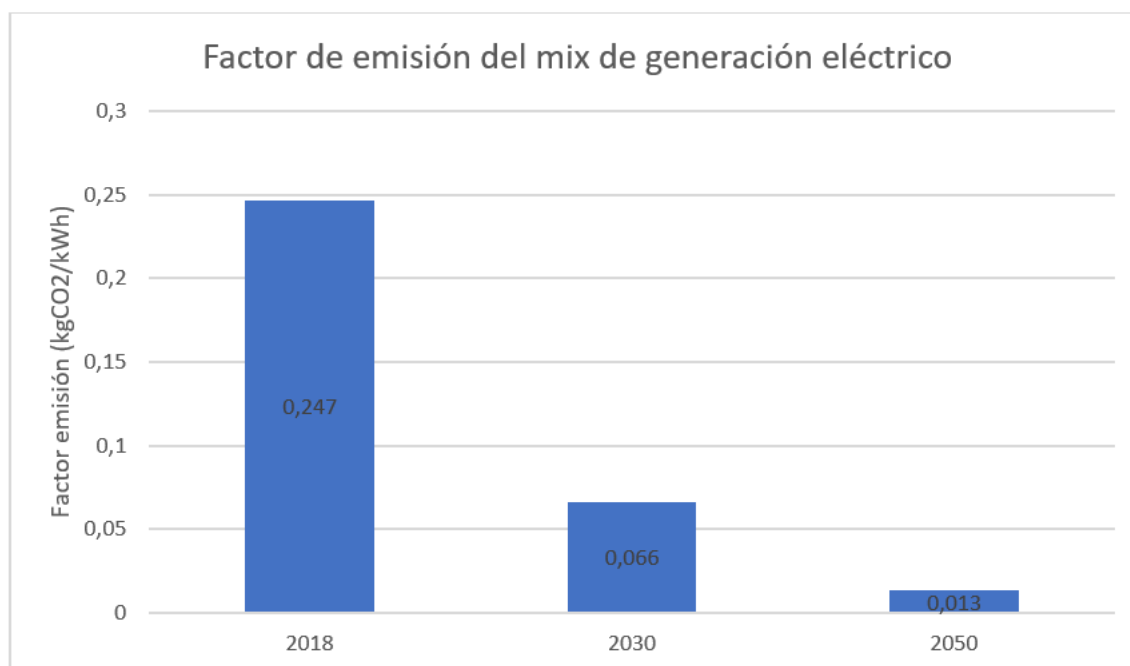


Figura 3.6: Evolución del factor de emisión del mix de generación eléctrico. *Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE y Monitor Deloitte.*

3.1.3. Los vehículos pesados y la electricidad

El sector del vehículo pesado eléctrico es un sector en expansión, cuya penetración en el mercado aún no ha conseguido cifras muy significativas. En 2019, se vendieron 700 camiones eléctricos en toda Europa, lo que supuso un 0,2% de las ventas totales de camiones [28]. El desarrollo de las tecnologías necesarias no ha alcanzado todavía los niveles para conseguir una autonomía y rendimiento que haga que el vehículo eléctrico sea competitivo con los vehículos de combustión en el sector del vehículo pesado. Por tanto, en esta sección se definirán las características principales de los vehículos pesados eléctricos más prometedores del mercado, según las expectativas de sus fabricantes, pero con la incertidumbre de

que se cumplan estas expectativas puesto que no se pueden contrastar con datos reales debido al mínimo número de ventas hasta la fecha.

El mayor problema que se presenta en el desarrollo de este tipo de vehículos es que para conseguir un camión con la suficiente autonomía, se necesita aumentar la capacidad de las baterías, lo cual incrementa el precio del vehículo y su peso, lo que reduce su capacidad de carga. El reto está en conseguir unas baterías con la suficiente capacidad, mínimo peso y mínimo coste de fabricación.

Según la revista *20 minutos* [29], los camiones eléctricos que más prometen según sus prestaciones, de los cuales algunos ya están en el mercado y otros aún están por llegar son: Mercedes-Benz eActros, Nikola TRE, Tesla Semi y Volvo FL Electric. Todos los artículos encontrados sobre este tema citan a estos modelos entre las opciones más prometedoras del mercado [30] [31], por lo que se usarán los consumos y rendimientos de estos camiones para el cálculo del modelo.

Las principales características de estos modelos son:

- Mercedes-Benz eActros: nombrado mejor camión de año por *Truck of Year del 2020*. Dispone de una autonomía de 200 kilómetros y una potencia de 240 kW, con dos baterías de ion-litio que suman 240 kWh. Su consumo será de 1,2 kWh/km [32].
- Nikola TRE: estará disponible en 2021. Se prevé que tenga 400 kilómetros de autonomía gracias a una batería de 720 kWh y una potencia de 480 kW. Su consumo será de 1,8 kWh/km [29].
- Tesla Semi: Tesla promete 800 kilómetros de autonomía, una opción de recarga rápida en 30 minutos y una potencia de 800 kW. Respecto al consumo, se habla de 1,25 kWh/km, lo que nos daría una capacidad de batería de unos 1.000 kWh [33].
- Volvo FL Electric: tendrá entre 100 y 300 kilómetros de autonomía con un paquete de baterías entre 100 y 300 kWh. Contará con una potencia de motor de 185 kW. Su consumo será de 1 kWh/km [34].

Teniendo todo lo anterior en cuenta, el consumo medio de los modelos de camiones eléctricos más reconocidos del mercado es de 1,3 kWh/km, según los propios fabricantes. Este valor se refiere a condiciones ideales, que es el único valor que proporcionan los fabricantes. Debido a la falta de datos de consumo reales, es decir, en condiciones no tan ideales, se establece arbitrariamente un factor de 1,2 por el cual se multiplica este consumo medio. Obtenemos un consumo medio

de 1,5 kWh/km que es el valor que se utiliza en el modelo como consumo base del camión eléctrico en el año 2018, año que se toma de referencia para todos los cálculos. Este consumo es el consumo medio en carretera, que, como se explicará más adelante no es el mismo que en ciudad.

Consumo medio ideal	Factor corrector	Consumo medio real
1,3 kWh/km	1,2	1,5 kWh/km

Tabla 3.1: Consumo medio corregido para 2018. *Fuente: Propia.*

Además del consumo de los vehículos pesados eléctricos, para el correcto cálculo de la electricidad total que precisan estos camiones para su funcionamiento, que a su vez se necesita para el cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas a la misma, se deben considerar también las pérdidas energéticas producidas en los cargadores de las baterías y las producidas en el transporte y la distribución de la electricidad.

Un estudio de la *Universidad de L'Aquila (Italia)* [16], determina el rendimiento de la batería de un Nissan Leaf según la potencia de carga y, a su vez, el rendimiento del cargador utilizado. Los resultados ilustran un rendimiento de la batería de entre 97 % y 92 %, rendimiento que disminuye a medida que aumenta la potencia de carga (Ver *Tabla 3.2*). Para el cargador, estos rendimientos rondan entre el 86 % y el 92 %, aumentando a medida que aumenta la potencia de carga (ver *Tabla 3.8*). Por tanto, según este estudio, el rendimiento del proceso de carga de este turismo eléctrico está entre el 83 % y el 88 %. El estudio está realizado para un turismo que utiliza una batería de ion-Litio, el tipo de batería más usado en los vehículos eléctricos debido a su alta eficiencia. Se considera que los vehículos pesados eléctricos utilizarán este mismo tipo de batería pero dispondrán de más módulos para alcanzar mayor autonomía considerando su mayor consumo.

P (kW)	3	16	22	43	50
Rendimiento (%)	97.2	97.1	97.0	91.8	94.2

Tabla 3.2: Eficiencia de las baterías vs. Potencia de carga. *Fuente: Universidad de L'Aquila [16].*

P (kW)	3	16	22	43	50
Rendimiento (%)	86	91.6	91.2	92.6	92.6

Tabla 3.3: Eficiencia de los cargadores vs. Potencia de carga. *Fuente: Universidad de L'Aquila [16].*

Estos datos se contrastan con aquellos proporcionados por otro estudio llevado a cabo por *La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente (T&E)* [12] donde se analizan las características técnicas y económicas de los camiones eléctricos de batería en la Unión Europea. Este estudio tiene en cuenta que para cargar un vehículo eléctrico es necesario convertir la electricidad de la red de alterna a continua para cargar la batería y después volverla a convertir a alterna para que pueda ser utilizada por el motor del vehículo eléctrico. También tiene en cuenta la eficiencia del motor y la transmisión. Sin embargo, estos rendimientos ya son considerados en el dato del consumo del camión (1,5 kWh/km). Por tanto, para los cálculos sólo se tienen en cuenta los dos primeros rendimientos descritos. Los resultados de estos rendimientos se presentan en la *Tabla 3.4*. El rendimiento final es de un 85,74 %, valor que está dentro del rango obtenido en el estudio de la *Universidad de LÁquila*. Se usará, por tanto, este valor en el modelo. Se supondrá que estos rendimientos no mejorarán de aquí a 2050, para poder obtener las emisiones en el escenario más desfavorable, considerando que la tecnología de las baterías y cargadores no mejora.

Proceso	Rendimiento
Conversión AC/DC	95 %
Carga y uso de batería	95 %
Descarga de la batería	95 %
Total	85,74 %

Tabla 3.4: Eficiencia de las baterías y el proceso de carga de los vehículos pesados eléctricos. *Fuente: Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12]*.

Según los datos proporcionados por Iberdrola, las pérdidas asociadas al transporte y la distribución de la electricidad alcanzaron un valor de 6,65 % del total de la energía circulada por las redes [13]. Es decir, el rendimiento del transporte y la distribución de las redes fue de un 93,35 %. Este rendimiento medio se realiza teniendo en cuenta los consumidores de Media Tensión (MT), por lo que no tiene en cuenta las pérdidas en las acometidas. Se supone que la carga de los vehículos pesados eléctricos se realizará en Baja Tensión (BT), por lo que este rendimiento será algo menor. Se toma como valor razonable un rendimiento del 87 %. También se supondrá que este rendimiento no mejora con los años, ya que se trata de un valor alto y para el estudio de su evolución entran en juego muchas más variables de las aquí estudiadas.

3.1. Modelo del Sector Eléctrico Español y el Vehículo Pesado Eléctrico

Para conseguir el rendimiento conjunto de la carga de baterías y el transporte y distribución de la electricidad usada en esta carga, se multiplican ambos rendimientos. El rendimiento final obtenido es de 74,59 %. De este modo, aunque el un vehículo pesado eléctrico medio consume 1,5 kWh/km en barras de la batería, en barras de la central se deben producir 2,01 kWh/km para abastecer este consumo.

C. barras de batería	R. carga/descarga	C.F.	R. transporte	C. B.C. carretera
1,5 kWh/km	85,74 %	1,75 kWh/km	87 %	2,01 kWh/km

Tabla 3.5: Cálculo del consumo en barras de la central teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. *Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12] e Iberdrola [13].*

Para calcular las emisiones asociadas a un vehículo pesado eléctrico en cierto año, debemos saber cómo de contaminante era el mix de generación ese año, es decir, su factor de emisión. Teniendo en cuenta que el factor de emisión en el año 2018 fue de 0,247 kgCO₂/kWh, se obtiene que un vehículo pesado eléctrico tuvo, en el año 2018, asociadas unas emisiones de 49,65 kgCO₂/100km en carretera, valor que se obtiene de multiplicar el factor de emisión del mix de generación por los kilovatios que se necesitan producir en la central para abastecer el consumo de 100 km de un vehículo pesado eléctrico.

Consumo real en B.C.	Factor emisión 2018	Emisiones
2,01 kWh/km	0,247 kgCO ₂ /kWh	49,65 kgCO ₂ /100km

Tabla 3.6: Cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas al funcionamiento del vehículo eléctrico en 2018. *Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12], Iberdrola [13] y Monitor Deloitte [2].*

En el modelo, se necesita hacer el cálculo de las emisiones asociadas al parque de vehículos pesados eléctricos para todos los años desde 2018 a 2050. En la sección anterior se calculó el factor de emisión de los años 2030 y 2050 (0,066 kgCO₂/kWh y 0,013 kgCO₂/kWh, respectivamente), por lo que se procede a calcular las emisiones asociadas a un vehículo eléctrico pesado en los años 2030 y 2050, siguiendo el procedimiento anterior. Considerando que se prevé una mejora de las baterías para los años futuros, se establece un factor de evolución del consumo de los vehículos pesados eléctricos de 0,995, es decir, se estima una reducción en el consumo de los nuevos vehículos pesados eléctricos de un 0,5 % anual. Este factor se ha establecido de forma arbitraria, ya que al estar estas baterías todavía en desarrollo, no existen estudios que determinen cómo va a mejorar su eficiencia en los próximos años. Para 2030, por tanto, el consumo base sería de 1,41 kWh/km (1,89 kWh/km en barras de la central), en vez de los 1,5 kWh/km estimados para 2018. En 2050 este valor

sería de 1,28 kWh/km (1,72 kWh/km en barras de la central). Teniendo todo esto en cuenta, se obtienen unas emisiones asociadas a un vehículo pesado eléctrico de 12,47 kgCO₂/100km y 2,24 kgCO₂/100km, para 2030 y 2050, respectivamente.

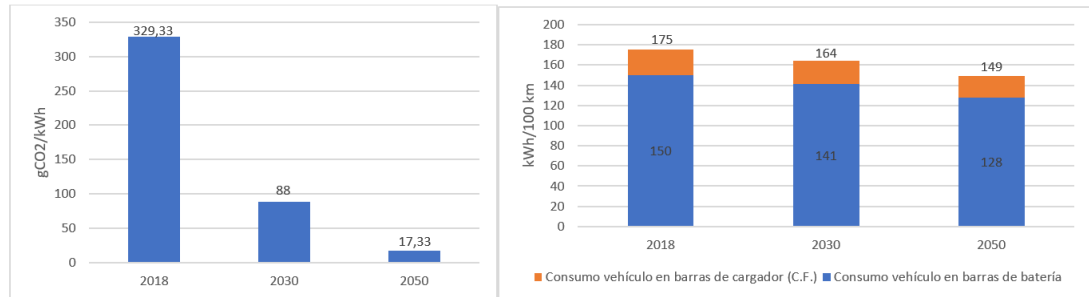


Figura 3.7: Emisiones de CO₂ asociadas a vehículos pesados eléctricos vs. consumo de los mismos en años 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12], Iberdrola [13] y Monitor Deloitte [2].*

En el modelo, además, para el cálculo de las emisiones totales de CO₂ asociadas al total del parque de vehículos pesados eléctricos en cada año, se tiene en cuenta la edad del parque. No consume lo mismo un camión recién comprado que ese mismo camión 20 años más tarde, debido al peor funcionamiento del vehículo cuanto más antiguo sea. Por ello, se añade un factor de corrección para el cálculo del consumo total.

Se sabe que la capacidad de las baterías de ion-litio se degrada con la edad, pero esto no afecta a lo que consume el vehículo si no al número de cargas necesarias para recorrer ciertos kilómetros. Al ser los vehículos eléctricos tan nuevos, no se tienen datos suficientes como para evaluar cuánto va a afectar la edad del parque al consumo de estos vehículos. Por ello, se decide tomar el mismo factor de corrección que se usa para los vehículos convencionales, para los cuales si hay datos. Las tecnologías utilizadas por estos dos tipos de vehículos son muy distintas pero se considera que su evolución con la edad puede seguir una dinámica parecida.

A medida que el camión va envejeciendo, su consumo aumenta ligeramente debido al desgaste de su tecnología. Se estimó con la ayuda de los datos proporcionados por la Universidad de Michigan, que los vehículos pesados con 35 años de antigüedad consumen un 10 % más que los vehículos comprados en el año actual [35]. Con esta información, y aplicando un factor de la unidad para el primer año, se calcularon los factores para los vehículos más antiguos mediante la multiplicación del factor del año anterior por una constante de manera que para los vehículos con 35 años de antigüedad, el factor que se consigue es 1,10. Es decir, un camión de 35 años de antigüedad consume un 10 % más que cuando se compró.

Además de esto, hay que tener en cuenta que un vehículo eléctrico no consume lo mismo en la ciudad que en carretera. A diferencia de los vehículos de motor térmico, los vehículos eléctricos consumen menos en un ámbito urbano que en carretera. Es más, circulando entre calles y semáforos, resultan especialmente eficientes. Al desacelerar y frenar los eléctricos recuperan pequeñas cantidades de energía, transformando el movimiento en electricidad para alimentar la batería. Sin embargo, un vehículo eléctrico es muy sensible a la velocidad y a una velocidad sostenida de 120 km/h se produce una descarga acelerada de la batería. El desnivel de las carreteras también afecta al consumo de estos vehículos, por lo que los ingenieros consideran que los escenarios en los que estos camiones eléctricos son más eficientes son la ciudad y las carreteras llanas con un límite de velocidad que ronde los 70 km/h [36].

Para tener en cuenta esta diferencia entre el consumo de los vehículos pesados eléctricos en ciudad y en carretera, el consumo medio en bornes de la batería determinado para los vehículos pesados en carretera (150 kWh/100km) se multiplica por un factor de corrección. Para el cálculo de este factor se tiene en cuenta que el consumo de un coche eléctrico está directamente relacionado con la cantidad de potencia que se le pida al vehículo y ésta a su vez está relacionada con la resistencia del aire que el vehículo tenga que vencer en su movimiento, la cual aumenta con el cuadrado de la velocidad. Las velocidades límite en ciudad están entre 30 y 50 km/h, mientras que en carretera ronda los 100-120 km/h. Es decir, la velocidad que llevará un camión eléctrico en carretera es más del doble que la que llevará en ciudad, lo cual afectará a su consumo.

Según un estudio de la *University of Western Australia* [17], dos modelos diferentes de turismos eléctricos (Nissan Leaf and i-MiEV) consumen alrededor de 1,75 veces más al circular a una velocidad de 110 km/h por carretera que haciéndolo a 60 km/h (Ver *tabla 3.7*). Debido a la falta de datos similares para vehículos pesados utilizamos esta relación para estimar la diferencia de consumo en ciudad

y en carretera del vehículo pesado eléctrico. Puesto que se supone que la velocidad media en ciudad es de 40 km/h y la de carretera 100 km/h, y que además hay que tener en cuenta la pequeña cantidad de energía que el vehículo almacena en las frenadas, se estima que los vehículos de este tipo consumen un 50 % de lo que consumen en carretera. Por ello, se establece un factor de 0,5 por el cual se multiplica la media de consumo estimada para carretera, obteniendo un valor base para 2018 de 75 kWh/100km.

Velocidad del vehículo (km/h)	i-MiEV (Wh/km)	Nissan Leaf (Wh/km)
60	98	128
70	110	133
80	112	152
90	134	163
100	151	181
110	181	220

Tabla 3.7: Medidas de energía consumida a diferentes velocidades por el Nissan Leaf y el i-MiEV. *Fuente: The University of Western Australia, School of Electrical Electronic and Computer Engineering*

C. estimado B.C. carretera	Corrección ciudad	C. estimado ciudad
2,01 kWh/km	0,5	1,005 kWh/km

Tabla 3.8: Cálculo del consumo en barras de la central en ciudad teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. *Fuente: Propia a partir de datos de la Universidad de L'Aquila [16] y University of Western Australia [17].*

3.2. Hipótesis principal del modelo: recorrido anual constante

La hipótesis principal de este estudio, sobre la cual se basan todos los demás cálculos, es la suposición de que el recorrido anual realizado por la totalidad del parque de vehículos pesados permanece invariable a lo largo de los años (2019-2050). Después del análisis de los datos históricos de la Dirección General de Tráfico (DGT) y de un informe realizado por *Ecologistas en Acción* [23], donde se especifican el número de kilómetros anuales realizados por los vehículos pesados en rutas tanto urbanas como interurbanas y rurales para los años 2011 y 2012, se llega a un valor de recorrido anual del parque de vehículos pesados para el año 2018 de 60.000 Gm/año. Este valor se obtiene después de dividir la totalidad de los kilómetros

por el parque de 2012 y multiplicar por el número de vehículos pesados existentes en 2018, ya que se define este año como la referencia [23].

Esta hipótesis afectará a la evolución del número de vehículos pesados matriculados, ya que si el recorrido realizado por la totalidad del parque se mantiene constante y cada vehículo individual realiza aproximadamente los mismos kilómetros cada año (la diferencia es mínima en números relativos), el número de vehículos en el parque deberá permanecer más o menos constante. Este detalle afectará también al consumo total realizado por este parque, ya que independientemente de la tecnología que utilice el vehículo y el consumo asociado a esta tecnología, cuantos más kilómetros se recorran, mayor será el consumo. Lo mismo ocurre con las emisiones.

Este número de kilómetros debe ser distribuido entre los kilómetros que se realizan en carretera y los que se realizan en ciudad. Los camiones están dedicados en su mayor parte al transporte de mercancías entre ciudades, por lo que el porcentaje de kilómetros en carretera es mayor. Los kilómetros realizados en ciudad se corresponden principalmente a furgonetas de reparto y el paso de los camiones por ciudades en sus recorridos [23].

Tras consultar fuentes oficiales se estima que los vehículos pesados realizan aproximadamente un 15 % de sus kilómetros anuales en ciudad y un 85 % en carretera (recorridos rurales e interurbanos)[23]. Por ello, el número base de 26.500 se verá reducido a 3.975 km en ciudad y a 22.525 km en carretera.

Además, se establecen unos factores para tener en cuenta que según el tipo de combustible o tecnología utilizada, los vehículos pesados recorren más o menos kilómetros. Los vehículos pesados que utilizan los combustibles convencionales realizarán, al menos durante los primeros años donde las tecnologías no estarán tan desarrolladas, más kilómetros que los eléctricos o híbridos. Por ello se define un factor de 1 para los vehículos pesados de gasolina, gasóleo, GLP y GNC y factores menores (0,8, 0,9 y 0,10) para los eléctricos puros, híbridos y otros en estos primeros años. Para años posteriores, se van incrementando estos valores hasta la unidad. De esta manera, se establece que los vehículos eléctricos puros, por ejemplo, realizan un 20 % menos de kilómetros en ciudad que los vehículos pesados más convencionales para estos primeros años.

Por último, se tiene en cuenta que a medida que el parque va envejeciendo, los kilómetros que recorre anualmente son menores. Por ello, se considera un factor que introduce el efecto de la antigüedad en el recorrido anual del parque. Este factor se calcula mediante los datos recogidos en un documento de la DGT que agrupa el parque en intervalos de 4 años de antigüedad y recoge los kilómetros recorridos por cada uno de ellos en 2017 [24]. En el documento se diferencia entre camiones de más de 3500 kg, camiones de menos de 3500 kg y furgonetas. Por ello, el cálculo del factor también requiere tener en cuenta el número vehículos de cada tipo. Se trata, por consiguiente, de una media ponderada. Una vez obtenidos los kilómetros anuales que realizan los diferentes intervalos, se obtiene el factor de corrección.

Los camiones de más de 3500 kg son los que más kilómetros recorren (120.000 km en cada uno de sus primeros cuatro años). Sin embargo, el parque de camiones de más de 3500 kg es bastante reducido con respecto al parque de camiones de menos de 3500 kg y furgonetas. Los kilómetros recorridos por estos dos grupos en sus primeros cuatro años de vida rondan los 28.000 km. Por ello, al hacer la media ponderada de los kilómetros, teniendo en cuenta la distribución del parque, obtenemos una media de 26.500 km al año por los vehículos pesados nuevos (0-4 años). Este recorrido anual va disminuyendo, llegando a ser del 31 por ciento para los vehículos pesados de 20 años de antigüedad.

Los datos están disponibles para vehículos de hasta 20 años de antigüedad. Para vehículos de más de 20 años de antigüedad y menos de 25, se eleva al cuadrado el factor de corrección del año anterior y se divide entre el factor de corrección del anterior a este último. Así, conseguimos unos factores de corrección estimados que van decreciendo con suavidad a lo largo de los años. Finalmente, se desprecian los vehículos de más de 25 años de antigüedad ya que su parque es despreciable y hace que obtengamos unos resultados poco coherentes.

3.2. Hipótesis principal del modelo: recorrido anual constante

Tipo de vehículo	Parque 2017	% parque 2017	Kilómetros 0-4 años	Ponderación km
Camiones >3500	292.102	0,059	119.559	7.091,8
Camiones <3500	2.294.341	0,466	26.278	12.243,1
Furgonetas	2.338.033	0,475	3.0251	14.362,5
Total	4.924.476			33.697,4

Tipo de vehículo	Parque 2017	% parque 2017	Kilómetros 5-9 años	Ponderación km
Camiones >3500	292.102	0,059	77.045	4.570,0
Camiones <3500	2.294.341	0,466	19.017	8.860,1
Furgonetas	2.338.033	0,475	22.460	10.663,5
Total	4.924.476			24.093,7

Tipo de vehículo	Parque 2017	% parque 2017	Kilómetros 10-14 años	Ponderación km
Camiones >3500	292.102	0,059	46.438	2.754,5
Camiones <3500	2.294.341	0,465	15.623	7.278,8
Furgonetas	2.338.033	0,474	14.968	7.106,4
Total	4.924.476			17.139,8

Tipo de vehículo	Parque 2017	% parque 2017	Kilómetros 15-19 años	Ponderación km
Camiones >3500	292.102	0,059	29.509	1.750,3
Camiones <3500	2.294.341	0,465	12.898	6.009,2
Furgonetas	2.338.033	0,474	11.010	5.227,3
Total	4.924.476			12.986,9

Tipo de vehículo	Parque 2017	% parque 2017	Kilómetros 20+ años	Ponderación km
Camiones >3500	292.102	0,059	16.923	1.003,8
Camiones <3500	2.294.341	0,465	11.153	5.196,2
Furgonetas	2.338.033	0,474	8.780	4.168,5
Total	4.924.476			10.368,6

Tabla 3.9: Recorrido anual medio vehículos pesados según antigüedad. *Fuente: Propia.*

El modelo calcula el número de giga-metros recorridos anualmente por el parque de vehículos pesados, según su combustible, para los años 2019-2050. Para ello, primero calcula los kilómetros recorridos anualmente por cada tipo de vehículo pesado matriculado en un año específico, en cada uno de los años posteriores a su matriculación, según el tipo de combustible. Posteriormente se suman los valores obtenidos para cada año de matriculación y se obtiene el recorrido total buscado.

Para el primer cálculo, se multiplica la base de kilómetros por el porcentaje para ciudad o carretera y, a su vez, por el factor de corrección definido para cada

tipo de vehículo. Así, se obtiene la referencia de kilómetros para cada año y cada tipo de vehículo en ciudad o en carretera. Una vez hecha esta primera corrección, se multiplica el parque matriculado en el año en cuestión que permanece en circulación en el año en el que se hacen los cálculos, por el recorrido anual medio establecido para el parque matriculado en dicho año y para el año en el que se hacen los cálculos. Este recorrido anual medio se consigue multiplicando la base establecida por el factor de corrección según la antigüedad del parque. El recorrido total calculado se trata, en realidad, de una media entre el valor del año en el que se calcula y el año anterior. Esta media sirve para dar continuidad y que no haya saltos en los valores calculados. Los vehículos en realidad van entrando en el parque a lo largo del año de una manera más o menos uniforme. Con esta media lo que suponemos es que la mitad de los coches son del año anterior y están disponibles todo el año actual y la otra mitad son del año actual y sólo se tienen disponibles para la segunda mitad del año actual a calcular.

La fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$Gm_{n,m,t} = 10^{-6} \times \frac{p_{n,m,(t-1)} \times r_{n,m,(t-1)} + p_{n,m,t} \times r_{n,m,t}}{2} \quad (3.2)$$

Siendo:

- n: año de matriculación
- m: tipo de combustible o tecnología utilizada
- t: año para el cual se hacen los cálculos
- 10^{-6} : conversión de Km a Gm
- Gm: gigametros recorridos por el parque de vehículos pesados matriculados en año n, de tipo de combustible m en el año t.
- p: parque de vehículos pesados
- r: media de kilómetros realizados por un vehículo pesado

3.3. Modelo de Sustitución (Altas y Bajas de vehículos)

Los resultados del estudio se basan, entre otras cosas, en la estimación de la composición del parque hasta el año 2050, la cual se lleva a cabo gracias a la herramienta Excel desarrollada para este estudio (Ver *Capítulo 4*). Para esta estimación,

el presente estudio se basa en un escenario de inclusión del vehículo eléctrico puro en el que se estima que en 2050, un 40 % de las matriculaciones del total de matriculaciones vehículos pesados pertenecerán a este tipo de vehículos. Este porcentaje se define también como un 30 % para el vehículo eléctrico híbrido enchufable ². Estos porcentajes son una hipótesis que se considera teniendo en cuenta los objetivos marcados por la Unión Europea en materia de emisiones, anteriormente descritos, el actual desarrollo de las tecnologías y la actual presencia de estos vehículos en el parque de vehículos pesados español (Ver *Capítulo 5*). En el *Anexo B* se muestran los resultados que obtendríamos para otros escenarios de mayor o menor inclusión.

La introducción de estos vehículos podría seguir diferentes patrones, en este caso no se pueden usar los datos históricos para predecir a futuro ya que el vehículo pesado eléctrico es una tecnología completamente nueva, en desarrollo, que acaba de penetrar el mercado y cuyo auge se alcanzará en los próximos años. En este estudio se utiliza una función sigmoide ³ para prever la evolución del número de matriculaciones de este tipo de vehículos. Se considera que esa función puede representar de manera correcta la introducción del vehículo eléctrico pues se trata de una curva suave y se supone que la sustitución del vehículo convencional por eléctrico se dará de forma gradual en los próximos años.

La función utilizada en nuestro modelo es la siguiente:

$$\%Ae_n = \%Ae_{2018} + (\%Ae_{2050} - \%Ae_{2018}) \times \frac{1}{1 + e^{\frac{-(n-i)}{m}}} \quad (3.3)$$

Donde:

- Ae= % altas del vehículo eléctrico
- Ae_n= % altas del vehículo eléctrico en año a calcular
- Ae₂₀₅₀= % altas del vehículo eléctrico objetivo establecido para 2050
- n= año n, para el cual se realiza el cálculo
- i= punto de inflexión

²Vehículo que dispone de un motor de combustión interna (gasolina, diésel o flex-fuel) y de un motor eléctrico acompañado de un paquete de baterías, las cuales pueden recargarse enchufando el vehículo en el sistema de suministro eléctrico.

³La función sigmoide es una función cuya gráfica tiene una típica forma de "S". Son funciones de tipo:

$$f(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

- m = pendiente de la función sigmoide

El porcentaje de altas o matriculaciones del vehículo eléctrico (VE) establecido como objetivo para 2050 (Ae_{2050}) es, como ya hemos dicho, un 40 % para los eléctricos puros y otro 30 % para los híbridos enchufables. Además, la función hace uso de otras dos constantes una que permite trasladar el momento en el que empieza a producirse la penetración del VE, es decir, el punto de inflexión (i), y otra que permite variar la pendiente de la función, la cual determina el ritmo de la penetración del VE una vez comienza (m). Se supone que el punto de inflexión se dará en 2040, ya que los primeros modelos de este tipo de vehículo acaban o van a salir recientemente al mercado y unos 20 años parece un intervalo realista para que el crecimiento de la penetración de estos vehículos alcance su pico. Se toma una pendiente suave (4) para representar la penetración gradual esperada.

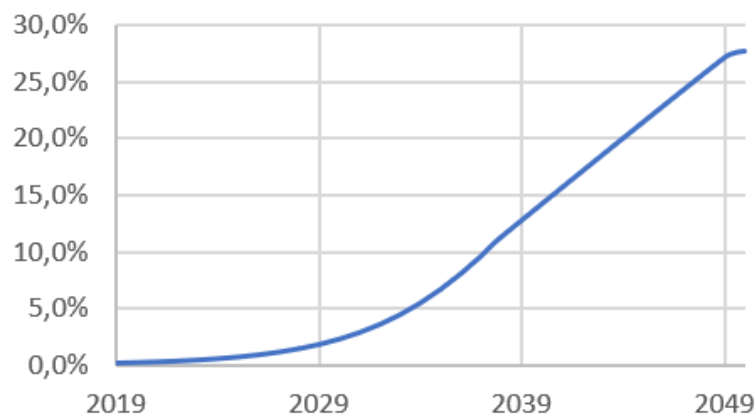


Figura 3.8: Función sigmoide utilizada para el cálculo de la penetración del VE puro pesado. *Fuente: Propia.*

Además del porcentaje de matriculaciones que se prevé tener para 2050 del VE, se necesita definir cómo se repartirán el resto de matriculaciones entre los demás tipos de vehículos pesados. Este porcentaje se define mediante el estudio de los datos históricos de la DGT del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible de cada año [37], los cuales se desarrollarán con mayor detalle en el *Capítulo 5, sección 5.1.1*. Para el modelo se supone que los vehículos pesados diésel supondrán un 10 % de las matriculaciones, los de gasolina otro 5 %, los que utilizan gas licuado del petróleo (GLP) otro 5 %, y, por último, los que funcionan con gas natural comprimido (GNC) otro 10 %. Estos porcentajes son

3.3. Modelo de Sustitución (Altas y Bajas de vehículos)

estimaciones o hipótesis en las cuales se basan nuestro modelo, sin embargo la herramienta Excel desarrollada permite hacer todo tipo de escenarios (Ver *Anexo B*).

Tipo de combustible	Porcentaje de matriculaciones 2050
Gasolina	5 %
Gasóleo	10 %
GLP	5 %
GNC	10 %
Eléctrico puro	40 %
Eléctrico híbrido enchufable	30 %

Tabla 3.10: Porcentaje de matriculaciones previstas por el modelo para 2050 por tipo de combustible.

Por otra parte, para poder estudiar la evolución de la distribución del parque de vehículos pesados según la tecnología utilizada por cada vehículo, se necesita conocer cuántos años van a permanecer en el parque los vehículos ya existentes o los que se vayan a ir matriculando a lo largo de los años. Aunque se prevea unas matriculaciones del 70 % entre el eléctrico puro y el híbrido enchufable para 2050, para aquel año seguirán circulando muchos de los vehículos que circulan actualmente por las carreteras, cuya gran mayoría se trata de vehículos con motores de combustión interna, por lo que estos aún supondrán la mayoría del parque de vehículos pesados, como se verá en el *Capítulo 5*.

Según los datos proporcionados por la DGT [37], en los últimos 11 años, se ha dado de baja cada año una media del 2,7 % del parque de vehículos pesados del año anterior.

Año	Parque	Bajas	% de bajas de parque año anterior
2008	5192219	140245	2,73
2009	5136214	157320	3,03
2010	5103980	151427	2,95
2011	5060791	139645	2,74
2012	4984722	147827	2,92
2013	4887352	165974	3,33
2014	4839484	1398776	2,86
2015	4851518	121061	2,50
2016	4879480	109939	2,27
2017	4924476	107219	2,20
2018	4980911	125366	2,55

Tabla 3.11: Porcentaje de bajas con respecto al parque del año anterior.

Dentro de este 2,7 % del parque, habrá vehículos que se hayan dado de baja en su primer año de vida y otros que se hayan dado de baja tras 10 o más años. Para estudiar la distribución de las bajas según la antigüedad, se tuvieron en cuenta los datos históricos obtenidos de la DGT de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Se analizó el parque según el año de matriculación (1990-2017) para los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Así, se calculó que número de vehículos matriculados en cierto año se dieron de baja en el año 2014 (diferencia del parque matriculado en cierto año entre 2014 y 2015), en el 2015, en el 2016 y en el 2017 (Ver *Tabla 3.12*). Estas cifras de bajas absolutas se dividieron por el parque del año correspondiente (2014, 2015, 2016 y 2017) para obtener una medida relativa al parque y se consideró la media de los cuatro años. La *Tabla 3.13*, muestra los resultados de los porcentajes de bajas del parque agrupados según su edad. Por ejemplo, de todos los vehículos que se matriculan en un año, de media, se dan de baja ese mismo año un 2,24 % (1 año antigüedad), al año siguiente se dan de baja, de media, el 1,46 % de ellos (2 años de antigüedad), y así sucesivamente (véase *Figura 3.9*).

3.3. Modelo de Sustitución (Altas y Bajas de vehículos)

Matric.	2014	2015	2016	2017	2018	Bajas2014	Bajas2015	Bajas2016	Bajas2017	%2014	%2015	%2016	%2017
1990	440.196	427.867	417.732	408.743	400.055	12.329	10.135	8.989	8.688	0,0280	0,0237	0,0215	0,0213
1991	58.929	55.809	53.279	50.858	48.589	3.120	2.530	2.421	2.269	0,0529	0,0453	0,0454	0,0446
1992	67.098	63.358	60.186	57.209	54.290	3.740	3.172	2.977	2.919	0,0557	0,0501	0,0495	0,0510
1993	52.366	49.494	46.897	44.575	42.242	2.872	2.597	2.322	2.333	0,0548	0,0525	0,0495	0,0523
1994	66.493	62.661	59.327	56.409	53.255	3.832	3.334	2.918	3.154	0,0576	0,0532	0,0492	0,0559
1995	77.999	73.671	69.780	66.253	62.655	4.328	3.891	3.527	3.598	0,0555	0,0528	0,0505	0,0543
1996	98.419	93.295	88.811	84.128	79.393	5.124	4.484	4.683	4.735	0,0521	0,0481	0,0527	0,0563
1997	129.391	122.688	116.660	110.591	104.078	6.703	6.028	6.069	6.513	0,0518	0,0491	0,0520	0,0589
1998	160.089	152.406	145.354	138.330	130.624	7.683	7.052	7.024	7.706	0,0480	0,0463	0,0483	0,0557
1999	199.768	190.571	182.387	174.156	164.718	9.197	8.184	8.231	9.438	0,0460	0,0429	0,0451	0,0542
2000	206.561	198.250	190.835	183.491	174.761	8.311	7.415	7.344	8.730	0,0402	0,0374	0,0385	0,0476
2001	207.007	199.452	192.700	185.433	177.395	7.555	6.752	7.267	8.038	0,0365	0,0339	0,0377	0,0433
2002	203.714	196.742	190.330	183.940	176.241	6.972	6.412	6.390	7.699	0,0342	0,0326	0,0336	0,0419
2003	239.896	232.593	225.976	219.373	211.551	7.303	6.617	6.603	7.822	0,0304	0,0284	0,0292	0,0357
2004	277.759	269.355	262.218	255.219	247.487	8.404	7.137	6.999	7.732	0,0303	0,0265	0,0267	0,0303
2005	325.674	317.190	308.404	300.708	292.479	8.484	8.786	7.696	8.229	0,0261	0,0277	0,0250	0,0274
2006	335.181	329.618	322.003	313.690	306.227	5.563	7.615	8.313	7.463	0,0166	0,0231	0,0258	0,0238
2007	334.071	328.766	323.085	314.794	305.820	5.305	5.681	8.291	8.974	0,0159	0,0173	0,0257	0,0285
2008	183.399	180.747	177.785	174.482	169.850	2.652	2.962	3.303	4.632	0,0145	0,0164	0,0186	0,0265
2009	117.421	115.981	114.204	112.391	110.246	1.440	1.777	1.813	2.145	0,0123	0,0153	0,0159	0,0191
2010	129.424	127.860	126.015	123.903	121.704	1.564	1.845	2.112	2.199	0,0121	0,0144	0,0168	0,0177
2011	118.574	116.663	115.148	113.652	112.131	1.911	1.515	1.496	1.521	0,0161	0,0130	0,0130	0,0134
2012	86.487	85.600	83.707	82.606	81.499	887	1.893	1.101	1.107	0,0103	0,0221	0,0132	0,0134
2013	87.996	86.576	85.286	83.640	82.670	1.420	1.290	1.646	970	0,0161	0,0149	0,0193	0,0116
2014	117.174	114.336	112.255	110.607	108.488	2.838	2.081	1.648	2.119	0,0242	0,0182	0,0147	0,0192
2015	0	152.036	147.960	145.931	144.168	n.a.	4.076	2.029	1.763	n.a.	0,0268	0,0137	0,0121
2016	0	0	159.875	156.740	155.120	n.a.	n.a.	3.135	1.620	n.a.	n.a.	0,0196	0,0103
2017	0	0	0	174.689	171.355	n.a.	n.a.	n.a.	3.334	n.a.	n.a.	n.a.	0,0191

Tabla 3.12: Porcentaje de bajas respecto al parque de vehículos pesados según el año de matriculación para los años 2014, 2105, 2016 y 2017.

Antigüedad	% Bajas 2014	%Bajas 2015	%Bajas 2016	% Bajas 2017	Media	Media (%)
28	n.a	n.a	n.a	0,021	0,021	2,126
27	n.a.	n.a.	0,022	0,045	0,033	3,307
26	n.a	0,024	0,045	0,051	0,040	4,005
25	0,028	0,045	0,049	0,052	0,044	4,379
24	0,053	0,050	0,050	0,056	0,052	5,211
23	0,056	0,052	0,049	0,054	0,053	5,293
22	0,055	0,053	0,051	0,056	0,054	5,372
21	0,058	0,053	0,053	0,059	0,056	5,552
20	0,055	0,048	0,052	0,056	0,053	5,282
19	0,052	0,049	0,048	0,054	0,051	5,093
18	0,052	0,046	0,045	0,048	0,048	4,770
17	0,048	0,043	0,038	0,043	0,043	4,319
16	0,046	0,037	0,038	0,042	0,041	4,075
15	0,040	0,034	0,034	0,036	0,036	3,583
14	0,036	0,033	0,029	0,030	0,032	3,215
13	0,034	0,028	0,027	0,027	0,029	2,918
12	0,030	0,026	0,025	0,024	0,026	2,642
11	0,030	0,028	0,026	0,029	0,028	2,807
10	0,026	0,023	0,026	0,027	0,025	2,534
9	0,017	0,017	0,019	0,019	0,018	1,789
8	0,016	0,016	0,016	0,018	0,016	1,647
7	0,014	0,015	0,017	0,013	0,015	1,498
6	0,012	0,014	0,013	0,013	0,013	1,327
5	0,012	0,013	0,013	0,012	0,012	1,246
4	0,016	0,022	0,019	0,019	0,019	1,917
3	0,010	0,015	0,015	0,012	0,013	1,298
2	0,016	0,018	0,014	0,010	0,015	1,460
1	0,024	0,027	0,020	0,019	0,022	2,243

Tabla 3.13: Cálculo de factor de bajas según la edad del parque.

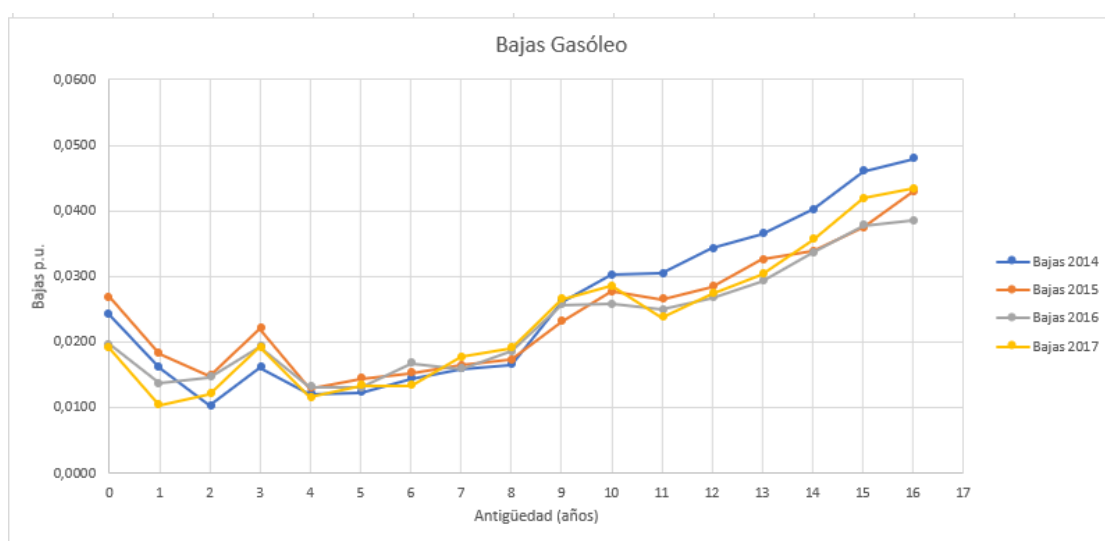


Figura 3.9: Bajas según la edad del parque. *Fuente: Propia.*

Se debe recalcar que para esta estimación del porcentaje de bajas del parque según la edad del parque, se ha considerado los datos históricos de las bajas de vehículos pesados de gasóleo, ya que es el grupo más representativo de este tipo de vehículos. El parque de vehículos pesados de gasolina y otros combustibles es mucho menor y la evolución varía mucho en los años más recientes, ya que se está produciendo la introducción de nuevos combustibles.

Teniendo estos datos en cuenta, para calcular el porcentaje de bajas en cada año y poder tener en cuenta qué porcentaje corresponde a cada edad del parque, se establece un valor base de un 1 % de bajas anuales. Es decir si no existieran los factores de corrección por edad del parque en el modelo, cada año, se darían de baja el 1 % del número de vehículos pesados del año anterior, en total. Sin embargo, al multiplicar este 1 % por los factores de corrección según la edad, se establece que, por ejemplo, el primer año se dan de baja el 2,24 % de los vehículos matriculados ese mismo año, el 1,46 % de los matriculados hace 2 y el 1,3 % de los matriculados hace tres (Véase *Tabla 3.14*).

Para años posteriores a 2040, el modelo prevé que la penetración del vehículo eléctrico y la aparición de planes impulsados por la UE y el gobierno para incentivar la compra de los mismos, harán que la mortalidad de estos vehículos aumente, ya que los usuarios se verán incentivados a dejar atrás su antiguo vehículo para sustituirlo por otro con nuevas tecnologías. Esto se trata de una mera hipótesis, basada en los objetivos marcados por la UE y los planes ya existentes para incentivar la compra de turismos eléctricos, de lo cual se asume que en materia de

3.3. Modelo de Sustitución (Altas y Bajas de vehículos)

vehículos pesados se seguirá el mismo procedimiento. Por ello, para los vehículos de más de 10 años de antigüedad de diésel y gasolina no se tiene en cuenta el porcentaje calculado en la *Tabla 3.13* para nuestro modelo, si no que este porcentaje se multiplica por un factor corrector de manera que el porcentaje de bajas de los vehículos de más de 10 años se ven incrementados considerablemente. A partir de 2018, la ratio de bajas de vehículos de más de 10 años se verá incrementado de forma lineal respaldado por estos incentivos y con el fin de conseguir una mayor penetración del vehículo eléctrico.

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Factor corrección	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	1,33	1,5	1,65	1,80	2,53

Edad	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Factor corrección	3,65	3,43	3,79	4,18	4,66	6,52	6,91	7,63	8,14	8,45

Edad	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Factor corrección	8,88	8,59	8,46	8,34	7,01	7,20	7,20	6,48	5,83	5,25

Edad	31	32	33	34	35
Factor corrección	4,72	4,25	3,83	3,44	3,10

Tabla 3.14: Factores de corrección por antigüedad para las bajas utilizados en el modelo.

Para los vehículos eléctricos, GNC y GLP, se establece que los primeros años el porcentaje de bajas será mínimo, ya que la mayoría de vehículos pertenecientes a estos tipos son muy nuevos. A medida que pasen los años, este porcentaje se estabilizará en 1 %, mismo porcentaje de bajas que los actuales vehículos pesados.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el modelo calcula cómo va a ir evolucionando el parque en los años futuros, mediante la siguiente fórmula:

$$parque\ año_n = parque\ año_{(n-1)} \times (1 - 0,01 \times factor\ de\ corrección\ por\ antigüedad) \quad (3.4)$$

3.4. Modelo de Consumo del vehículo pesado de combustión

Para el estudio de la evolución de las emisiones y el análisis energético se necesita primero conocer el consumo de los vehículos pesados que componen el parque. A medida que se desarrollan las tecnologías, la eficiencia de los vehículos es mayor, es decir, consumen menos. El modelo supone que los vehículos consumirán un 0,5 % menos por cada año que pase. Este factor se estima tras el análisis de la evolución del consumo de los vehículos pesados en Estados Unidos desde 1970 a 2008, información presentada por la *U.S. Energy Information Association (EIA)* [38]. Esta información queda recogida en el *gráfico 3.10* y la *tabla 3.15*. Desde 1980 hasta 2008, el consumo fue sufriendo pequeñas fluctuaciones cada año, a veces incrementando y otras disminuyendo. La diferencia absoluta del consumo de 2008 con respecto al de 1980 fue de -5,5 L/100 Km. El valor mínimo de consumo en estos años se alcanzó en 2004 con 35,1 L/100 km y el máximo en el año 1970 con 43,5 L/100 km. Según esto, la diferencia media de consumo año a año en este intervalo de años fue de -0,2L/100km, que considerando que el consumo medio de estos años fue de 39 L/100km, nos da una diferencia media porcentual de -0,51 % cada año. Se considera que estos datos aún proviniendo del parque estadounidense, pueden ser una buena representación de la evolución del consumo de los vehículos pesados españoles.

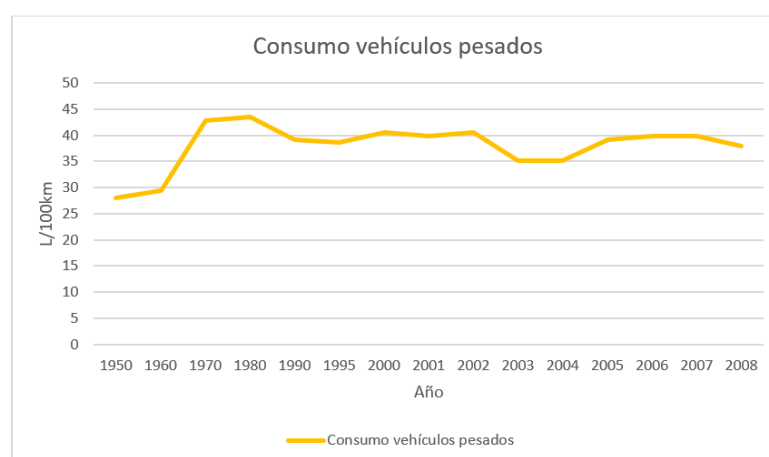


Figura 3.10: Evolución del consumo de los vehículos pesados en Estados Unidos.
Fuente: Propia a partir de datos de EIA.

Año	Consumo (L/100km)	Variación
1980	43,56	n.a.
1990	39,20	-4,36
1995	38,56	-0,64
2000	40,55	1,99
2001	39,87	0,69
2002	40,55	0,69
2003	35,11	-5,45
2004	35,11	0
2005	39,20	4,10
2006	39,87	0,66
2007	39,87	0
2008	37,94	-1,93
Porcentaje	n.a.	-0,49 %

Tabla 3.15: Evolución del consumo de los vehículos pesados en Estados Unidos y media porcentual de variación anual de este. *Fuente: Propia a partir de datos de EIA.*

Se establece el consumo medio en carretera de vehículos pesados por cada 100 km para el año 2018 como referencia, a partir del cual se calculará el consumo para años anteriores y posteriores mediante la división o multiplicación por el factor de mejora del consumo (0,995). El consumo medio de los camiones de diésel y gasolina según los fabricantes, fichas técnicas de los camiones más vendidos en España y la información recogida en el informe de la *National Society for Clean Air and Environmental Protection* (NSCA) [39] [40] [41] [42] [43] [19] es de 35 L cada 100 Km para 2018. Esta información coincide con el consumo medio que se obtiene de suponer una mejora del 0,5 % anual desde 2008 para el consumo de ese año reflejado en la *Tabla 3.10*. El consumo medio de se obtiene convirtiendo estos 35 L a kWh, sabiendo que un kL de gasoil son 10260 kWh y 1 kL de gasolina son 9230 kWh.

En el caso de los camiones que usan gas licuado del petróleo como combustible, los datos de consumo se obtuvieron de la web de dos fabricantes de este tipo de camiones. Se usaron los datos de capacidad y autonomía del modelo VOLVO FE CNG y del modelo IVECO DAILY [44] [45]. Posteriormente, se realizó una media ponderada de ambos y se obtuvo un valor medio de consumo de 350 kWh por cada 100 Km.

La información correspondiente a los camiones eléctricos puros, como ya se mencionó en la *sección 3.1*, se consiguió de los fabricantes de los camiones eléctricos más reconocidos del mercado. Se obtuvo, así, un consumo medio de 1,3 kWh/km, que se corrigió con un factor de 1,2 ya que los fabricantes suelen dar el

consumo en condiciones ideales y no en condiciones reales. Así, se estimó un consumo medio para 2018 de 1,5 kwh/km, o 150 kWh/100 Km en bornes de la batería.

Para los vehículos pesados que funcionan con gas natural comprimido no se obtuvieron datos fiables por lo que se usa el consumo de los turismos que usan esta misma tecnología como referencia. Se determinó la relación entre el consumo de los turismos diésel y el de los vehículos pesados diésel y se aplicó la misma relación para los vehículos pesados GNC. Este mismo procedimiento se siguió para los vehículos híbridos enchufables, no enchufables y otras tecnologías, al no encontrar suficiente información para este tipo de vehículos.

Tipo de vehículo	kWh/100km carretera	kWh/100km ciudad
Gasolina	323,05	403,81
Gasóleo	359,10	448,88
GLP	430,00	537,50
GNC	350,00	437,50
Eléctrico puro	150,00	75,00
Eléctrico híbrido enchufable	300	200

Tabla 3.16: Consumo medio de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.

Una vez calculado el consumo en carretera para el año 2018, se considera que el consumo en ciudad será algo mayor en el caso de los camiones con motor de combustión y menor en el caso de los camiones eléctricos o híbridos. Por ello, se multiplican los valores de consumo en carretera por un factor de corrección. Este factor de corrección para los vehículos de combustión, se obtiene estudiando el consumo de un turismo de combustión en ciudad frente a carretera, ya que los datos de consumo de los camiones son difíciles de encontrar. Estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, han determinado que el rendimiento en carretera de los turismos es de una media de 25 millas por galón mientras que en ciudad este rendimiento baja a 20 millas por galón (consumo 1,25 mayor). Se estima que la relación en los vehículos pesados será parecida a la de los turismos. Así, se establece un factor de corrección de 1,25 para los vehículos de combustión, es decir, los camiones consumen un 25 % más en ciudad que en carretera. En cuanto a los eléctricos, se establece un factor de corrección de 0,5 por las razones explicadas en la *sección 3.1*. Para los híbridos enchufables el factor utilizado es un valor entre el 1,25 y el 0,5.

Al igual que en el caso de la distancia anual que recorren los camiones y furgonetas, el consumo también se ve afectado por la antigüedad del vehículo. Debido a la evolución en las tecnologías y al peor funcionamiento del vehículo cuanto más

antiguo sea, los vehículos más antiguos suelen consumir más que los nuevos. Por ello, se añade un factor de corrección para el cálculo del consumo total.

La mejora del consumo de los vehículos pesados ha sido aproximadamente de un 15 % en estos últimos 50 años en el caso de los camiones de media-alta carga y de un 1 % para los camiones ligeros en los últimos 24 años. Para obtener la mejora en el consumo que se prevé en los próximos 35 años, se tuvieron en cuenta estos datos, el número de vehículos de cada tipo y la tendencia en estos últimos cinco años. Así, se estimó que los vehículos pesados con 35 años de antigüedad consumen un 10 % más que los vehículos comprados en el año actual [35].

Con esta información, y aplicando un factor de la unidad para el primer año, se fueron calculando los factores para los vehículos más antiguos mediante la multiplicación del factor del año anterior por una constante de manera que para los vehículos con 35 años de antigüedad, el factor que se consigue es 1,10.

Finalmente, teniendo en cuenta todo lo anterior, el modelo realiza el cálculo del consumo energético anual de la totalidad del parque según el tipo de combustible para los años 1990-2050. Para ello, primero se calcula el consumo energético según el año de matriculación del parque para cada año desde 1990 a 2050. Este consumo se obtiene mediante la multiplicación del parque matriculado en el año en cuestión que permanece en circulación en el año en el que se calcula el consumo, por el recorrido anual para el parque matriculado en dicho año y para el año en el que se hacen los cálculos y por el consumo medio por cada 100 km para los vehículos matriculados en dicho año en el año en el que calculamos el consumo. Este consumo medio se consigue multiplicando la media de consumo que hemos establecido por el factor de corrección según la antigüedad del parque. El consumo total calculado se trata, en realidad, de una media entre el valor del año en el que se calcula el consumo y el año anterior.

La fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$GWh/año_{n,m,t} = 10^{-8} \times \frac{p_{n,m(t-1)} \times km_{n,m,(t-1)} \times kWh_{n,m,(t-1)} + p_{n,m,t} \times km_{n,m,t} \times kWh_{n,m,t}}{2} \quad (3.5)$$

Siendo:

- GWh/año: GWh/año consumidos por el parque de vehículos.
- p: parque de vehículos pesados (número).

- km: media de kilómetros realizados por un vehículo del tipo especificado.
- kWh: media de consumo energético de un sólo tipo de vehículo pesado por cada 100 km.
- n: año de matriculación.
- m: tipo de combustible o tecnología utilizada.
- t: año para el cual se hacen los cálculos.
- 10^{-8} : conversión de kWh a GWh y de kWh/100 km a kWh/km.

3.5. Modelo de Emisiones

El modelo estudia la evolución tanto de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como las de dos contaminantes atmosféricos (NOx y partículas), considerando la evolución del parque, el recorrido y el consumo. Se establecen como referencia las emisiones de 2018, estimadas mediante el análisis de la normativa europea, a partir de las cuales se calculan las de los años posteriores.

Los vehículos eléctricos no presentan emisiones locales, las únicas emisiones asociadas a su funcionamiento son las emisiones de CO₂ generadas por las plantas de generación de la electricidad que estos vehículos utilizan para la carga de sus baterías. Estas emisiones se desarrollan de manera separada en la *sección 3.1*.

3.5.1. Gases de efecto invernadero de los vehículos pesados de combustión

La información sobre las emisiones de los vehículos pesados es muy escasa, los fabricantes no la proporcionan. En el caso del NOx y las partículas se utilizará la normativa europea para determinar las emisiones medias de estos contaminantes en 2018, sin embargo, la normativa europea no limita las emisiones de CO₂, por lo que los datos de emisiones medias se obtuvieron de un informe de la *Generalitat de Catalunya*. En él, se proporcionan las emisiones medias de CO₂ de los vehículos pesados en 2013 según el tipo de recorrido (urbano, rural e interurbano). Con estos datos y suponiendo una reducción del 2 % anual de emisiones de CO₂ de estos vehículos, como se detalla más adelante, se establecen las emisiones medias para 2018 para los vehículos pesados diésel, diferenciando entre emisiones en ciudad y en carretera, a partir de las cuales se calculan las de los años posteriores. Para el

resto de tecnologías, se utiliza la misma relación de emisiones que para los turismos [22] con respecto al turismo diésel.

Vehículo	Tipo	gCO ₂ /km		gCO ₂ /kWh	
		Urbano	Interurbano	Urbano	Interurbano
Camión diésel	Menos 14t	539,7	490,73	117,257	133,27
Camión diésel	Más 14t	1103,49	663,01	239,74	180,06
Camión diésel	Menos 34t	1011,06	579,96	219,67	157,51
Camión diésel	Más 34t	1506,13	791,44	327,23	214,94
Ligero	Gasolina	365,27	220,36	79,36	53,03
Ligero	Diésel	287,14	282,47	62,38	76,71
Media				174,11	135,92

Tabla 3.17: Emisiones medias de CO₂ de los vehículos pesados en 2013 según el tipo de recorrido (urbano, rural e interurbano). *Fuente: Propia a partir de datos de la Generalitat de Catalunya [18].*

Tipo de vehículo	Emisiones (gCO ₂ /kWh) carretera
Gasolina	159
Gasóleo	179
GLP	95
GNC	140
Eléctrico puro	313,00
Eléctrico híbrido enchufable	198,00

Tabla 3.18: Emisiones medias de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.

Para calcular cuánto disminuyen las emisiones de GEI a medida que pasan los años, se consideró la información proporcionada por un informe de la *National Society for Clean Air and Environmental Protection (NSCA)* [19] que recoge las emisiones medias de CO₂ de los vehículos pesados según la normativa a la que se ajusta su tecnología. Como se ha comentado, la normativa no limita las emisiones de CO₂ pero se detecta una relación entre el avance de las tecnologías para reducir las emisiones que sí son limitadas por la normativa (NO_x, partículas, HC y CO), con la ligera reducción de las emisiones de CO₂ por parte de los vehículos que utilizan tecnologías más nuevas. Tras el estudio de la normativa y la información proporcionada por NSCA, además, se concluye que a medida que pasan los años las nuevas tecnologías que incorporan los vehículos permiten que las emisiones de GEI asociadas a ellos sean cada vez menores. Este estudio tan sólo contempla las normativas EURO I (1993) y EURO II(1996), por lo que los valores calculados se tratarán de una extrapolación de los datos proporcionados por este estudio. Si las emisiones reales de los vehículos se hubieran ajustado a las emisiones medias

proporcionadas por este informe en 1993 y 1996, se habrían tenido que reducir un 1 % anual en estos tres años (ver *Tabla 3.19*. Tras estudiar la normativa al completo para el NOx y las partículas, se deduce que las normativas siguientes (III,IV,V Y VI) han ido imponiendo límites cada vez más estrictos. Por ello, se estima que las emisiones de CO2 han debido ir reduciéndose en una media de un 2 % cada año hasta 2018. Se considera que para intentar conseguir los objetivos de la UE, esta reducción de emisiones de CO2 deberá permanecer, al menos constante. En el caso más pesimista, este porcentaje de reducción anual de las emisiones de CO2 permanecerá estancado, por lo que para años posteriores a 2018 el modelo toma la misma reducción que para años anteriores.

Normativa	Emisiones CO2(g/km)
EURO I (1993)	643
EURO II (1996)	628

Tabla 3.19: Emisiones de CO2 según la normativa que limita las emisiones de NOx, partículas, HC y CO a la que se ajusta la tecnología del vehículo pesado. *Fuente: NSCA [19]*.

Por las mismas razones que se han explicado en el consumo, los vehículos más antiguos suelen tener unas emisiones más elevadas. Para reflejar esto en las emisiones totales, se hace uso de un factor de corrección. Para el cálculo de este factor de corrección se tuvo en cuenta la información recogida por el informe de la NSCA [19], el cual recoge las emisiones medias de CO2 de los vehículos pesados según la normativa a la que se ajusta su tecnología. La normativa no limita estas emisiones pero cuanto más restrictiva es la normativa para las otras emisiones, mejor es la tecnología utilizada y menores las emisiones de CO2, por tanto. Se estima que, de media, un vehículo emite cada año un 1 % más que el año anterior debido al envejecimiento de su tecnología.

El modelo calcula las emisiones de CO2 anuales realizadas por la totalidad del parque según el tipo de combustible en los años 1990-2050, teniendo en cuenta las emisiones medias que se han establecido, el efecto de la antigüedad del parque en sus emisiones y el factor de evolución de las emisiones de año a año debido a la mejora de las tecnologías y la evolución de la normativa. Para ello, se calculan primero las emisiones de CO2 según el año de matriculación del parque para cada año y posteriormente se suman todos los valores correspondientes a cada año de matriculación, obteniendo el valor total buscado. Estas emisiones se obtienen mediante la multiplicación del parque matriculado en el año en cuestión que permanece en circulación en el año en el que se calculan las emisiones, por el recorrido anual que se ha calculado para el parque matriculado en dicho año y para el año

en el que se hacen los cálculos y por el valor medio de emisiones para los vehículos matriculados en dicho año en el año en el que calculamos las emisiones. Se estiman las emisiones del parque medio de vehículos, calculando este como la media de vehículos al principio y al final del año, ya que se supone que los vehículos se van matriculando (y dando de baja) de manera continua a lo largo del año.

La ecuación utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$KtCO2_{n,m,t} = \sum 10^{-11} \times \frac{p_{n,m,(t-1)} \times km_{n,m,(t-1)} \times kwh_{n,m,(t-1)} \times gCO2_{n,m,(t-1)} + p_{n,m,t} \times km_{n,m,t} \times kwh_{n,m,t} \times gCO2_{n,m,t}}{2} \quad (3.6)$$

Siendo:

- KtCO2: Kt de CO2 emitidos en un año por el parque de vehículos pesados con una tecnología y matriculado en un año específico
- p: parque de vehículos pesados de las características especificadas (número).
- km: media de kilómetros realizados por un vehículo pesado de las características especificadas.
- kwh: media de consumo energético de un vehículo pesado de las características especificadas por cada 100 km.
- gCO2: media de emisiones de CO2 en un año de un vehículo matriculado en un año específico y con un tipo de tecnología en gCo2/kWh.
- n: año de matriculación.
- m: tipo de combustible o tecnología utilizada.
- t: año para el cual se hacen los cálculos.
- 10^{-11} : conversión de g/kWh a kt/año

3.5.2. Contaminantes atmosféricos (NOx y partículas)

En el caso de las emisiones de los contaminantes atmosféricos, se sigue un procedimiento similar al seguido para los gases de efecto invernadero. Primeramente, se establece una referencia de emisiones para el año 2018 basándose en la normativa europea y en un análisis realizado por J. González [22] para turismos, en el cual se lleva a cabo una comparativa entre los límites de emisiones establecidos por la normativa y las emisiones reales de los turismos (obtenidas de pruebas con

turismos en condiciones reales). Se concluye que las emisiones reales son entre 3 y 4 veces las establecidas por la normativa, por lo que las emisiones medias para 2018 del vehículo diésel se calculan multiplicando los límites impuestos por la normativa Euro VI (ver *Tabla 3.20*) por cuatro. Para el resto de tecnologías se utiliza la misma relación que para los turismos respecto a los turismos diésel [22].

En el caso de la evolución con los años de las emisiones de NOx, después de analizar la normativa (Ver *Tabla 3.20*), y observando que los límites de estas emisiones se redujeron en un 97,2 % desde la primera normativa Euro (1990) hasta la última, Euro VI (2014). Si las emisiones de los vehículos pesados se hubieran ajustado a los límites de sus correspondientes normativas, la reducción media anual debería haber sido de un 12 % hasta 2018. Si analizamos los años más recientes, en concreto los límites de la normativa Euro VI, respecto a la V, se concluye que para los años 2009 a 2018, si las emisiones se hubieran tenido que ajustar a la reducción de los límites impuestos por la normativa Euro VI, respecto a la V, la reducción de las mismas debería haber sido de una media de un 16,4 % anual. Para observar las emisiones que deberían producir los vehículos pesados de seguir la tendencia, se dibuja la curva de la evolución seguida por los límites de estos contaminantes y se extrapola mediante una exponencial a 35 años, obteniendo la *figura 3.11*. Así se obtiene, que la reducción en los próximos años de estas emisiones gracias a las nuevas tecnologías de filtración debería ser de una media de un 10 % anual, llegando a alcanzar valores ínfimos.

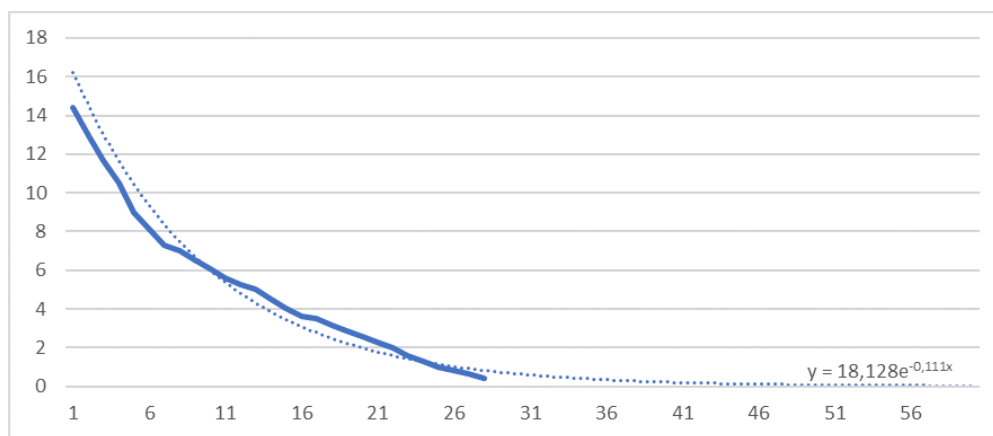


Figura 3.11: Extrapolación de la curva de la evolución de los límites de NOx en los últimos 28 años

Sin embargo, al encontrarse los valores de estas emisiones en valores tan mínimos (0,4 kg/kWh), y al haberse producido tal drástica reducción de estos con-

taminantes en los últimos años, se prevé que esta reducción se vaya frenando en los próximos años, por lo que se establece en el modelo una reducción anual de entre el 10 % y el 3 % anual, disminuyendo este porcentaje gradualmente para los próximos 32 años.

Con respecto a las partículas, los límites de estas emisiones se redujeron también en un 97,2 % desde la primera normativa que las contemplaba Euro I (1993) hasta la última, Euro VI (2014). Si las emisiones de los vehículos pesados se hubieran ajustado a los límites de sus correspondientes normativas, la reducción media anual debería haber sido de un 13 % hasta 2018, mismo porcentaje que en los años recientes si comparamos los límites impuestos por la normativa Euro VI, respecto a la V. Al igual que sucede con el NO_x, al encontrarse estos límites en valores mínimos (0,01 g/kWh en el caso de partículas para la Euro VI), se prevé que esta reducción se frene en los próximos años, por lo que se lleva a cabo el mismo procedimiento que para el NO_x (Veáse *Figura 3.12*). La reducción media para este contaminante prevista si siguiera una tendencia parecida a la de años previos, sería de un 16 %. No obstante, siguiendo el mismo razonamiento que en las emisiones de NO_x, se establece una reducción anual a partir de 2018 de estas emisiones en los vehículos pesados que vayan matriculándose cada año de entre el 10 % y 3 %.

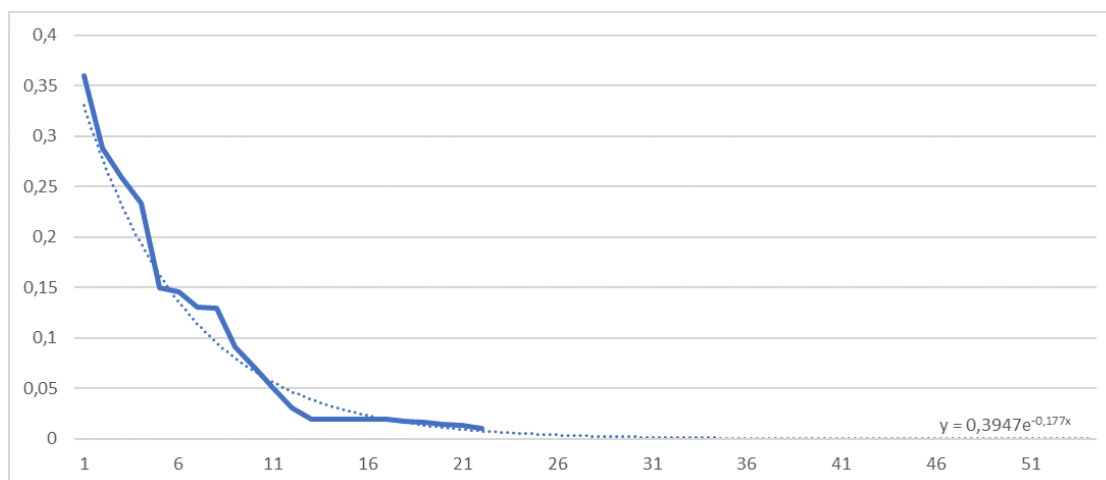


Figura 3.12: Extrapolación de la curva de la evolución de los límites de PM_x en los últimos 21 años

Cabe resaltar, que en este estudio tan sólo se han tenido en cuenta las partículas debidas al proceso de combustión en el motor y no las producidas por la fricción en la rodadura. Los vehículos eléctricos no presentan emisiones del primer tipo,

pero sí emiten partículas debido a la fricción en sus ruedas, sin embargo, en un intento de simplificar el modelo, no se han tenido en cuenta esta segunda fuente de emisión de partículas.

La siguiente *tabla 3.20* recoge la citada normativa de la Unión Europea en materia de las emisiones de NOx y partículas (PM) permitidas en vehículos pesados, desde la EURO 0 hasta la EURO VI, en un lapso de 24 años.

Normativa	NOx	PM	Año
Euro 0	14,4	n.a.	1990
Euro I	9	0,36	1993
Euro II	7	0,15	1996
Euro III	5	0,13	2001
Euro IV	3,5	0,02	2006
Euro V	2	0,02	2009
Euro VI	0,4	0,01	2014

Tabla 3.20: Evolución de la normativa europea en materia de emisiones de vehículos pesados. *Fuente: Propia a partir de datos de la UE.*

Los límites máximos de las emisiones de NOx han sido reducidos de 14,4 a 0,4, es decir, por 36 veces desde la primera norma EURO hasta la última. En cuanto, a las partículas, han sido reducidas de 0,35 a 0,01, es decir, en 36 veces también. Con esta información se puede suponer que si hoy día siguiera en circulación un camión matriculado en 1990 cuyas emisiones se ajustasen a la norma de entonces, sus emisiones de NOx y PMx serían 36 veces mayores (como mínimo) que un camión cuya tecnología se ajuste a la última norma EURO y matriculado en 2018. Sin embargo, como ya se ha explicado, debido a que la evolución en las tecnologías que cancelan estas emisiones ha sido tan grande estos años y que las emisiones de los vehículos que se ajustan a la normativa están en valores mínimos, se considera que, en 2050, un vehículo que haya sido matriculado 26 años atrás, no emitirá 36 veces lo que emitirán los vehículos matriculados en 2050.

En cuanto al calculo del efecto de la edad del parque en las emisiones, se toma el mismo valor que para las emisiones de CO₂, es decir, se estima que un vehículo emite cada año un 1 % más que en el año anterior debido al envejecimiento de sus sistemas de filtrado y tecnologías.

Una vez establecidos todos estos datos, se realiza el mismo cálculo que en el caso de las emisiones GEI mediante la *ecuación 3.6*.

Capítulo 4

Herramienta de Excel

Los resultados y conclusiones del proyecto se basan en los cálculos realizados mediante una herramienta de Excel desarrollada por el Observatorio del Vehículo Eléctrico y adaptada para los vehículos pesados. Esta herramienta se diseñó inicialmente para turismos y posteriormente se adaptó para vehículos pesados mediante la sustitución de los datos y fórmulas correspondientes. Con ella, se pretende predecir la posible evolución de las emisiones y del consumo energético asociados a los vehículos pesados, a medida que va cambiando la distribución del parque de este tipo de vehículos en los próximos 30 años, mediante la introducción de tecnologías más limpias, como es el vehículo eléctrico.

La herramienta permite suponer diferentes escenarios sobre la inclusión del vehículo pesado eléctrico y calcula la evolución de las emisiones y el consumo según la misma. Para ello, se introducen una serie de datos históricos sobre el parque de vehículos pesados, el patrón de altas y bajas o modelo de sustitución de estos vehículos a lo largo de los años, los kilómetros recorridos por este parque, las emisiones y el consumo. Se establece el objetivo de recorrido anual constante y mediante la herramienta *Solver*¹ se optimiza el modelo mediante la minimización del error entre el objetivo marcado y el recorrido real.

A continuación se da una explicación más detallada de las diferentes pestañas incluidas en la herramienta Excel. Queda determinada la función de cada una de

¹Solver es un programa de complemento de Microsoft Excel que se puede usar para llevar a cabo un análisis para encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, la celda objetivo, que está sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de una hoja de cálculo. Solver trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables de decisión o, simplemente, celdas de variables que se usan para calcular las fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. Solver ajusta los valores de las celdas de variables de decisión para que cumplan con los límites de las celdas de restricción y den el resultado deseado en la celda objetivo.

ellas y las fórmulas y datos utilizados.

Para una explicación más gráfica e ilustrativa, se creó un documento *Power-Point* como complemento a este capítulo. Aquel lector que desee aprender a usar la herramienta o que quiera entender su funcionamiento en detalle, podrá hacer uso tanto del presente capítulo como de la presentación *Índice Fichero Excel M+CamFur* [46].

4.1. Pestaña DAT_CAMFUR

Esta es la pestaña de control, donde introducimos los datos históricos sobre el parque de vehículos pesados, el patrón de altas y bajas de estos vehículos a lo largo de los años, los kilómetros recorridos por este parque, las emisiones y el consumo, que hemos obtenido de investigar diversas fuentes. Estos datos son posteriormente utilizados por todas las otras pestañas para llevar a cabo los correspondientes cálculos.

La pestaña se divide en seis secciones:

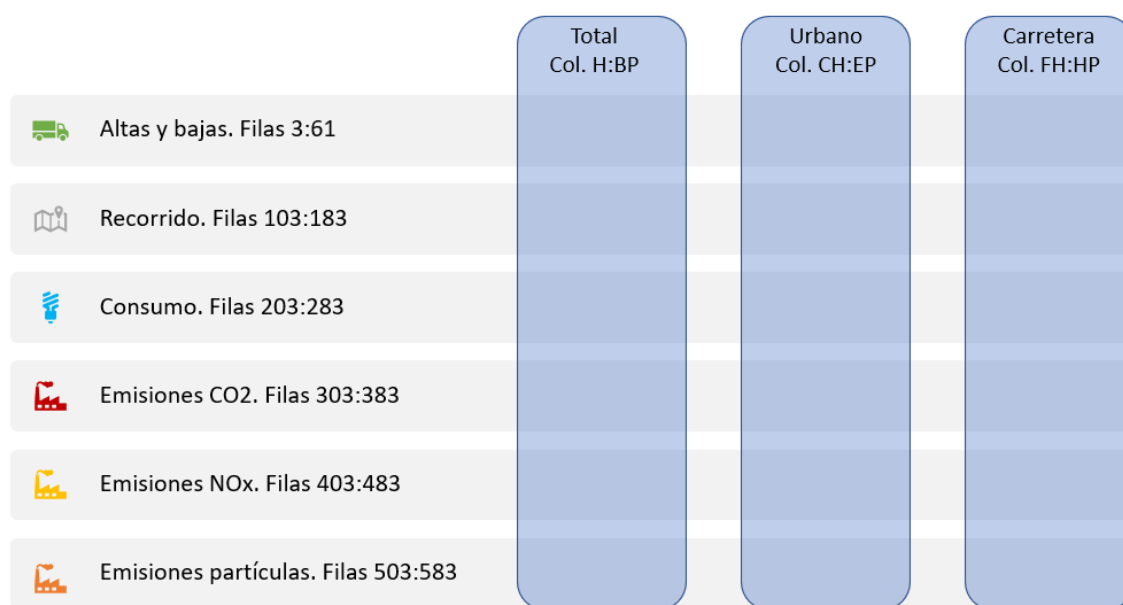


Figura 4.1: Distribución de la pestaña Dat_CAMFUR. *Fuente: Propia*

Cada sección, a su vez, se divide en transporte urbano, transporte por carretera y la suma de ambos que nos proporciona el total. Esta separación por columnas entre urbano y carretera nos permite ajustar cómo queremos distribuir, por ejemplo, las emisiones de CO₂ según el tipo de transporte o los kilómetros recorridos por los vehículos pesados en ciudad en comparación con los recorridos en carretera.

A	B	C	D	E	F	G	CG	CH	DJ	EP	FG	FH	GJ	HP
					SOLVER: min (G103) s.a. (\$AK\$11:\$BP\$11:\$DK\$111:\$EP\$111)	2,73		URBANO	URBANO	URBANO		CARRETERA	CARRETERA	CARRETERA
03														
04														
05	VE	CO	VE1		Recorrido anual constante	Unidad	Unidad	1990	2018	2050	Unidad	1990	2018	2050
10														
11	CyF	CamF					%	15,0%	15,0%	0,5%	%	85,0%	85,0%	99,5%
12	CyF	CamF			REFERENCIA	km	km	3.975	3.975	140	km	22.525	22.525	26.360
13	CyF	GNA	CamF		Gasolina		pu	1,00	1,00	1,00	pu	1,00	1,00	1,00
14	CyF	GOL	CamF		Gasóleo		pu	1,00	1,00	1,00	pu	1,00	1,00	1,00
15	CyF		CamF		Otros combustibles									
16	CyF	GLP	CamF		GLP (Petróleo)		pu	1,00	1,00	1,00	pu	1,00	1,00	1,00
17	CyF	GNC	CamF		GNC (Gas natural)		pu	1,00	1,00	1,00	pu	1,00	1,00	1,00
18	CyF	ELP	CamF		Eléctrico puro		pu	0,80	0,80	1,00	pu	0,80	0,80	1,00
19	CyF	HEN	CamF		Eléctrico híbrido enchufable		pu	0,90	0,90	1,00	pu	0,90	0,90	1,00
20	CyF	HIC	CamF		Híbrido no enchufable		pu	0,90	0,90	1,00	pu	0,90	0,90	1,00
21	CyF	OTR	CamF		Otros		pu	0,10	0,10	0,10	pu	0,10	0,10	0,10

Figura 4.2: División de la herramienta en urbano y carretera. Sección recorrido como ejemplo. *Fuente: Propia.*

4.1.1. Modelo de sustitución (Altas y bajas)

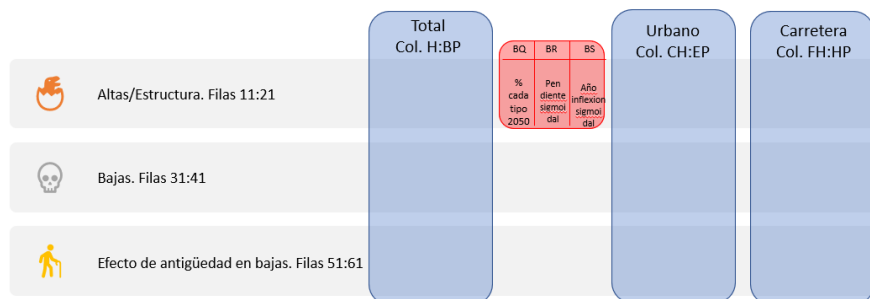


Figura 4.3: Distribución de la sección *Modelo de sustitución (Altas y Bajas)*. *Fuente: Propia.*

Altas

En esta sección de la pestaña (filas 11:21) se define el porcentaje de altas de cada tipo de vehículo pesado según el combustible para los años 2014 a 2019 (columnas AF: AJ, filas 13:21). Este porcentaje está basado en los datos de la DGT del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible de cada año [37],

dividido por el parque total de vehículos pesados de ese mismo año.

El porcentaje de altas para cada tipo de vehículo pesado a partir de 2019 viene determinado por la columna BQ, la cual puede cambiar el usuario según el porcentaje de cada tipo de vehículo que se estime alcanzar en 2050. Esto nos permite suponer diferentes escenarios de evolución del parque, con una mayor o menor inclusión del vehículo eléctrico, como bien se explicó en el *Capítulo 3*. Para determinar esta inclusión del vehículo eléctrico y eléctrico híbrido enchufable a lo largo de los próximos 30 años se usa una sigmoideal cuyos parámetros también son controlados en las columnas BQ, BR y BS (filas 18 y 19).

La fórmula utilizada para calcular el porcentaje de altas hasta 2050 de todos los tipos de vehículos menos los eléctricos y eléctricos híbridos enchufables, es la siguiente:

$$AK14 = AJ14 + \frac{(BQ14 - AJ14)}{2051 - AJ5} \times AK3 \quad (4.1)$$

Siendo:

- AK14= porcentaje de altas del vehículo de tipo m en un año n
- AJ14= porcentaje de altas del vehículo de tipo m en año n-1
- BQ14= porcentaje de altas del vehículo de tipo m al cual se pretende llegar en 2050
- AJ5= año n
- AK3= factor de corrección para conseguir que los porcentajes de altas de los diferentes tipos de vehículo pesados sumen 100 %.

Al utilizar diferentes métodos para calcular las altas de los vehículos que utilizan los diferentes tipos de combustibles o tecnologías, las altas de un año pueden no sumar un total del 100 %. Para corregir esto, se establece un factor (porcentaje) que multiplica las altas de todos los tipos de vehículos excepto los eléctricos e híbridos, de manera que se consigue que las matriculaciones del total de los vehículos pesados sume 100 % cada año. La evolución de las matriculaciones de estos últimos sigue una sigmoideal y se tratan de manera independiente a los demás. La fórmula utilizada para el cálculo de esta celda AK3 (AK3:BP3) es la siguiente:

$$AK3 = \frac{1 - AK18 - AK19}{1 - SUMA(AJ18 : AJ19)} - SUMA(BQ18 : BQ19) + \frac{SUMA(AJ18 : AJ19)}{2051 - AJ5} \quad (4.2)$$

Siendo:

- AK3= factor de corrección para conseguir que los porcentajes de altas de los diferentes tipos de vehículo pesados sumen 100 %.
- AJ18= porcentaje de altas del vehículo eléctrico puro en año n-1
- AJ19= porcentaje de altas del vehículo eléctrico híbrido enchufable en año n-1
- AK18= porcentaje de altas del vehículo eléctrico puro en año n
- AK19= porcentaje de altas del vehículo eléctrico híbrido enchufable en año n
- BQ18= porcentaje de altas del vehículo eléctrico puro el cual se pretende alcanzar en 2050
- BQ19= porcentaje de altas del vehículo eléctrico híbrido enchufable el cual se pretende alcanzar en 2050
- AJ5= año n

Para el cálculo de altas del vehículo eléctrico puro e híbrido enchufable, se establece en la columna BQ el porcentaje del parque que se pretende que sea vehículos eléctricos o eléctricos híbridos enchufables en 2050. En la columna BR, se determina la pendiente de la sigmoideal, es decir, se define cómo se prevé que ocurra esta inclusión, si en los años más próximos o de manera más suave hasta 2050. Por último, en la columna BS, se establece en qué año se prevé el punto de inflexión de la curva, es decir, cuándo se prevé que esta inclusión vaya frenando.

La fórmula utilizada para predecir el porcentaje de altas del vehículo eléctrico a lo largo de los años es la siguiente:

$$AK18 = AJ18 + (BQ18 - AJ18) \times \frac{1}{1 + e^{\frac{-(AK5 - BS18)}{BR18}}} \quad (4.3)$$

Siendo:

- AK18= porcentaje de altas del vehículo eléctrico en un año n
- AK5= año n
- AJ18= porcentaje de altas del vehículo eléctrico en el año 2018
- BQ18= porcentaje de altas del vehículo eléctrico al cual se pretende llegar en 2050
- BS18= año en el que se prevee el punto de inflexión
- BR18= pendiente de la sigmoidal

Es decir, la fórmula es:

$$\%Ae_n = \%Ae_{2018} + (\%Ae_{2050} - \%Ae_{2018}) \times \frac{1}{1 + e^{\frac{-(n-i)}{m}}} \quad (4.4)$$

Donde:

- Ae= % altas del vehículo eléctrico
- Ae_{2050} = % altas del vehículo eléctrico objetivo establecido para 2050
- n= año n, para el cual se realiza el cálculo.
- i=punto de inflexión
- m= pendiente de la sigmoidal

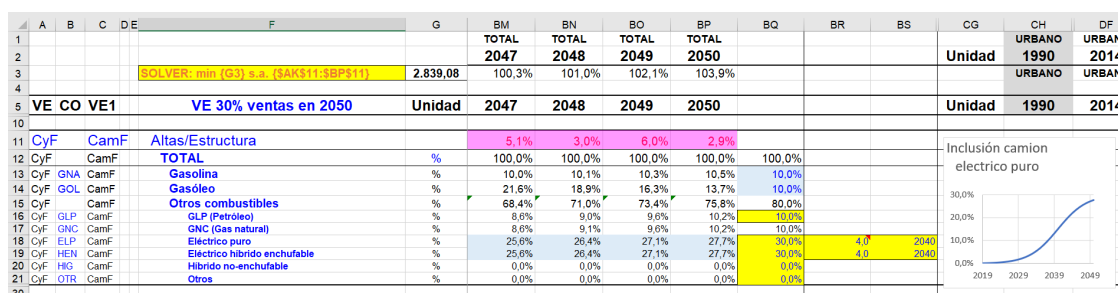


Figura 4.4: Pestaña Dat_Camfur, columnas BQ, BR y BS. Fuente: Propia.

Bajas

En esta parte de la pestaña (filas 31:41) se define el porcentaje del parque que se va dando de baja cada año. En principio, se establece un 1 % para todos los años como punto de partida para los vehículos diésel y de gasolina, y un porcentaje menor para otros combustibles que en años posteriores crecerá hasta el 1 %, por las razones ya explicadas en el *Capítulo 3, sección 3.3*. Se trata de una base a la que luego se le aplican otros factores para llegar a las bajas totales.

31				Bajas						
32				TOTAL	%					
33				Gasolina	%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%
34				Gasóleo	%	1,00%	1,00%	1,00%	1,0%	1,0%
35				Otros combustibles						
36				GLP (Petróleo)	%	0,20%	0,22%	0,24%	0,92%	1,00%
37				GNC (Gas natural)	%	0,20%	0,22%	0,24%	0,92%	1,00%
38				Eléctrico puro	%	0,01%	0,01%	0,02%	0,67%	0,87%
39				Eléctrico híbrido enchufable	%	0,01%	0,01%	0,02%	0,67%	0,87%
40				Híbrido no-enchufable	%	0,01%	0,01%	0,02%	0,67%	0,87%
41				Otros	%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%

Figura 4.5: Pestaña Dat_Camfur, bajas. *Fuente: Propia*

Efecto de la antigüedad en las bajas

Esta sección (filas 51:61) recoge el factor que permite distribuir las bajas del parque de manera que a mayor edad del parque, mayor el número de bajas. Se define un factor de corrección desde el año 1 hasta el año 35 de la vida del vehículo (columnas AH:BP). Para una explicación más detallada del proceso seguido para el cálculo de este factor, refiérase al *Capítulo 3, sección 3.3*.

51	CyF	CamF	Efecto antigüedad en bajas		1	2	3	4	5	10	22	30	35
52	CyF	CamF	TOTAL	pu									
53	CyF	GNA	Gasolina	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58
54	CyF	GOL	Gasóleo	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58
55	CyF	CamF	Otros combustibles										
56	CyF	GLP	GLP (Petróleo)	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58
57	CyF	GNC	GNC (Gas natural)	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58
58	CyF	ELP	Eléctrico puro	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58
59	CyF	HEH	Eléctrico híbrido enchufable	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58
60	CyF	HIG	Híbrido no-enchufable	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58
61	CyF	OTR	Otros	pu	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	2,53	6,44	7,75	4,58

Figura 4.6: Factor de corrección por edad del parque. Bajas. *Fuente: Propia*.

4.1.2. Recorrido

	Total Col. H:BP	Urbano Col. CH:EP	Carretera Col. FH:HP
 Referencia. Filas 111:121		15%	85%
 Recorrido año referencia. Filas 131:141			
 Efecto antigüedad en recorrido anual. Filas 151:161			
 Recorrido Total. Filas 171:181			
 Objetivo. Fila 182			
 Error. Fila 183			

Figura 4.7: Distribución de la sección *Recorrido*. Fuente: Propia.

Referencia

En las filas 111:121, se define un número base, el cual se multiplica posteriormente por varios factores que han sido explicados en el *Capítulo 3, sección 3.5* para obtener los kilómetros anuales medios que las fuentes oficiales indican que realizan los camiones y furgonetas españoles anualmente. Este valor es de 60.000 Gm/año recorridos por la totalidad del parque de vehículos pesados en 2018. El objetivo de nuestra herramienta es conseguir que este objetivo de giga metros se mantenga constante a lo largo de los años. El número base determinado para conseguir este objetivo, después de consultar varias fuentes y documentos oficiales como la DGT y un informe llevado a cabo por *Ecologistas En Acción* [23] es 26.500 kilómetros anuales, recorridos por un sólo vehículo pesado genérico, número recogido en la fila 112.

Este número de kilómetros se distribuye en las columnas CH:EP y FH:HP entre los kilómetros que se realizan en carretera y los que se realizan en ciudad. Tras consultar fuentes oficiales se estima que los vehículos pesados realizan aproximadamente un 15 % de sus kilómetros anuales en ciudad y un 85 % en carretera (recorridos rurales e interurbanos)[23] (Ver *Figura 4.2*). Por ello, el número base de

26.500 se ve reducido a 3.975 Km en ciudad para 2018 y a 22.525 Km en carretera, datos que la herramienta recoge en la fila 112, columnas DJ y GJ, respectivamente.

Además, en las filas 113:121, se establecen los factores ya explicados en el *Capítulo 3, sección 3.5*, que corrigen los kilómetros recorridos según el tipo de combustible o tecnología utilizada (Ver *Figura 4.9*).

105	VE	CO	VE1		Recorrido anual constante	Unidad	1990	2014	2015
110									
111	CyF		CamF						
112	CyF		CamF		REFERENCIA	km	26.500	26.500	26.500
113	CyF	GNA	CamF		Gasolina				
114	CyF	GOL	CamF		Gasóleo				
115	CyF		CamF		Otros combustibles				
116	CyF	GLP	CamF		GLP (Petróleo)				
117	CyF	GNC	CamF		GNC (Gas natural)				
118	CyF	ELP	CamF		Eléctrico puro				
119	CyF	HEN	CamF		Eléctrico híbrido enchufable				
120	CyF	HIG	CamF		Híbrido no-enchufable				
121	CyF	OTR	CamF		Otros				

Figura 4.8: Pestaña Dat_CamFur: Recorrido. Base de kilómetros anuales. *Fuente: Propia*

105	VE	CO	VE1		Recorrido anual constante	Unidad	2016	2017	2018	2019
110										
111	CyF		CamF				15,0%	15,0%	15,0%	10,2%
112	CyF		CamF		REFERENCIA	km	3.975	3.975	3.975	2.699
113	CyF	GNA	CamF		Gasolina		1,00	1,00	1,00	1,00
114	CyF	GOL	CamF		Gasóleo		1,00	1,00	1,00	1,00
115	CyF		CamF		Otros combustibles					
116	CyF	GLP	CamF		GLP (Petróleo)		1,00	1,00	1,00	1,00
117	CyF	GNC	CamF		GNC (Gas natural)		1,00	1,00	1,00	1,00
118	CyF	ELP	CamF		Eléctrico puro		0,80	0,80	0,80	0,81
119	CyF	HEN	CamF		Eléctrico híbrido enchufable		0,90	0,90	0,90	0,91
120	CyF	HIG	CamF		Híbrido no-enchufable		0,90	0,90	0,90	0,91
121	CyF	OTR	CamF		Otros		0,10	0,10	0,10	0,10

Figura 4.9: Porcentaje del recorrido anual en ciudad y factor corrección del recorrido anual para cada tipo de vehículo pesado. *Fuente: Propia*

Efecto de la antigüedad en el recorrido anual

En las filas 151:161 se recogen los factores calculados para introducir el efecto de la edad del parque en el recorrido anual, ya que, como se explicó en el *Capítulo 3, sección 3.5*, a medida que el parque va envejeciendo, los kilómetros que recorre anualmente son menores. El número base estimado de 26.500 km se multiplica por

4.1.3. Consumo

	Total Col. H:BP	Urbano Col. CH:EP	Carretera Col. FH:HP
 Evolución. Filas 211:221		0,995	0,995
 Media. Filas 231:241			
 Efecto antigüedad en consumo anual. Filas 251:261			
 Consumo T2W. Filas 271:281			
 Objetivo. Fila 282			
 Error. Fila 283			

Figura 4.12: Distribución de la sección *Consumo*. Fuente: Propia.

Evolución

En primer lugar, se define en las filas 211:221 un factor que establece que los vehículos consumirán un 0,5 % menos por cada año que pase, debido a la mejora en las tecnologías utilizadas. Este factor, por tanto, es 0,995 y será por el cual se multiplique o divida el consumo del año anterior al cual queremos calcular, tomando como base el consumo de 2018.

	A	B	C	DE	F	G	DH	DI	DJ	DK	DL
205	VE	CO	VE1		Ecs base	Unidad	2016	2017	2018	2019	2020
210											
211	CyF		CamF								
212	CyF		CamF		Evolución		0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
213	CyF	GNA	CamF		Gasolina		0,995	0,995		0,995	0,995
214	CyF	GOL	CamF		Gasóleo		0,995	0,995		0,995	0,995
215	CyF		CamF		Otros combustibles						
216	CyF	GLP	CamF		GLP (Petróleo)		0,995	0,995		0,995	0,995
217	CyF	GNC	CamF		GNC (Gas natural)		0,995	0,995		0,995	0,995
218	CyF	ELP	CamF		Eléctrico puro		0,995	0,995		0,995	0,995
219	CyF	HEN	CamF		Eléctrico híbrido enchufable		0,995	0,995		0,995	0,995
220	CyF	HIG	CamF		Híbrido no-enchufable		0,995	0,995		0,995	0,995
221	CyF	OTR	CamF		Otros		0,995	0,995		0,995	0,995
230											

Figura 4.13: Pestaña Dat_CamFur: factor evolución consumo. Fuente: Propia

Media

Se establece el consumo medio en carretera de vehículos pesados por cada 100 km para el año 2018 en la columna GJ, filas 233:241. El consumo medio de cada tipo de vehículo pesado (diésel, gasolina, GLP, GNC y eléctricos) para el año 2018 se determina mediante el estudio de fuentes oficiales y datos históricos. La explicación de cómo se obtienen los consumos medios para cada tipo de vehículo pesado se puede encontrar en el *Capítulo 3, sección 3.5*.

231	CyF	CamF											
232	CyF	CamF	MEDIA	<Wh/100 km									
233	CyF	GNA	Gasolina	kWh/100 km	327,94	326,30	324,67	323,05	321,43	319,83	318,23		
234	CyF	GOL	Gasóleo	kWh/100 km	364,54	362,72	360,90	359,10	357,30	355,52	353,74		
235	CyF	CamF	Otros combustibles	kWh/100 km									
236	CyF	GLP	GLP (Petróleo)	kWh/100 km	436,52	434,33	432,16	430,00	427,85	425,71	423,58		
237	CyF	GNC	GNC (Gas natural)	kWh/100 km	355,30	353,53	351,76	350,00	348,25	346,51	344,78		
238	CyF	ELP	Eléctrico puro	kWh/100 km	152,27	151,51	150,75	150,00	149,25	148,50	147,76		
239	CyF	HEN	Eléctrico híbrido enchufable	kWh/100 km	304,55	303,02	301,51	300,00	298,50	297,01	295,52		
240	CyF	HIG	Híbrido no-enchufable	kWh/100 km	304,55	303,02	301,51	300,00	298,50	297,01	295,52		
241	CyF	OTR	Otros	kWh/100 km	335,00	333,32	331,66	330,00	328,35	326,71	325,07		

Figura 4.14: Pestaña Dat_CamFur: Media consumo *Fuente: Propia*

Una vez calculado el consumo en carretera para el año 2018, se considera que el consumo en ciudad será algo mayor en el caso de los camiones con motor de combustión y menor en el caso de los camiones eléctricos o híbridos. Por ello, se multiplican los valores de consumo en carretera por un factor de corrección (1,25 ó 0,5 para los eléctricos) y así se obtiene el consumo en ciudad para este mismo año (columna DJ).

Para el año 2017, dividimos el valor calculado para el consumo de 2018 entre el factor de corrección definido en la sección “Evolución”, es decir, por 0,995. Para el año 2016 seguimos el mismo procedimiento pero tomando como base el valor de consumo calculado para 2017, y así sucesivamente para los años anteriores a 2018. Para los años posteriores, seguimos el mismo procedimiento pero en vez de dividir, multiplicamos el valor del año anterior por 0,995. Todos estos cálculos resultan en los valores mostrados en la *Figura 4.14* en las filas 233:241.

Efecto de la antigüedad en el consumo anual

Al igual que en el caso de la distancia anual que recorren los camiones y furgonetas, el consumo también se ve afectado por la antigüedad del vehículo. Por ello, como ya se mencionó en el anterior capítulo, se añade un factor de corrección para el cálculo del consumo total, factor definido en las filas 251:261 de la *Figura 4.15*.

4.1. Pestaña DAT_CAMFUR

251	CyF	CamF	Efecto antigüedad en consumo anual		1	5	10	20	30	35	
252	CyF	CamF	REFERENCIA	pu							
253	CyF	GNA	CamF	Gasolina	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
254	CyF	GOL	CamF	Gasóleo	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
255	CyF	CamF	Otros combustibles								
256	CyF	GLP	CamF	GLP (Petróleo)	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
257	CyF	GNC	CamF	GNC (Gas natural)	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
258	CyF	ELP	CamF	Eléctrico puro	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
259	CyF	HEN	CamF	Eléctrico híbrido enchufable	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
260	CyF	HIG	CamF	Híbrido no-enchufable	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
261	CyF	OTR	CamF	Otros	pu	1,00	1,01	1,02	1,05	1,08	1,10
270											

Figura 4.15: Pestaña Dat_CamFur: Efecto edad del parque en el consumo *Fuente: Propia*

Consumo T2W

En esta se recoge el resultado total del consumo para cada año para la totalidad del parque calculado en la pestaña CamFur_kwhAÑO con todos los datos anteriores y el parque previsto para cada año. El mecanismo seguido para este cálculo se explicará en la sección dedicada a esta pestaña. Los resultados se pueden observar en las filas 271:281 de la siguiente *Figura 4.16*.

271	CyF	CamF	Consumo T2W	TOTAL						
272	CyF	CamF	TOTAL	GWh/año	225.635	225.364	223.464	220.829	221.312	
273	CyF	GNA	CamF	Gasolina	GWh/año	11.417	12.382	13.071	13.704	14.726
274	CyF	GOL	CamF	Gasóleo	GWh/año	212.499	210.782	207.629	203.651	202.178
275	CyF		CamF	Otros combustibles	GWh/año	1.719	2.200	2.763	3.473	4.407
276	CyF	GLP	CamF	GLP (Petróleo)	GWh/año	376	661	984	1.365	1.861
277	CyF	GNC	CamF	GNC (Gas natural)	GWh/año	1.264	1.440	1.660	1.961	2.358
278	CyF	ELP	CamF	Eléctrico puro	GWh/año	14	20	26	34	45
279	CyF	HEN	CamF	Eléctrico híbrido enchufable	GWh/año	44	58	73	92	121
280	CyF	HIG	CamF	Híbrido no-enchufable	GWh/año	20	20	21	21	22
281	CyF	OTR	CamF	Otros	GWh/año	0	0	0	0	0

Figura 4.16: Pestaña Dat_CamFur: Consumo total *Fuente: Propia*

4.1.4. Emisiones CO₂, NO_x y PM_x

	Total Col. H:BP	Urbano Col. CH:EP	Carretera Col. FH:HP
 Evolución. Filas 311:321		0,985	0,985
 Media (base). Filas 331:341		Base carretera X factor	Año referencia: 2018
 Corrección antigüedad. Filas 351:361			
 Emisiones totales CO ₂ . Filas 371:381			
 Objetivo. Fila 382			
 Error. Fila 383			

Figura 4.17: Distribución de la sección *Emisiones CO₂*. Fuente: Propia.

La herramienta consta de secciones diferentes para cada tipo de emisión. En esta pestaña, de la fila 303 a la 383 se recoge la información para las emisiones de CO₂, de la 403 a la 483, las de NO_x y de la 503 a la 583, la de las partículas.

Todas estas secciones siguen el mismo procedimiento y recogen el mismo tipo de datos, por lo que sólo se explicará en detalle una de ellas.

Evolución

Al igual que con el consumo, se define en las filas 311:321 un factor de corrección para más adelante calcular la media de emisiones para cada año, teniendo como referencia el año 2018 (*Figura 4.18*). Se ha establecido en 0,98 para las emisiones de CO₂, mientras que para el NO_x y las partículas se define este factor como 0,880 para años anteriores a 2018 y como 0,90-0,97 para años posteriores. La explicación de la obtención de estos factores se recoge en el *Capítulo 3, sección 3.5*.

308	VE	CO	VE1	Ecs base	Unidad	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
310													
311	CyF		CamF										
312	CyF		CamF	Evolución		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
313	CyF	GNA	CamF	Gasolina		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
314	CyF	GOL	CamF	Gasóleo		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
315	CyF		CamF	Otros combustibles									
316	CyF	GLP	CamF	GLP (Petróleo)		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
317	CyF	GNC	CamF	GNC (Gas natural)		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
318	CyF	ELP	CamF	Eléctrico puro		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
319	CyF	HEN	CamF	Eléctrico híbrido enchufable		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
320	CyF	HIG	CamF	Híbrido no-enchufable		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
321	CyF	OTR	CamF	Otros		0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980

Figura 4.18: Factor de evolución de las emisiones con los años. *Fuente: Propia.*

Se establecen las emisiones de CO2 en g/kWh para el año 2018 en la columna GJ, filas 333:341 de la *Figura 4.19*. La obtención de estas emisiones medias se detalla en el *Capítulo 3, sección 3.5*. Se consideran que las emisiones son las mismas en carretera que en ciudad, aunque las de NOx, por ejemplo, tengan más relevancia en ciudad que en carretera.

Una vez establecidas las emisiones medias para el año 2018, se calculan las de los años anteriores y posteriores de la misma manera que el consumo. Para el año 2017, dividimos el valor calculado para el consumo de 2018 entre el factor de corrección definido en la sección “Evolución”. Para el año 2016 seguimos el mismo procedimiento pero tomando como base el valor de consumo calculado para 2017, y así sucesivamente para los años anteriores a 2018. Para los años posteriores, seguimos el mismo procedimiento pero en vez de dividir, multiplicamos el valor del año anterior por el factor.

331	CyF		CamF										
332	CyF		CamF	Evolución									
333	CyF	GNA	CamF	Gasolina		128.53	125.96	123.44	120.97	118.55	116.18	113.85	
334	CyF	GOL	CamF	Gasóleo		144.41	141.52	138.69	135.92	133.20	130.54	127.93	
335	CyF		CamF	Otros combustibles					1.12				
336	CyF	GLP	CamF	GLP (Petróleo)		100.94	98.92	96.94	95.00	93.10	91.24	89.41	
337	CyF	GNC	CamF	GNC (Gas natural)		148.75	145.77	142.86	140.00	137.20	134.46	131.77	
338	CyF	ELP	CamF	Eléctrico puro		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
339	CyF	HEN	CamF	Eléctrico híbrido enchufable		210.37	206.16	202.04	198.00	194.04	190.16	186.36	
340	CyF	HIG	CamF	Híbrido no-enchufable		128.53	125.96	123.44	120.97	118.55	116.18	113.85	
341	CyF	OTR	CamF	Otros		128.53	125.96	123.44	120.97	118.55	116.18	113.85	

Figura 4.19: Dat_CamFur: Media emisiones. *Fuente: Propia.*

Corrección por antigüedad

Por las mismas razones que se han explicado en el consumo, los vehículos más antiguos suelen tener unas emisiones más elevadas. Para reflejar esto en las emisiones totales, se hace uso de un factor de corrección (filas 351:361), cuyo cálculo se detalla en el *Capítulo 3, sección 3.5*.

CAPÍTULO 4. HERRAMIENTA DE EXCEL

351	CyF	CamF	Corrección atigüedad			1	2	3	4	5	6
352	CyF	CamF	Evolución	pu							
353	CyF	GNA	Gasolina	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
354	CyF	GOL	Gasóleo	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
355	CyF	CamF	Otros combustibles								
356	CyF	GLP	GLP (Petróleo)	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
357	CyF	GNC	GNC (Gas natural)	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
358	CyF	ELP	Eléctrico puro	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
359	CyF	HEN	Eléctrico híbrido enchufable	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
360	CyF	HIG	Híbrido no-enchufable	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
361	CyF	OTR	Otros	pu		1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05

Figura 4.20: Dat_CamFur: Factores de corrección según la antigüedad del parque para las emisiones *Fuente: Propia*

Emisiones finales

En esta sección se recoge el resultado total de las emisiones para la totalidad del parque calculado en la pestaña CamFur.CO2AÑO con todos los datos anteriores y el parque previsto para cada año, valores recogidos en las filas 372:381 de la *Figura 4.21*. El mecanismo seguido para este cálculo se explicará en la sección dedicada a esta pestaña.

	A	B	C	D	E	F	G	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ
1															
2															
3															
4						Emisiones CO2		TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
5	VE	CO	VE1			Ecs base	Unidad	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
101	CyF	CamF				Emisiones CO2	TOTAL								
102	CyF	CamF				Evolución	CO2(kt/año)	41.142,24	40.372,55	38.432,83	37.131,86	35.994,59	34.697,01	33.596,49	32.371,45
103	CyF	GNA	CamF			Gasolina	CO2(kt/año)	1.584,76	1.584,35	1.582,88	1.531,56	1.682,99	1.703,13	1.737,96	1.771,13
104	CyF	GOL	CamF			Gasóleo	CO2(kt/año)	39.435,16	38.610,92	36.663,19	35.267,28	34.034,15	32.653,82	31.450,04	30.103,96
105	CyF	CamF				Otros combustibles	CO2(kt/año)	122,32	167,28	186,77	233,02	277,45	340,06	408,48	496,36
106	CyF	GLP	CamF			GLP (Petróleo)	CO2(kt/año)	7,39	12,15	16,75	29,96	44,16	63,56	83,98	109,60
107	CyF	GNC	CamF			GNC (Gas natural)	CO2(kt/año)	107,96	138,89	144,80	163,84	180,94	207,58	240,16	280,12
108	CyF	ELP	CamF			Eléctrico puro	CO2(kt/año)	1,38	4,75	8,39	13,58	18,25	24,25	29,24	36,37
109	CyF	HEN	CamF			Eléctrico híbrido enchufable	CO2(kt/año)	3,94	9,23	14,45	23,18	31,61	42,15	52,46	67,56
110	CyF	HIG	CamF			Híbrido no-enchufable	CO2(kt/año)	1,64	2,26	2,38	2,48	2,50	2,52	2,64	2,71
111	CyF	OTR	CamF			Otros	CO2(kt/año)								

Figura 4.21: Dat_CamFur: Emisiones finales. *Fuente: Propia*

4.1.5. Objetivo y error

Para la determinación de resultados, se supone el recorrido anual del parque de vehículos pesados constante, es decir, suponemos que los vehículos pesados de 2050 realizarán los mismos kilómetros anuales que los vehículos pesados actuales (2018). El objetivo se establece en 60.000 Gm/año a realizar por la totalidad del parque de vehículos pesados.

La herramienta utiliza *Solver* para minimizar el error entre el objetivo de 60.000 Gm/año y los kilómetros estimados anualmente a partir de 2018, teniendo en cuenta otros factores como la distribución del parque, el consumo y las emisiones.

4.2. Pestaña DAT0_PARQUE

	1990 Col. H	...	2050 Col. BP
 Total. Filas 11:28			
 Camiones y Furgonetas. Filas 31:48			
 Autobuses. Filas 51:68			
 Turismos. Filas 71:88			
 Motocicletas. Filas 91:108			
 Tractores Industriales. Filas 111:128			
... <u>Otros Vehículos. Filas 131:148</u>			

Figura 4.22: Distribución de la pestaña DAT0_PARQUE. *Fuente: Propia*

En esta pestaña se incluyen los datos históricos de parque de todo tipo de vehículos para antes del 2018, información que se obtiene de la DGT [37]. Además, obtiene información de la pestaña CamFur_ParAÑO, donde se calcula el número de cada tipo de vehículo pesado, según el combustible, que se prevé tener para los años posteriores a 2018, basándose en la información histórica de los años anteriores y la optimización realizada por *Solver* para conseguir el objetivo constante de 60.000 Gm/año recorridos por la totalidad del parque.

[illegible]

4.3. Pestaña CAMFUR_PARAÑO

CamFur_ParAÑO		1990	...	2050	% alta deseado 2050 Col. BQ
		Col. H	...	Col. BP	
	Porcentaje Altas/Estructura. Filas 3:61				
	Bajas. Filas 103:183				
	Efecto antigüedad en bajas. Filas 203:283				
	Total Altas/Estructura. Filas 303:383				
	Altas por año de matriculación. Filas 403:483				
	Altas por tipo de combustible/tecnología. Gasolina, Gasóleo y Otros Combustibles. Filas 1388:2250				

80

4.3. Pestaña CAMFUR_PARAÑO

En las filas 10:61 de esta pestaña se recogen los datos del porcentaje de altas de cada tipo de vehículo, es decir, la distribución del parque a lo largo de los años; el porcentaje de bajas del parque con respecto al parque del año anterior y el efecto de antigüedad en las bajas. Estos datos ya se establecieron y explicaron en la pestaña Dat_CAMFUR.

	A	B	C	D	E	F	G	H	IF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11	CyF	CamF																		
12	CyF	CamF																		
13	CyF	GNA	CamF																	
14	CyF	GDL	CamF																	
15	CyF		CamF																	
16	CyF	GLP	CamF																	
17	CyF	GNC	CamF																	
18	CyF	ELP	CamF																	
19	CyF	HEV	CamF																	
20	CyF	HEV	CamF																	
21	CyF	OTR	CamF																	
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				
31																				
32																				
33																				
34																				
35																				
36																				
37																				
38																				
39																				
40																				
41																				
42																				
43																				
44																				
45																				
46																				
47																				
48																				
49																				
50																				
51	CyF	CamF																		
52	CyF	CamF																		
53	CyF	GNA	CamF																	
54	CyF	GDL	CamF																	
55	CyF		CamF																	
56	CyF	GLP	CamF																	
57	CyF	GNC	CamF																	
58	CyF	ELP	CamF																	
59	CyF	HEV	CamF																	
60	CyF	HEV	CamF																	
61	CyF	OTR	CamF																	
62																				
63																				

Figura 4.25: Pestaña CAMFUR_PARAÑO, datos de distribución del parque, bajas y efecto de antigüedad. *Fuente: Propia.*

A partir de esta información, en las filas 121:1331, se calcula año a año el número de vehículos de cada tipo de combustible matriculados en cierto año que habrá en cada uno de los años de 2019 a 2050. Es decir, por ejemplo, en las filas 141:151, se calcula cuántos vehículos pesados de cada tipo de combustible matriculados en 1991 seguirán formando parte del parque en 2019, 2020,..., 2050. Las columnas H:AJ, recogen los datos históricos, obtenidos de la DGT a partir de los cuales se pueden estimar los datos de años posteriores a 2018 [37].

Para una mejor interpretación de los datos históricos, se calcula el porcentaje del parque matriculado en cierto año que permanece en circulación en cierto año con respecto al año anterior. Se trata de los factores que aparecen en negrita en la *Figura 4.26* en las filas 121, 141 y 161.

CAPÍTULO 4. HERRAMIENTA DE EXCEL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
32																					
33																					
34																					
35																					
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					
48																					
49																					
50																					
51																					
52																					
53																					
54																					
55																					
56																					
57																					
58																					
59																					
60																					
61																					
62																					
63																					
64																					
65																					
66																					
67																					
68																					
69																					
70																					
71																					
72																					
73																					
74																					
75																					
76																					
77																					
78																					
79																					
80																					

Figura 4.26: Número de vehículos por tipo de combustible según el año de matriculación para cada año. Pestaña CAMFUR_PARAÑO. *Fuente: Propia*

Posteriormente, en las filas 403:483, se calcula el parque matriculado en cierto año que permanecerá en circulación en otro determinado año, tomando el valor del parque del año anterior y multiplicándolo por el 1 % establecido para las bajas y el factor de corrección de antigüedad considerando en qué año se matriculó el vehículo y para qué año se está calculando, es decir, considerando su antigüedad en el año para el cual se está calculando el parque.

La fórmula de este cálculo es la siguiente:

$$\text{parque año}_n = \text{parque año}_{(n-1)} \times (1 - 0,01 \times \text{factor de corrección por antigüedad}) \quad (4.5)$$

En Excel, la fórmula exacta es:

$$AK123=AJ123*(1-AK\$33*@INDICE(\$AH\$51:\$BP\$61;COINCIDIR(\$B123;\$B\$51:\$B\$61;0);MIN(AK\$5-\$D123+1;35)))$$

Siendo:

- AK123= parque año n
- AJ123= parque año n-1
- AK33= 1 % de bajas ó 0,01
- AH51:BP61= matriz donde se encuentran recogidos todos los factores de corrección según la antigüedad, de 1 a 35 años y para todos los tipos de combustibles.
- B123= código que define el tipo de combustible utilizado por el parque para el cual estamos calculando el número de vehículos.

- B51:B61= fila donde se definen los códigos de combustible para la matriz que recoge los factores de corrección según la antigüedad.
- AK5= año para el cual estamos calculando el parque.
- D123= año de matriculación del parque que queremos calcular.

La función @INDICE busca en la matriz de factores de corrección según la antigüedad, aquel valor que coincida con el tipo de combustible para el cual se está calculando el número de vehículos (función COINCIDIR) y con la antigüedad del parque para el cual se están haciendo los cálculos (función MIN). La función COINCIDIR establece un cero si no se encuentran coincidencias de tipo de combustible. La función MIN, establece que se utilice el valor correspondiente a la antigüedad del parque (año en el que se calcula el parque menos año en el que fue matriculado, más uno), o, si esta antigüedad fuese superior a 35 años, que se utilice el factor de corrección definido para el parque de 35 años de antigüedad. Esto se debe a que sólo hemos establecido factores para vehículos de 1 a 35 años de antigüedad. El "más uno" de la función MIN se debe a que un vehículo matriculado en 1990, a finales de 1990 tiene un año de antigüedad (y no cero como daría la resta 1990-1990) y por tanto le corresponde el factor de corrección de antigüedad de un año.

Además, una vez que se ha calculado la evolución del parque según el año de matriculación, se recoge en las filas 101:111 la distribución del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible o tecnología, expresado en número de vehículos, total. Esto se consigue sumando todos los datos calculados para cada año de matriculación para cada uno de los años (1990 a 2050).

	A	B	C	D	E	F	G	H	AI	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
1																			
2																			
3																			
4																			
5	VE	CO	VE1			VE 80% ventas en 2050	Unidad	1990	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
6	CyF	CamF				Altas/Estructura	TOTAL		4.639.494	4.651.570	4.679.480	4.704.476	4.739.971	5.123.994	5.096.522	5.125.660	5.219.477	5.222.115	5.306.244
7	CyF	CamF				TOTAL	#		576.215	503.720	456.459	403.709	466.576	504.232	503.469	503.798	523.789	530.032	543.732
8	CyF	GNA	CamF			Gasolina	#		4.321.086	4.343.595	4.378.193	4.426.541	4.478.050	4.603.134	4.573.482	4.593.193	4.665.718	4.666.160	4.716.792
9	CyF	GOL	CamF			Gasóleo	#		3.163	4.205	5.023	5.227	13.696	16.628	16.551	22.668	29.963	35.524	45.715
10	CyF	CamF				Otros combustibles	#		195	210	291	411	694	1.059	2.495	4.395	7.531	10.232	14.648
11	CyF	GLP	CamF			GLP (propano)	#		3.005	3.919	5.334	7.438	12.448	13.834	14.801	16.794	20.319	23.129	27.749
12	CyF	GNC	CamF			GNC (Gas natural)	#		6	22	34	62	184	337	485	657	891	1.007	1.364
13	CyF	ELP	CamF			Eléctrico puro	#		6	27	76	166	286	459	549	710	978	1.193	1.578
14	CyF	HEN	CamF			Eléctrico híbrido enchufable	#		6	27	76	166	286	459	549	710	978	1.193	1.578
15	CyF	HG	CamF			Híbrido no-enchufable	#		6	27	76	166	286	459	549	710	978	1.193	1.578
16	CyF	OTR	CamF			Otros	#		6	27	76	166	286	459	549	710	978	1.193	1.578
17																			

Figura 4.27: Distribución del parque de camiones y furgonetas por tipo de combustible para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_PARAÑO. Fuente: Propia.

Por último, se hace una redistribución de los valores calculados anteriormente siguiendo otro criterio de agrupación. Este criterio es el de tipo de combustible. Para los años 2019-2050 se busca en las filas 121:1340 los valores que coincidan

CAPÍTULO 4. HERRAMIENTA DE EXCEL

con el año de matriculación para el que se esté calculando el parque y que utilice el combustible correspondiente. Para ello se utiliza la fórmula:

$@INDICE(AK\$121:AK\$1340;$
 $COINCIDIR(\$G1390;\$G\$121:\$G\$1340;0)+\$A1390)$

La función INDICE, como ya hemos explicado, busca en una matriz de valores aquellos que coincidan con las especificaciones establecidas por la función COINCIDIR. En este caso la función COINCIDIR establece que se tomen aquellos valores de la matriz que coincidan con el año de matriculación para el que se está calculando el parque según el combustible.

Para los años anteriores a 1919, se toman los datos de un fichero llamado *Dat_0 Antig.xls*, que recoge los datos históricos de la DGT en materia de número de vehículos por año de matriculación y tipo de combustible.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U			
1																								
2																								
3																								
4																								
5		VE	CO	VE1		VE 80% ventas en 2050	Unidad	1990	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1417																								
1418	CyP					Parque anual																		
1419						Gasóleo	4																	
1420	3 GDL					1990																		
1421	3 GDL					1991																		
1422	3 GDL					1992																		
1423	3 GDL					1993																		
1424	3 GDL					1994																		
1425	3 GDL					1995																		
1426	3 GDL					1996																		
1427	3 GDL					1997																		
1428	3 GDL					1998																		
1429	3 GDL					1999																		
1430	3 GDL					2000																		
1431	3 GDL					2001																		
1432	3 GDL					2002																		
1433	3 GDL					2003																		
1434	3 GDL					2004																		
1435	3 GDL					2005																		
1436	3 GDL					2006																		
1437	3 GDL					2007																		
1438	3 GDL					2008																		
1439	3 GDL					2009																		
1440	3 GDL					2010																		
1441	3 GDL					2011																		
1442	3 GDL					2012																		
1443	3 GDL					2013																		
1444	3 GDL					2014																		
1445	3 GDL					2015																		
1446	3 GDL					2016																		
1447	3 GDL					2017																		
1448	3 GDL					2018																		
1449	3 GDL					2019																		
1450	3 GDL					2020																		
1451	3 GDL					2021																		
1452	3 GDL					2022																		
1453	3 GDL					2023																		
1454	3 GDL					2024																		

Figura 4.28: Distribución del parque de camiones y furgonetas de gasóleo según el año de matriculación. Pestaña CAMFUR.PARAÑO. *Fuente: Propia*

4.4. Pestaña CAMFUR_KMAÑO

En esta pestaña se calculan los kilómetros recorridos anualmente por la totalidad del parque según el tipo de combustible, teniendo en cuenta la base de Gm anuales que hemos establecido como objetivo constante, el efecto de la antigüedad del parque en los kilómetros que realiza, la repartición de kilómetros en ciudad y carretera y el parque de cada año.

CamFur_kmAÑO		Total Col. H:BP	Urbano Col. CH:EP & IH:KP	Carretera Col. FH:HP & LH:NP
	Referencia. Filas 11:21			
	Recorrido año de referencia. Filas 31:41			
	Corrección antigüedad. Filas 51:61			
	Recorrido total. Filas 101:111			
	Recorrido anual por año matriculación. Filas 121:1331			
	Recorrido anual Gasolina. Filas 1388:1450			
	Recorrido anual Gasóleo. Filas 1488:1550			
	Recorrido anual Otros Combustibles. Filas 1588:2250			

Figura 4.29: Distribución de la pestaña CamFur_kmAÑO. *Fuente: Propia*

En las primeras filas de esta pestaña (11:61) también se recogen los datos ya establecidos en la pestaña Dat_CamFur, los 26.500 kilómetros que establecimos como referencia, el reparto de los kilómetros entre ciudad y carretera y el efecto de la antigüedad de los vehículos en los kilómetros que recorren anualmente (Ver Figuras 4.8, 4.9 y 4.10).

Para todos los cálculos de este modelo, se supone que el recorrido anual de los vehículos pesados permanecerá constante. Es decir, el objetivo es mantener el número de kilómetros que realizan los vehículos pesados anualmente en 60.000 Gm/año para todos y cada uno de los años desde 2019 a 2050.

Como ya ha sido explicado anteriormente, se establece que el 15 % de los kilómetros que realizan los vehículos pesados lo hacen en ciudad y el otro 85 % los realizan en carretera. Además, se supone que los vehículos eléctricos e híbridos realizarán menos kilómetros que los convencionales, los GLP y los GNC. Esto se consigue definiendo un factor (1 ó 0,80) por el cual se multiplica la referencia de kilómetros para llegar a un valor más exacto para cada tipo de vehículo.

Los vehículos nuevos realizan más kilómetros de media que los antiguos, por lo que se necesita un factor de corrección para la base de kilómetros que tenga en cuenta la antigüedad del vehículo para el cálculo de los kilómetros que este realiza.

Una vez establecidos los datos, se calculan los kilómetros recorridos anualmente por cada tipo de vehículo pesado matriculado en un año específico, en cada uno de los años posteriores a su matriculación. Por ejemplo, se calculan los Gm recorridos por los vehículos pesados matriculados en 1990 en los años 1991, 1992,..., 2050. Para los años 1990-2018, no se estiman estos kilómetros recorridos si no que se basan en los datos históricos conocidos del parque y el dato de recorrido anual.

Para ello, en primer lugar, se multiplica la base de kilómetros por el porcentaje para ciudad o carretera y, a su vez, por el factor definido para cada tipo de vehículo. Así, se obtiene la referencia de kilómetros para cada año y cada tipo de vehículo en ciudad o en carretera. Para los años 2019-2050, el porcentaje de kilómetros con respecto a la base establecida que van a realizar los vehículos, es calculado por el *Solver* en su intento de minimizar el error con respecto al objetivo. De ahí que no sea exactamente 15 % o 85 %.

Una vez hecha esta primera corrección, se calcula el número total de Gm recorridos al año por el conjunto del parque de vehículos pesados según el año de matriculación para cada uno de los años 1990-2050 (filas 121:1331). Este valor se obtiene mediante la multiplicación del parque matriculado en el año en cuestión que permanece en circulación en el año en el que se hacen los cálculos, por el recorrido anual medio establecido para el parque matriculado en dicho año y para el año en el que se hacen los cálculos. Este recorrido anual medio se consigue multiplicando la base establecida por el factor de corrección según la antigüedad del parque. El recorrido total calculado se trata, en realidad, de una media entre el valor del año en el que se calcula y el año anterior. Esta media sirve para dar continuidad y que no haya saltos en los valores calculados. Los vehículos en realidad van entrando en el parque a lo largo del año de una manera más o menos uniforme. Con esta media lo que suponemos es que la mitad de los coches son del año anterior y están disponibles todo el año actual y la otra mitad son del año

actual y sólo se tienen disponibles para la segunda mitad del año actual a calcular.

La fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$Gm_{n,m,t} = 10^{-6} \times \frac{p_{n,m,(t-1)} \times r_{n,m,(t-1)} + p_{n,m,t} \times r_{n,m,t}}{2} \quad (4.6)$$

Siendo:

- n: año de matriculación
- m: tipo de combustible o tecnología utilizada
- t: año para el cual se hacen los cálculos
- 10^{-6} : conversión de Km a Gm
- Gm: gigametros recorridos por el parque de vehículos pesados matriculados en año n, de tipo de combustible m en el año t.
- p: parque de vehículos pesados
- r: media de kilómetros realizados por un vehículo pesado

En Excel, la fórmula se define como:

$$DI243 = 10^{-6} \times \frac{CamFur_{ParAÑO!AH243} \times JH243 + CamFur_{ParAÑO!AI243} \times JI243}{2} \quad (4.7)$$

Siendo:

- DI243= Gm recorridos por un parque vehículos n,m en un año t
- CamFur_ParAÑO!AH243= parque año t-1
- CamFur_ParAÑO!AI243= parque año t
- JH243= media de kilómetros realizados por un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t-1.
- JI243= media de kilómetros realizados por un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t.

CAPÍTULO 4. HERRAMIENTA DE EXCEL

Estas dos últimas medias, se calculan al multiplicar la referencia de kilómetros que obtuvimos de multiplicar la base por el factor de corrección según el tipo de combustible y el porcentaje correspondiente a ciudad o carretera, por el factor de corrección por antigüedad correspondiente. Esta multiplicación se realiza, al igual que en la pestaña anterior, mediante la búsqueda del valor correspondiente en la matriz de factores de corrección por antigüedad.

	A	B	C	D	E	F	G	H	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6	VE	CO	VE1			Recorrido anual constante	Unidad	1990	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
541	CyF	CamF				Recorrido anual	2011											
542	CyF	CamF	2011			REFERENCIA	Gm/año											
543	CyF	GNA	CamF	2011		Gasolina	Gm/año		44	76	62	62	61	59	50	41	40	38
544	CyF	GOL	CamF	2011		Gasóleo	Gm/año		1,571	2,669	2,181	2,152	2,124	2,091	1,761	1,430	1,391	1,353
545	CyF	CamF	2011			Otros combustibles	Gm/año		4	8	5	5	5	6	5	4	4	4
546	CyF	GLP	CamF	2011		GLP (Petróleo)	Gm/año		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
547	CyF	GNC	CamF	2011		GNC (Gas natural)	Gm/año		3	6	5	5	5	5	4	4	4	3
548	CyF	ELP	CamF	2011		Eléctrico puro	Gm/año											
549	CyF	HEN	CamF	2011		Eléctrico híbrido enchufable	Gm/año											
550	CyF	HIG	CamF	2011		Híbrido no-enchufable	Gm/año											
551	CyF	OTR	CamF	2011		Otros	Gm/año											
561	CyF	CamF				Recorrido anual	2012											
562	CyF	CamF	2012			REFERENCIA	Gm/año											
563	CyF	GNA	CamF	2012		Gasolina	Gm/año		37	73	62	50	49	48	47	40	32	32
564	CyF	GOL	CamF	2012		Gasóleo	Gm/año		1,146	2,280	1,922	1,905	1,844	1,821	1,495	1,259	1,022	995
565	CyF	CamF	2012			Otros combustibles	Gm/año		4	8	7	5	6	6	5	4	4	4
566	CyF	GLP	CamF	2012		GLP (Petróleo)	Gm/año		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
567	CyF	GNC	CamF	2012		GNC (Gas natural)	Gm/año		4	8	6	5	5	6	6	5	4	4
568	CyF	ELP	CamF	2012		Eléctrico puro	Gm/año											
569	CyF	HEN	CamF	2012		Eléctrico híbrido enchufable	Gm/año											
570	CyF	HIG	CamF	2012		Híbrido no-enchufable	Gm/año											
571	CyF	OTR	CamF	2012		Otros	Gm/año											
581	CyF	CamF				Recorrido anual	2013											
582	CyF	CamF	2013			REFERENCIA	Gm/año											
583	CyF	GNA	CamF	2013		Gasolina	Gm/año		34	67	66	56	45	44	43	43	36	29
584	CyF	GOL	CamF	2013		Gasóleo	Gm/año		1,166	2,313	2,277	1,917	1,565	1,544	1,520	1,493	1,258	1,022
585	CyF	CamF	2013			Otros combustibles	Gm/año		4	8	8	7	6	7	7	7	6	5
586	CyF	GLP	CamF	2013		GLP (Petróleo)	Gm/año		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
587	CyF	GNC	CamF	2013		GNC (Gas natural)	Gm/año		4	8	8	7	6	6	6	6	5	4
588	CyF	ELP	CamF	2013		Eléctrico puro	Gm/año											
589	CyF	HEN	CamF	2013		Eléctrico híbrido enchufable	Gm/año											
590	CyF	HIG	CamF	2013		Híbrido no-enchufable	Gm/año											
591	CyF	OTR	CamF	2013		Otros	Gm/año											

Figura 4.30: Gm recorridos anualmente por los vehículos pesados según su año de matriculación para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KMAÑO Fuente: Propia.

Una vez calculados los kilómetros que recorrerán cada tipo de vehículo pesado matriculado en un año específico en otro año diferente, se calculan los kilómetros totales realizados por todo el parque en cada año, sin importar el año de matriculación, según el tipo de combustible o tecnología. Esto se realiza mediante una suma de todos los años de matriculación en las filas 101:111.

4.4. Pestaña CAMFUR_KMAÑO

	A	B	C	D	E	F	G	H	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51																	
52																	
53																	
54																	
55																	
56																	
57																	
58																	
59																	
60																	
61																	
62																	
63																	
64																	
65																	
66																	
67																	
68																	
69																	
70																	
71																	
72																	
73																	
74																	
75																	
76																	
77																	
78																	
79																	
80																	
81																	
82																	
83																	
84																	
85																	
86																	
87																	
88																	
89																	
90																	
91																	
92																	
93																	
94																	
95																	
96																	
97																	
98																	
99																	
100																	

Figura 4.31: Gm totales recorridos anualmente por el conjunto del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible que utilizan. Pestaña CAMFUR_KMAÑO Fuente: Propia.

Por último, al igual que en la pestaña CamFur_ParAÑO, se hace una redistribución de los valores calculados anteriormente siguiendo otro criterio de agrupación. Este criterio es el de tipo de combustible. Se busca en las filas 121:1340 los valores que coincidan con el año de matriculación para el que se estén haciendo los cálculos y que utilice el combustible correspondiente. Para ello se utiliza la misma fórmula que se explicó en la pestaña anterior.

	A	B	C	D	E	F	G	H	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1																	
2																	
3																	
4																	
5	VE	CO	VE1			Recorrido anual constante	Unidad	TOTAL	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1488	CyF	CamF				Recorrido anual											
1489	3	GOL				Gasóleo	4										
1490	3	GOL				1990			589	589							
1491	3	GOL				1991			93	173	75						
1492	3	GOL				1992			140	246	186	80					
1493	3	GOL				1993			137	240	182	138		60			
1494	3	GOL				1994			217	381	288	218	166		71		
1495	3	GOL				1995			318	553	423	321	243	165	80		
1496	3	GOL				1996			502	863	671	510	386	232	222	96	
1497	3	GOL				1997			860	1286	1132	837	633	478	362	276	119
1498	3	GOL				1998			817	1594	1519	1306	991	749	567	430	327
1499	3	GOL				1999			1019	1991	1903	1819	1561	1180	892	676	512
1500	3	GOL				2000			1054	2065	1985	1910	1828	1567	1186	897	679
1501	3	GOL				2001			1399	2416	2000	1929	1851	1764	1510	1143	864
1502	3	GOL				2002			1377	2706	2300	1909	1837	1755	1669	1428	1081
1503	3	GOL				2003			1621	3193	3099	2646	2198	2112	2016	1577	1640
1504	3	GOL				2004			1877	3697	3592	3497	2987	2474	2370	2262	2151
1505	3	GOL				2005			2201	4344	4227	4116	4008	3415	2818	2700	2578
1506	3	GOL				2006			3153	5381	4403	4296	4189	4072	3461	2856	2736
1507	3	GOL				2007			3143	6236	5276	4310	4194	4073	3348	3355	2769
1508	3	GOL				2008			1725	3426	3373	2852	2327	2265	2202	2135	1814
1509	3	GOL				2009			1105	2196	2165	2132	1802	1469	1429	1389	1347
1510	3	GOL				2010			1218	2420	2388	2351	2311	1947	1581	1538	1495
1511	3	GOL				2011			1571	2669	2181	2152	2124	2091	1761	1430	1391
1512	3	GOL				2012			1146	2280	1922	1585	1544	1521	1495	1259	1022
1513	3	GOL				2013			1166	2313	2277	1917	1585	1544	1520	1493	1258
1514	3	GOL				2014			1553	3068	3002	2953	2486	2028	1999	1968	1934
1515	3	GOL				2015				2014	3195	3894	3844	3250	2661	2623	2582
1516	3	GOL				2016					2118	4195	4132	4071	3429	2808	2769
1517	3	GOL				2017						2315	4585	4511	4439	3739	3062
1518	3	GOL				2018							2504	4371	4302	4024	4063
1519	3	GOL				2019											
1520	3	GOL				2020								3595	7137	7039	6928
1521	3	GOL				2021									1587	3150	3107
1522	3	GOL				2022										2239	2944

Figura 4.32: Gm totales recorridos anualmente por los vehículos pesados de gasóleo según su año de matriculación en los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KMAÑO Fuente: Propia.

4.5. Pestaña CAMFUR_KWhAÑO

En esta pestaña se calcula el consumo energético anual de la totalidad del parque según el tipo de combustible para los años 1990-2050, teniendo en cuenta el consumo medio anual que hemos establecido en Dat_CamFur, el efecto de la antigüedad del vehículo en su consumo y el factor de evolución del consumo energético de los vehículos pesados de año a año debido a la mejora de las tecnologías.

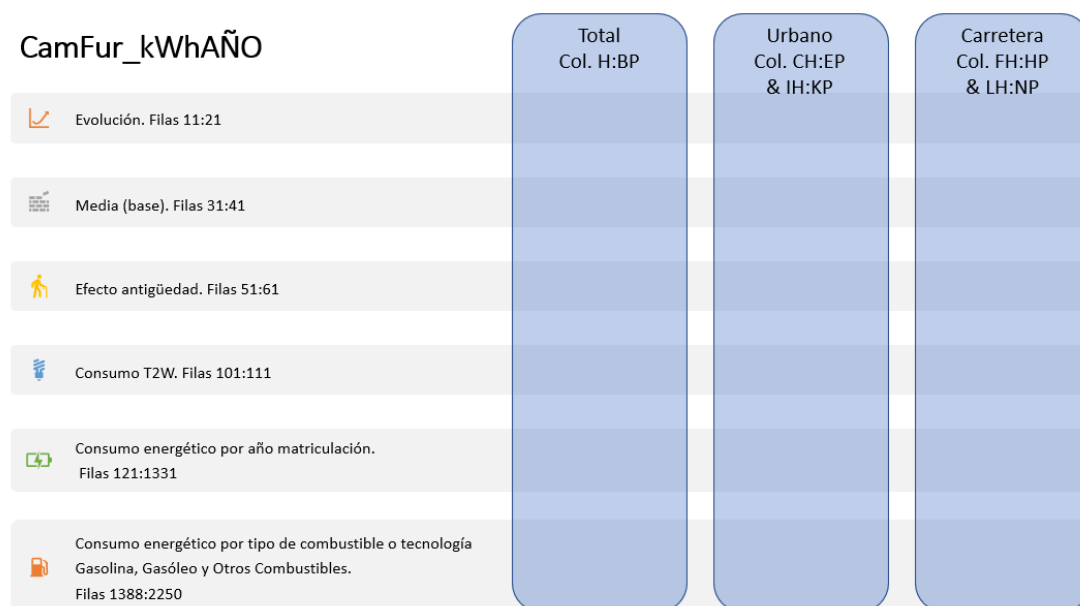


Figura 4.33: Distribución de la pestaña CamFur_kWhAÑO. *Fuente: Propia*

En las primeras filas (11:61) de esta pestaña se vuelven a recoger los datos ya establecidos en la pestaña Dat_CamFur. En primer lugar, se define un factor que establece que los vehículos consumirán un 0,5% menos por cada año que pase, debido a la mejora en las tecnologías utilizadas. En segundo lugar, se recoge el consumo medio por cada 100 Km que ya se calculó en Dat_CamFur, mediante los datos de 2018 y la multiplicación o división por el factor 0,995, según sean años posteriores o anteriores a 2018. Por último, se establecen los factores de corrección por antigüedad (*Figuras 4.13, 4.16 y 4.15*)

Una vez definidos estos datos, se calcula el consumo energético según el año de matriculación del parque para cada año desde 1990 a 2050 (filas 121:1331). Este consumo se obtiene mediante la multiplicación del parque matriculado en el año en cuestión que permanece en circulación en el año en el que se calcula el consumo,

por el recorrido anual que se ha calculado en CamFur_KmAÑO para el parque matriculado en dicho año y para el año en el que se hacen los cálculos y por el consumo medio por cada 100 km para los vehículos matriculados en dicho año en el año en el que calculamos el consumo. Este consumo medio se consigue multiplicando la media de consumo que hemos establecido por el factor de corrección según la antigüedad del parque. El consumo total calculado se trata, en realidad, de una media entre el valor del año en el que se calcula el consumo y el año anterior.

La fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$\text{GWh/año}_{n,m,t} = 10^{-8} \times \frac{p_{n,m(t-1)} \times km_{n,m,(t-1)} \times kWh_{n,m,(t-1)} + p_{n,m,t} \times km_{n,m,t} \times kWh_{n,m,t}}{2} \quad (4.8)$$

Siendo:

- GWh/año: GWh/año consumidos por el parque de vehículos
- p: parque de vehículos pesados (número)
- km: media de kilómetros realizados por un vehículo del tipo especificado
- kWh: media de consumo energético de un sólo tipo de vehículo pesado
- n: año de matriculación
- m: tipo de combustible o tecnología utilizada
- t: año para el cual se hacen los cálculos
- 10^{-8} : conversión de kWhm a GWh y de kWh/100 km a kWh/km

En Excel, la fórmula se define como:

$$DL583=10^{(-8)}*(CamFur_ParAÑO!AK583*CamFur_kmAÑO!JK583*JK583+ CamFur_ParAÑO!AL583*CamFur_kmAÑO!JL583*JL583)/2$$

Siendo:

- DL583= GWh consumidos por un parque de vehículos n,m en un año t
- CamFur_ParAÑO!AK583= parque año t-1
- CamFur_ParAÑO!AL583= parque año t

- CamFur_kmAÑO!JK583= media de kilómetros realizados por un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t-1
- CamFur_kmAÑO!JL583= media de kilómetros realizados por un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t
- JK583= media de consumo de un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t-1.
- JL583= media de consumo de un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t.

Estas dos últimas medias de consumo energético, se calculan al multiplicar la media de consumo que obtuvimos de multiplicar el consumo del año anterior por el factor 0,995, por el factor de corrección por antigüedad correspondiente. Esta multiplicación se realiza, al igual que en las dos pestañas anteriores, mediante la búsqueda del valor correspondiente en la matriz de factores de corrección por antigüedad.

	A	B	C	D	E	F	G	H	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		
28																		
29																		
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		
35																		
36																		
37																		
38																		
39																		
40																		
41																		
42																		
43																		
44																		
45																		
46																		
47																		
48																		
49																		
50																		
51																		
52																		
53																		
54																		
55																		
56																		
57																		
58																		
59																		
60																		
61																		
62																		
63																		
64																		
65																		
66																		
67																		
68																		
69																		
70																		
71																		
72																		
73																		
74																		
75																		
76																		
77																		
78																		
79																		
80																		
81																		
82																		
83																		
84																		
85																		
86																		
87																		
88																		
89																		
90																		
91																		
92																		
93																		
94																		
95																		
96																		
97																		
98																		
99																		
100																		

Figura 4.34: GWh consumidos anualmente por los vehículos pesados según su año de matriculación para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KWHANO. *Fuente: Propia.*

Una vez calculado el consumo energético de cada tipo de vehículo pesado matriculado en un año específico en otro año diferente, se agrupan estos valores para

obtener el consumo total del conjunto del parque en cada año (1990-2050), sin importar el año de matriculación, según el tipo de combustible o tecnología. Esto se realiza mediante una suma de todos los años de matriculación en las filas 101:111.

	A	B	C	D	E	F	G	H	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	

Figura 4.35: GWh totales consumidos anualmente por el conjunto del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible que utilizan. Pestaña CAMFUR_KWHAÑO. *Fuente: Propia.*

Por último, al igual que en las pestañas CamFur_ParAÑO y CamFur_kmAÑO, se hace una redistribución de los valores calculados anteriormente siguiendo otro criterio de agrupación. Este criterio, como ya hemos explicado, es el de tipo de combustible. Se busca en las filas 121:1340 los valores que coincidan con el año de matriculación para el que se estén haciendo los cálculos y que utilice el combustible correspondiente. Para ello se utiliza la misma fórmula que se explicó en la pestaña CamFur_ParAÑO.

	A	B	C	D	E	F	G	H	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	

Figura 4.36: GWh consumidos anualmente por los vehículos pesados de gasóleo según su año de matriculación en los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_KWHAÑO. *Fuente: Propia.*

4.6. Pestaña CAMFUR_CO2AÑO

En esta pestaña se calculan las emisiones de CO₂ anuales realizadas por la totalidad del parque según el tipo de combustible en los años 1990-2050, teniendo en cuenta las emisiones medias que hemos establecido en Dat_CamFur, el efecto de la antigüedad del parque en sus emisiones y el factor de evolución de las emisiones de año a año debido a la mejora de las tecnologías y la evolución de la normativa.

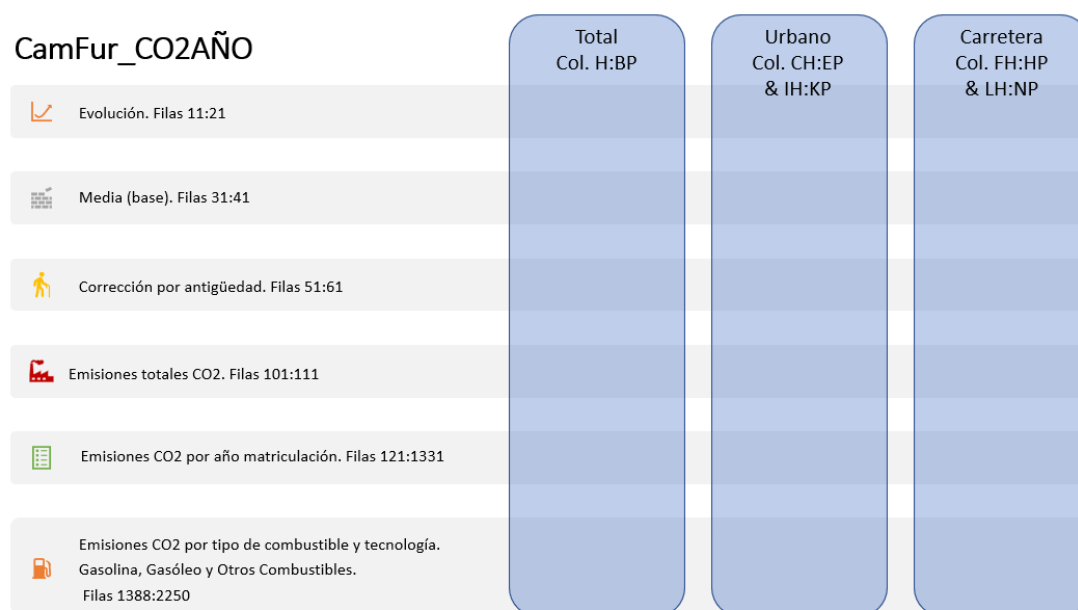


Figura 4.37: Distribución de la pestaña CamFur_CO2AÑO. *Fuente: Propia*

En primer lugar, se agrupan una serie de datos ya recogidos en la pestaña Dat_CamFur y explicados en el *Capítulo 3, sección 3.5*. Estos datos corresponden a un factor de evolución de las emisiones de los vehículos de año en año, una media de emisiones de CO₂ por vehículo y año y un factor de corrección por antigüedad de los vehículos (*Figuras 4.18, 4.19 y 4.20*).

Seguidamente, se calculan las emisiones de CO₂ según el año de matriculación del parque para cada año (filas 121:1331). Estas emisiones se obtienen mediante la multiplicación del parque matriculado en el año en cuestión que permanece en circulación en el año en el que se calculan las emisiones, por el recorrido anual que se ha calculado en CamFur_KmAÑO para el parque matriculado en dicho año y para el año en el que se hacen los cálculos y por el valor medio de emisiones para

los vehículos matriculados en dicho año en el año en el que calculamos las emisiones. Estas emisiones medias se consiguen multiplicando la media de emisiones que hemos establecido por el factor de corrección según la antigüedad del parque. Las emisiones totales calculadas en realidad se tratan de una media entre el valor del año en el que se calculan las emisiones y el año anterior.

La fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$KtCO2_{n,m,t} = \sum 10^{-11} \times \frac{p_{n,m,(t-1)} \times km_{n,m,(t-1)} \times kwh_{n,m,(t-1)} \times gCO2_{n,m,(t-1)} + p_{n,m,t} \times km_{n,m,t} \times kwh_{n,m,t} \times gCO2_{n,m,t}}{2} \quad (4.9)$$

Siendo:

- KtCO2: Kt de CO2 emitidos en un año por el parque de vehículos pesados con una tecnología y matriculado en un año específico
- p: parque de vehículos pesados de las características especificadas (número).
- km: media de kilómetros realizados por un vehículo pesado de las características especificadas
- kwh: media de consumo energético de un vehículo pesado de las características especificadas
- gCO2: media de emisiones de CO2 en un año de un vehículo matriculado en un año específico y con un tipo de tecnología.
- n: año de matriculación
- m: tipo de combustible o tecnología utilizada
- t: año para el cual se hacen los cálculos
- 10^{-11} : conversión de g/kWh a kt/año

En Excel, la fórmula se define como:

$$DL583 = 10^{-11} * (CamFur_ParAÑO!AK583 * CamFur_kmAÑO!JK583 * CamFur_kWhAÑO!JK583 + CamFur_ParAÑO!AL583 * CamFur_kmAÑO!JL583 * CamFur_kWhAÑO!JL583) / 2$$

Siendo:

- DL583= kt de CO2 emitidos por un parque de vehículos n,m en un año t
- CamFur_ParAÑO!AK583= parque año t-1
- CamFur_ParAÑO!AL583= parque año t
- CamFur_kmAÑO!JK583= media de kilómetros realizados por un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t-1
- CamFur_kmAÑO!JL583= media de kilómetros realizados por un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t
- CamFur_kwhAÑO!JK583= media de consumo de un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t-1.
- CamFur_kwhAÑO!JL583= media de consumo de un vehículo matriculado en un año n y con un tipo de combustible m en el año t.
- JK583= media de emisiones de CO2 de un vehículo matriculado en el año n y con el tipo de combustible m en el año t-1
- JL583= media de emisiones de CO2 de un vehículo matriculado en el año n y con el tipo de combustible m en el año t

La media de emisiones de CO2 utilizada en esta fórmula, como ya hemos explicado, resulta de multiplicar la media de emisiones que obtuvimos de multiplicar las emisiones del año anterior por el factor 0,985, por el factor de corrección por antigüedad correspondiente. Esta multiplicación se realiza, al igual que en las pestañas anteriores, mediante la búsqueda del valor correspondiente en la matriz de factores de corrección por antigüedad.

4.6. Pestaña CAMFUR_CO2AÑO

	A	B	C	D	E	F	G	H	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1																	
2																	
3																	
4																	
5	VE	CO	VE1			Ecs base	Unidad	1990	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
541	CyF	CamF				Emisiones CO2	2011										
542	CyF	CamF	2011			Evolución	CO2(k/año)										
543	CyF	GNA	CamF	2011		Gasolina	CO2(k/año)		31,78	54,36	45,33	45,51	45,37	45,08	38,41	31,53	30,89
544	CyF	GOL	CamF	2011		Gasóleo	CO2(k/año)		1.404,77	2.398,58	1.987,18	1.986,34	1.985,09	1.978,33	1.686,45	1.384,36	1.356,13
545	CyF	GLP	CamF	2011		Otros combustibles	CO2(k/año)		2,76	4,75	3,97	3,98	4,30	4,60	3,32	3,22	3,15
546	CyF	GNC	CamF	2011		GLP (Petróleo)	CO2(k/año)		0,07	0,29	0,24	0,24	0,28	0,28	0,24	0,20	0,19
547	CyF	GNC	CamF	2011		GNC (Gas natural)	CO2(k/año)		2,69	4,46	3,73	3,74	4,04	4,32	3,88	3,02	2,96
548	CyF	ELP	CamF	2011		Eléctrico puro	CO2(k/año)										
549	CyF	HEN	CamF	2011		Eléctrico híbrido enchufable	CO2(k/año)										
550	CyF	HIG	CamF	2011		Híbrido no-enchufable	CO2(k/año)										
551	CyF	OTR	CamF	2011		Otros	CO2(k/año)										
560																	
561	CyF	CamF				Emisiones CO2	2012										
562	CyF	CamF	2012			Evolución	CO2(k/año)										
563	CyF	GNA	CamF	2012		Gasolina	CO2(k/año)		25,29	50,62	43,21	35,78	35,55	35,24	35,07	29,89	24,54
564	CyF	GOL	CamF	2012		Gasóleo	CO2(k/año)		987,79	1.977,89	1.686,28	1.391,94	1.390,94	1.387,60	1.381,13	1.177,00	986,17
565	CyF	GLP	CamF	2012		Otros combustibles	CO2(k/año)		3,01	6,04	5,15	4,26	4,58	4,85	4,83	4,12	3,38
566	CyF	GLP	CamF	2012		GLP (Petróleo)	CO2(k/año)		0,18	0,37	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28	0,25	0,21
567	CyF	GNC	CamF	2012		GNC (Gas natural)	CO2(k/año)		2,82	5,67	4,84	4,00	4,30	4,56	4,54	3,87	3,18
568	CyF	ELP	CamF	2012		Eléctrico puro	CO2(k/año)										
569	CyF	HEN	CamF	2012		Eléctrico híbrido enchufable	CO2(k/año)										
570	CyF	HIG	CamF	2012		Híbrido no-enchufable	CO2(k/año)										
571	CyF	OTR	CamF	2012		Otros	CO2(k/año)										
580																	
581	CyF	CamF				Emisiones CO2	2013										
582	CyF	CamF	2013			Evolución	CO2(k/año)										
583	CyF	GNA	CamF	2013		Gasolina	CO2(k/año)		22,49	44,75	44,65	38,40	31,50	30,96	30,86	30,72	26,18
584	CyF	GOL	CamF	2013		Gasóleo	CO2(k/año)		988,89	1.934,29	1.928,50	1.642,26	1.358,96	1.357,96	1.353,62	1.347,31	1.148,18
585	CyF	GLP	CamF	2013		Otros combustibles	CO2(k/año)		3,02	6,07	6,12	5,23	4,85	5,27	5,26	5,23	4,46
586	CyF	GLP	CamF	2013		GLP (Petróleo)	CO2(k/año)		0,18	0,37	0,37	0,32	0,29	0,32	0,32	0,32	0,27
587	CyF	GNC	CamF	2013		GNC (Gas natural)	CO2(k/año)		2,84	5,70	5,75	4,87	4,55	4,95	4,94	4,92	4,19
588	CyF	ELP	CamF	2013		Eléctrico puro	CO2(k/año)										
589	CyF	HEN	CamF	2013		Eléctrico híbrido enchufable	CO2(k/año)										
590	CyF	HIG	CamF	2013		Híbrido no-enchufable	CO2(k/año)										
591	CyF	OTR	CamF	2013		Otros	CO2(k/año)										

Figura 4.38: Kt de CO2 emitidas anualmente por los vehículos pesados según su año de matriculación para los años 1990-2050. Pestaña CAMFUR_CO2AÑO. Fuente: Propia.

Una vez calculadas las emisiones de CO2 que realizan cada tipo de vehículo pesado matriculado en un año específico en otro año diferente, se agrupan estos valores para obtener las emisiones de CO2 totales del conjunto del parque en cada año (1990-2050), sin importar el año de matriculación, según el tipo de combustible o tecnología. Esto se realiza mediante una suma de todos los años de matriculación en las filas 101:111.

	A	B	C	D	E	F	G	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ
1															
2															
3															
4															
5	VE	CO	VE1			Ecs base	Unidad	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
101	CyF	CamF				Emisiones CO2	TOTAL								
102	CyF	CamF				Evolución	CO2(k/año)	41.142,24	40.372,55	38.432,83	37.131,86	35.994,59	34.697,01	33.596,48	32.371,45
103	CyF	GNA	CamF			Gasolina	CO2(k/año)	1.584,76	1.594,35	1.582,88	1.631,56	1.682,99	1.703,13	1.737,96	1.771,13
104	CyF	GOL	CamF			Gasóleo	CO2(k/año)	39.435,16	38.610,92	36.663,18	35.267,28	34.034,15	32.653,82	31.450,04	30.103,96
105	CyF	GLP	CamF			Otros combustibles	CO2(k/año)	122,32	167,28	186,77	233,02	277,45	340,06	408,48	496,36
106	CyF	GLP	CamF			GLP (Petróleo)	CO2(k/año)	7,39	12,15	16,75	29,96	44,16	63,56	83,98	109,60
107	CyF	GNC	CamF			GNC (Gas natural)	CO2(k/año)	107,96	138,89	144,80	163,84	180,94	207,58	240,16	280,12
108	CyF	ELP	CamF			Eléctrico puro	CO2(k/año)	1,38	4,75	8,39	13,56	18,25	24,25	29,24	36,37
109	CyF	HEN	CamF			Eléctrico híbrido enchufable	CO2(k/año)	3,94	9,23	14,45	23,18	31,61	42,15	52,46	67,56
110	CyF	HIG	CamF			Híbrido no-enchufable	CO2(k/año)	1,64	2,26	2,38	2,48	2,50	2,52	2,64	2,71
111	CyF	OTR	CamF			Otros	CO2(k/año)								

Figura 4.39: Kt de CO2 totales emitidas anualmente por el conjunto del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible que utilizan. Pestaña CAMFUR_CO2AÑO. Fuente: Propia.

Por último, al igual que en las pestañas CamFur_ParAÑO, CamFur_kmAÑO

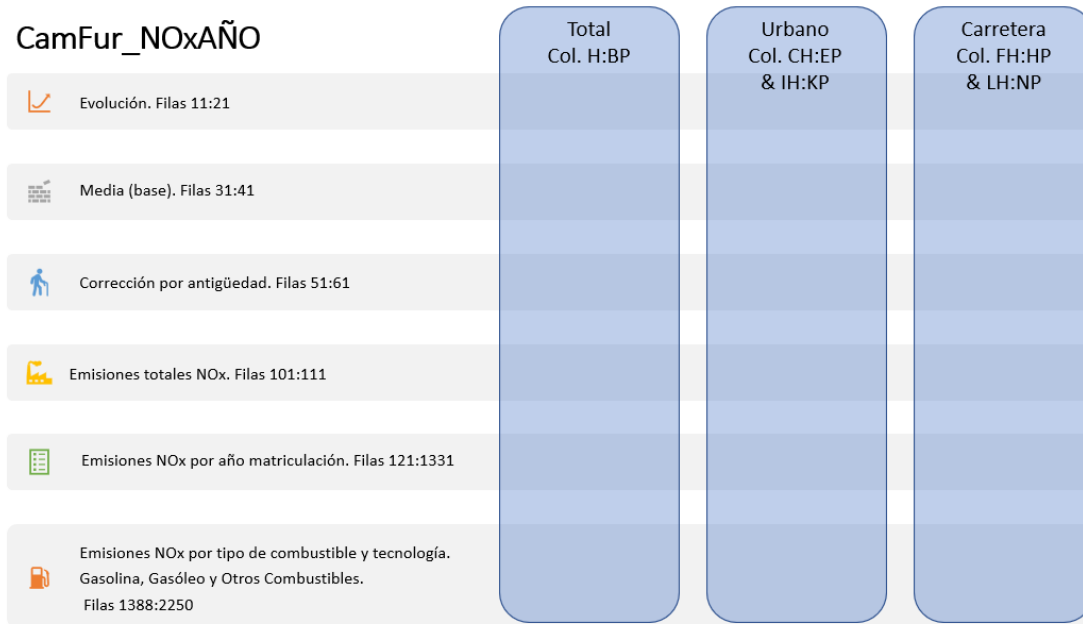


Figura 4.41: Distribución de la pestaña CamFur_NOxAÑO. *Fuente: Propia*

El procedimiento seguido para este cálculo es el mismo que el utilizado en la pestaña CamFur_CO2AÑO para el cálculo de las emisiones de CO₂, pero con los valores correspondientes a las emisiones de NO_x.

La única diferencia a destacar es el factor de evolución, que en el caso de las emisiones de NO_x es diferente para años anteriores y posteriores a 2018. Para años anteriores a 2018 este factor se define como 0,880, es decir existe un 12 % de diferencia entre las emisiones de NO_x que realiza a la atmósfera un vehículo en 2017 y las que realiza uno de 2018 (o cualquier otro par de años consecutivos anteriores a 2018). Sin embargo, a partir de 2019 el factor se define en unos valores entre el 0,90 y el 0,97, es decir la reducción de las emisiones de NO_x de año a año disminuye a un 10 % a 3 %. Esto se debe a que en los últimos años se ha trabajado mucho en reducir estas emisiones y el avance ha sido tal que no se espera que en los próximos años la tecnología pueda avanzar mucho más.

Además, difiere el valor de la media de las emisiones de NO_x para el año 2018, valor que también se ha obtenido del estudio de la normativa de la Unión Europea en materia de emisiones.

4.8. Pestaña CAMFUR_PMxAÑO

En esta pestaña se calculan las emisiones de partículas anuales realizadas por la totalidad del parque según el tipo de combustible en los años 1990-2050, teniendo en cuenta las emisiones medias que hemos establecido en Dat_CamFur, el efecto de la antigüedad y el factor de evolución de las emisiones de año a año debido a la mejora de las tecnologías y la evolución de la normativa.

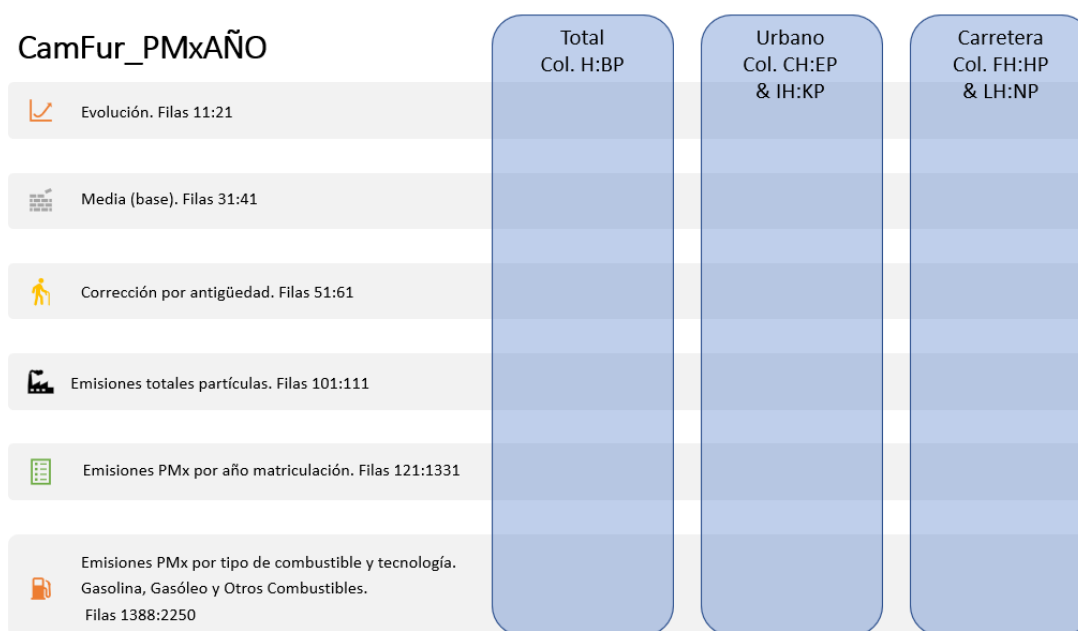


Figura 4.42: Distribución de la pestaña CamFur_PMxAÑO. *Fuente: Propia*

El procedimiento seguido para este cálculo es el mismo que el utilizado en la pestaña CamFur_CO2AÑO para el cálculo de las emisiones de CO₂, pero con los valores correspondientes a las emisiones de partículas.

4.9. Pestaña CAMFUR_CO2_ELECTRICO



Figura 4.43: Distribución de la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia.*

En esta pestaña se calculan las emisiones de CO2 anuales asociadas al vehículo eléctrico pesado (tanto puro como híbrido enchufable). Estas emisiones son luego recogidas por la pestaña CamFur_CO2AÑO para poder calcular el total de las emisiones de CO2 asociadas al total del parque de vehículos eléctricos desde 2014 a 2050. En el caso de los vehículos híbridos enchufables, las emisiones de CO2 asociados a ellos son una composición de las emisiones locales debido a su motor de combustión y las emisiones asociadas al mix de generación eléctrico del cual

obtienen la electricidad en sus cargas.

Para conseguir llegar las emisiones de CO₂ del vehículo eléctrico, primero se debe conocer las emisiones de CO₂ asociadas al mix de generación de la electricidad que usan los vehículos eléctricos para funcionar, es decir, debemos conocer el factor de emisión del mismo (factor ya explicado en *Capítulo 1*). El cálculo de este factor para el mix de generación futuro, es decir, la estimación de la evolución de la producción de energía eléctrica en España se detalla en el *Capítulo 3*, en la sección ???. Los valores de este factor se recogen para cada año desde 2019 a 2050 en la fila 21 de esta pestaña. En el *Capítulo 3* tan sólo se explica la obtención de los factores de emisión para 2018, 2030 y 2050, el resto son fruto de una extrapolación lineal entre estos.

	E	F	G	H	AJ	AK	AL	AU	AV	AW	BF
1			Unidad	1990	2018	2019	2020	2029	2030	2031	2040
20		Evolución factor de emisión									
21			kgCO ₂ /kWh		0,247	0,232	0,217	0,081	0,066	0,060	0,017
22											

Figura 4.44: Evolución del factor de emisión para la pestaña Cam-Fur_CO2_ELECTRICO. Fuente: Propia.

Previo a la evolución del factor de emisión se incluyen en la pestaña los datos necesarios para su cálculo: evolución de las horas de funcionamiento de las plantas de ciclo combinado (CCGT) ²(fila 12), evolución de las emisiones asociadas a estas plantas (fila 15) y la evolución que se prevé de la demanda nacional (fila 18).

La evolución de las horas de funcionamiento de las plantas CCGT se obtienen de un estudio de Monitor Deloitte, que prevé las siguientes horas: 2.150 horas en 2030, 1.350 horas en 2035 y 650 horas en 2040. Para 2050, se estima que las horas de funcionamiento no disminuirán en tan gran medida como de 2030 a 2040 y el valor utilizado para el cálculo es de 600 horas, como ya se explicó en el *Capítulo 3*, en la sección 3.1. Para los demás años, se hace una extrapolación lineal, dividiendo la diferencia de horas de los años de los cuales se tienen estimaciones entre los años que los separan.

²Se considera que tras la desaparición prevista de las plantas de carbón, las únicas plantas que aportarán emisiones de CO₂ a la atmósfera serán las plantas CCGT (para más detalle, consultar *Capítulo 3*, sección 3.1).

4.9. Pestaña CAMFUR_CO2_ELECTRICO

	F	G	H	AJ	AK	AL	AV	AW	BA	BE	BF
1											
2											
3	Emissiones CO2 Vehículo Eléctrico										
4											
5	Evolución horas funcionamiento CCGT	Unidad	1990	2018	2019	2020	2030	2031	2035	2039	2040
10											
11											
12		horas		1171	1252,58	1334,17	2150	1990	1350	790	650
13											

Figura 4.45: Evolución de las horas de funcionamiento de las plantas CCGT para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia.*

Las emisiones de CO2 asociadas al funcionamiento de las plantas CCGT en 2018 fueron de 11,81 MteqCO2 y las horas de funcionamiento de estas plantas en 2018 fueron 1.171 horas. Para el cálculo de las emisiones de los demás años se utiliza la *ecuación 3.1*.

	F	G	H	AJ	AK	AL	AV	AW	BA	BE	BF
1		Unidad	1990	2018	2019	2020	2030	2031	2035	2039	2040
14	Evolución emisiones CCGT										
15		MteqCO2		11,81	12,63	13,46	21,68	20,07	13,62	7,97	6,56
16											

Figura 4.46: Evolución de las emisiones de las plantas CCGT para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia.*

Por último, en cuanto a la evolución de la demanda, el estudio de Monitor Deloitte prevé una demanda para 2030 de 329 TWh. Además se conoce que la demanda en 2018 fue de 253,5 TWh. Se considera que este crecimiento se dará linealmente, por lo que se calcula la demanda de los años 2019-2029, considerando que ésta aumenta 6,3 TWh cada año (329-253,5 entre los 12 años). Para los años de 2030 a 2050 se asume que la demanda seguirá aumentando en este mismo ratio.

	F	G	H	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
1		Unidad	1990	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
17	Evolución demanda									
18		TWh		253,50	259,79	266,08	272,38	278,67	284,96	291,25
19										

Figura 4.47: Evolución de la demanda eléctrica nacional para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia.*

El segundo dato que se necesita para el cálculo de las emisiones asociadas a estos vehículos es el consumo de los vehículos pesados eléctricos (puros e híbridos enchufables), tanto actual como futuro. Estos datos se obtienen de la pestaña CAMFUR_kWhAÑO y se recogen en esta pestaña en las filas 24:25. En el caso del

vehículo híbrido enchufable, hay que dividir su consumo entre el que realiza funcionando con su motor eléctrico y el que realiza utilizando su motor de combustión interna. A falta de datos sobre cuánto usa el vehículo pesado híbrido enchufable medio cada uno de sus motores, se establece que 50 % del consumo se le atribuye al motor eléctrico y el otro 50 % al motor de combustión interna. Por ello, el consumo definido en la pestaña CAMFUR_kWhAÑO por un factor 0,5 para poder obtener las emisiones de CO2 asociadas a la generación de la electricidad consumida por estos vehículos. Finalmente, en la fila 26 se muestra el total del consumo, suma de los consumos individuales de los vehículos pesados eléctricos puros e híbridos enchufables.

	E	F	G	H	AJ	AK	AL	AU	AV	AW	BF
			Unidad	1990	2018	2019	2020	2029	2030	2031	2040
23		Consumo Vehículo Eléctrico									
24		Eléctrico puro	GWh/año		4,37	7,82	11,07	127,99	162,73	207,22	1.675,37
25		Eléctrico híbrido enchufable	GWh/año		6,42	10,88	14,43	126,29	157,93	198,15	1.484,66
26		Total	GWh/año		10,79	18,71	25,50	254,28	320,67	405,37	3.160,03

Figura 4.48: Consumo del vehículo eléctrico puro e híbrido enchufable para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia*

Por último, se necesita el rendimiento tanto del transporte y la distribución de la electricidad como del proceso de carga y de las propias baterías. Es decir, se necesita saber cuánta energía hay que producir para abastecer el consumo determinado de los vehículos pesados eléctricos teniendo en cuenta las pérdidas desde que la electricidad sale de la central hasta que llega al motor eléctrico del vehículo. Estos rendimientos se recogen en esta pestaña en las filas 29 y 32, respectivamente y un último rendimiento total se calcula en la fila 35.

	E	F	G	H	AJ	AK	AL	AU	AV	AW	BF
			Unidad	1990	2018	2019	2020	2029	2030	2031	2040
28		Eficiencia transporte y distribución									
29			p.u.		0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
30											
31		Eficiencia carga y baterías									
32			p.u.		0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
33											
34		Rendimiento total									
35			p.u.		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
36											

Figura 4.49: Rendimiento de proceso de transporte y distribución de la electricidad, así como del proceso de carga y uso de las baterías del vehículo eléctrico para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia*

Teniendo este rendimiento del proceso en cuenta, se calcula en las filas 38:40 los consumos corregidos, es decir, la electricidad que se necesita generar en barras

4.9. Pestaña CAMFUR_CO2_ELECTRICO

de la central para abastecer el consumo calculado, mediante la división del mismo por el rendimiento definido.

E	F	G	H	AJ	AK	AL	AU	AV	AW	BF
1		Unidad	1990	2018	2019	2020	2029	2030	2031	2040
37	Consumo Vehículo Eléctrico en B.C.									
38	Eléctrico puro	GWh/año		5,86	21,56	40,75	775,20	970,75	1246,71	8125,04
39	Eléctrico híbrido enchufable	GWh/año		8,60	21,36	34,98	550,63	685,48	872,34	5397,45
40	Total	GWh/año		14,46	42,91	75,73	1325,83	1656,23	2119,05	13522,49
41										

Figura 4.50: Consumo en barras de la central de los vehículos eléctricos para la pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia.*

Finalmente, se calculan las emisiones finales asociadas a este tipo de vehículos pesados desde 2014 a 2050 (filas 43:45), mediante la multiplicación del consumo anual corregido en barras de la central (consumo perteneciente a la totalidad del parque de vehículos eléctricos) por el factor de emisión calculado para cada año. Estos valores se utilizan para poder calcular la evolución de las emisiones de CO2 totales asociadas al total del parque de vehículos pesados en la pestaña CamFur_CO2AÑO desde 2014 a 2050.

E	F	G	H	AJ	AK	AL	AU	AV	AW	BF
1		Unidad	1990	2018	2019	2020	2029	2030	2031	2040
42	Emisiones CO2 Vehículo Eléctrico.									
43	Eléctrico puro	kt/año		1,448	4,999	8,835	62,790	63,980	74,626	135,906
44	Eléctrico híbrido enchufable	kt/año		2,125	4,953	7,584	44,601	45,178	52,217	90,282
45	Total	kt/año		3,573	9,952	16,419	107,390	109,158	126,843	226,188

Figura 4.51: Emisiones totales de CO2 asociadas al vehículo eléctrico. Pestaña CamFur_CO2_ELECTRICO. *Fuente: Propia.*

4.10. Pestaña CAMFUR_RESULTGRAPH

Pestaña que recoge los resultados finales acompañados de gráficas para que visualicemos cómo irían evolucionando, en los diferentes escenarios, el parque de vehículos pesados, las emisiones, el consumo y la distribución de los kilómetros recorridos a lo largo de los años (2019-2050).

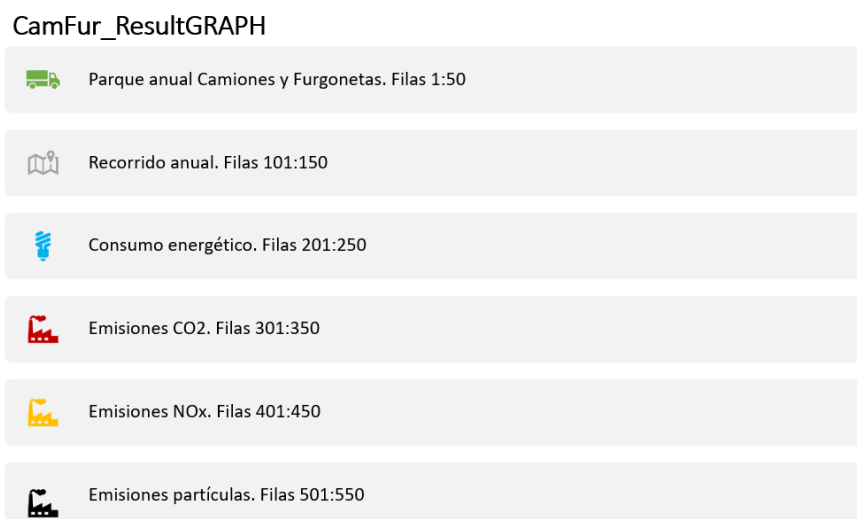


Figura 4.52: Distribución de la pestaña CamFur_ResultGRAPH. *Fuente: Propia.*

Estos resultados han sido calculados en las diferentes pestañas de la herramienta, por lo que esta última pestaña tan sólo se trata de una recopilación de todos los resultados. Estos resultados se expondrán en el *Capítulo 5*.

Capítulo 5

Aplicación del Modelo y de la Herramienta al Caso Español

5.1. Parque de vehículos pesados

5.1.1. Situación actual del parque de vehículos pesados español

El combustible más utilizado en España para los vehículos pesados ha sido, desde que se tienen registros, el gasóleo. En la *Figura 5.1* se puede observar que el parque de vehículos pesados de gasolina se ha mantenido más o menos constante a lo largo de los años, sufriendo un ligero descenso, hasta suponer algo menos de un 10 % del parque de vehículos pesados. Sin embargo, los camiones y furgonetas diésel han ido aumentando su presencia, llegando a las 4.478.050 unidades matriculadas, lo que supone el 89,9 % del parque. Por tanto, el aumento observado en el parque de algo más de 1.000.000 de unidades desde el año 2000 se debe al aumento de matriculaciones anuales de vehículos diésel.

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL MODELO Y DE LA HERRAMIENTA AL CASO ESPAÑOL

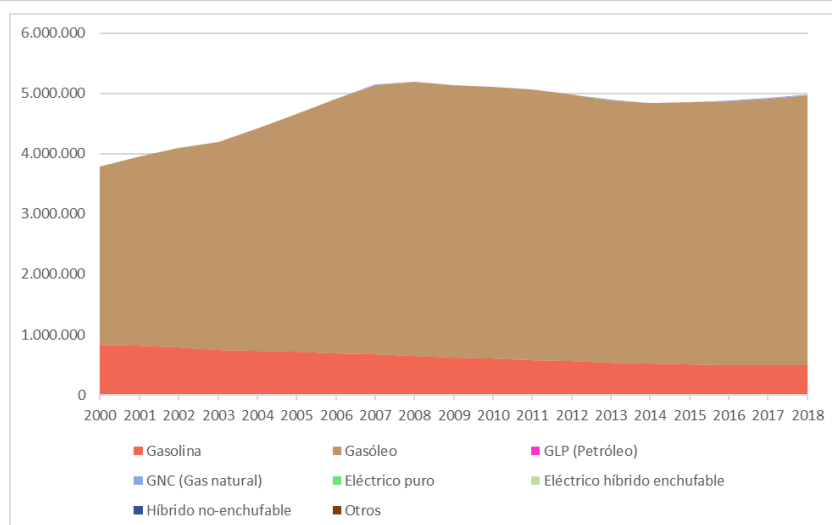


Figura 5.1: Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2010-2018. *Fuente: Propia.*

En 2018, el parque de vehículos pesados que utilizan otros combustibles o tecnologías es mínimo, siendo los mayoritarios dentro de este grupo los que funcionan con gas natural comprimido (GNC) (Ver *Figura 5.3*). Los vehículos eléctricos puros son prácticamente inexistentes en el parque, debido a que la mayoría de fabricantes tienen como fecha prevista de lanzamiento de sus modelos eléctricos el 2020 o 2021.

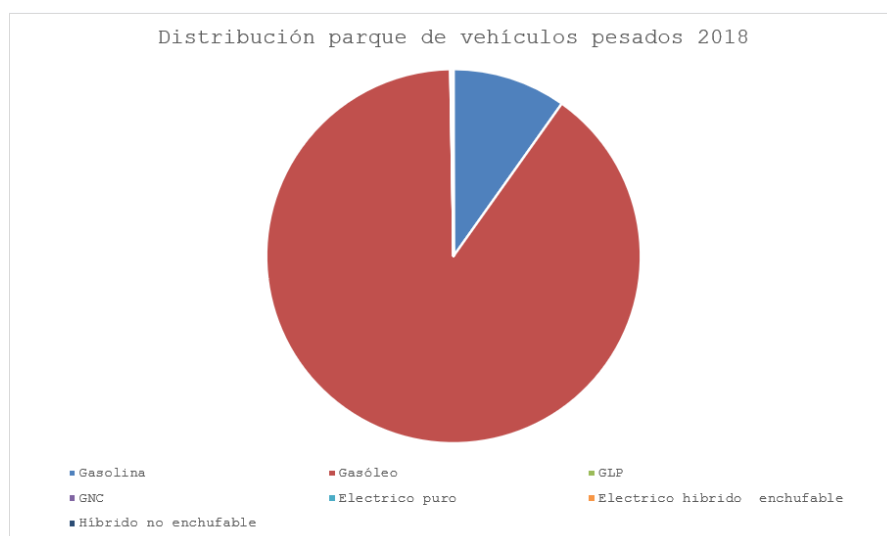


Figura 5.2: Distribución del parque de vehículos pesados por combustible para el año 2018. *Fuente: Propia.*

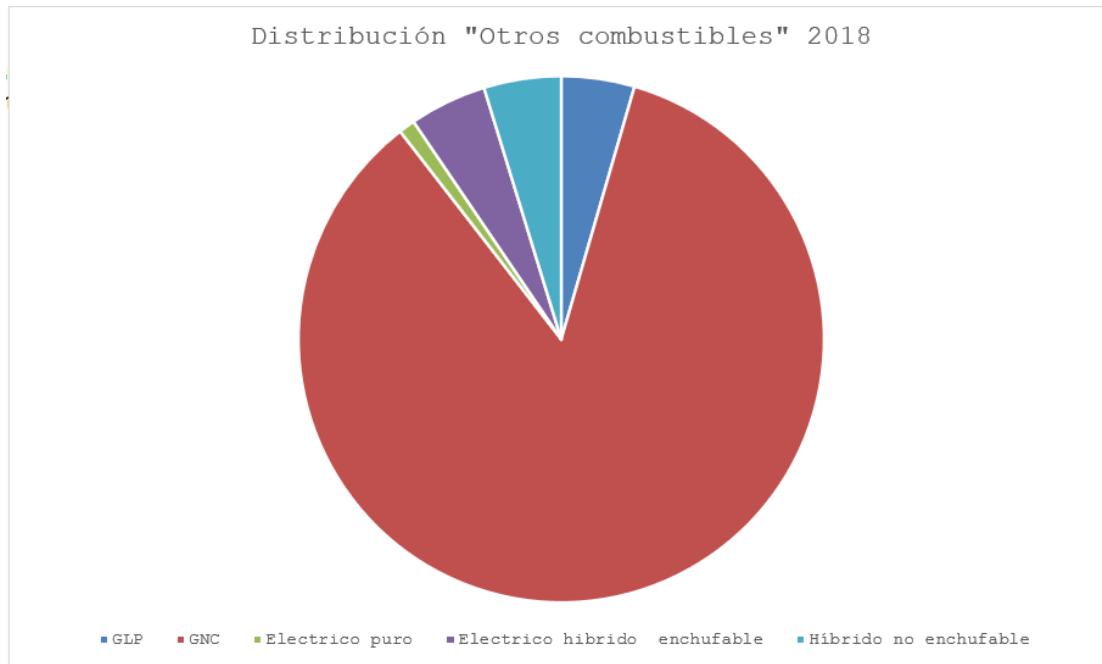


Figura 5.3: Distribución del parque de vehículos pesados que utilizan *otros combustibles*. Año 2018. Fuente: Propia.

5.1.2. Previsión de evolución del parque de vehículos pesados

El modelo utilizado para las previsiones a futuro, tenía como objetivo alcanzar un porcentaje de altas del vehículo eléctrico puro del 40 % y un 30 % para el vehículo eléctrico híbrido enchufable. Es decir, se estima una inclusión del vehículo eléctrico del 70 % de las altas para 2050, manteniendo los kilómetros recorridos constantes como restricción de la optimización. Finalmente, tras la optimización del modelo se prevé una inclusión del vehículo eléctrico del 64,7 % de las altas de 2050, frente al 0,0 % de 2018. Es decir, se prevé que en 2050 el 64,4 % de las matriculaciones se tratarán de matriculaciones de vehículos eléctricos y las de combustibles convencionales tan sólo supondrán algo menos del 20 %. La evolución del porcentaje de altas del resto de tecnologías se recoge en la *Tabla 5.1*, donde cabe destacar la reducción de este porcentaje para los vehículos diésel (14,1 % frente al 89,90 %) de 2018.

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL MODELO Y DE LA HERRAMIENTA AL CASO ESPAÑOL

Tipo de vehículo	% Altas 2018	% Altas 2030	% Altas 2050
Gasolina	9,82 %	10,1 %	5,6 %
Gasóleo	89,90 %	78,1 %	14,1 %
GLP	0,01 %	2,1 %	5,2 %
GNC	0,24 %	4,3 %	10,4 %
Eléctrico puro	0,00 %	3,0 %	37,0 %
Eléctrico híbrido enchufable	0,01 %	2,3 %	27,7 %

Tabla 5.1: Porcentaje de altas según el tipo de combustible 2018-2030-2050. *Fuente: Propia.*

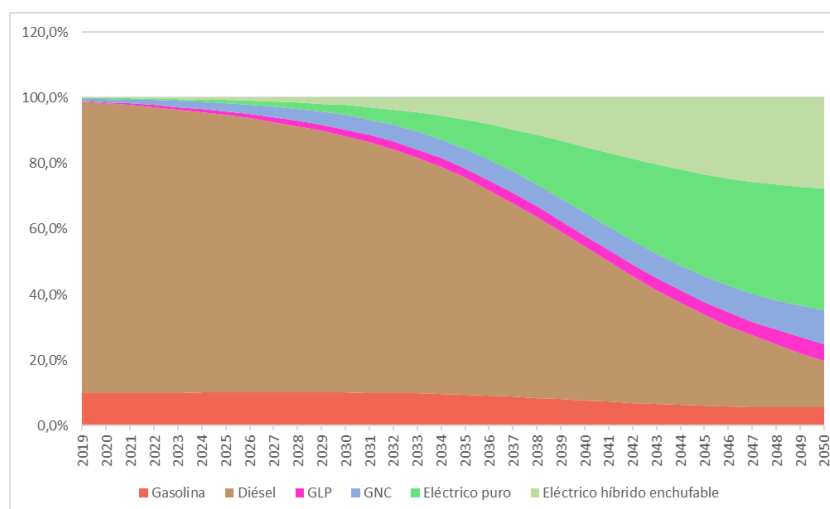


Figura 5.4: Evolución de la distribución de las altas de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

Al establecer un objetivo de recorrido constante por la totalidad del parque y suponer que un vehículo nuevo o de la misma edad realizará aproximadamente el mismo recorrido todos los años, el número total de vehículos pesados permanece aproximadamente invariable a lo largo de los años. Las fluctuaciones observadas en la *Figura 5.5* se deben a este intento del modelo de mantener el número de giga-metros realizados por el parque constante y, por ende, el número de vehículos aproximadamente constante.

5.1. Parque de vehículos pesados

Tipo de vehículo	Parque 2018	Parque 2030	Parque 2050
Gasolina	488.975	520.051	455.826
Gasóleo	4.478.050	4.307.200	2.948.813
GLP	694	26.604	134.499
GNC	12.469	65.992	277.868
Eléctrico puro	194	26.412	763.558
Eléctrico híbrido enchufable	286	20.180	573.006
Total	4.980.912	4.966.922	5.153.967

Tabla 5.2: Distribución del parque según el tipo de combustible 2018-2030-2050.
Fuente: Propia.

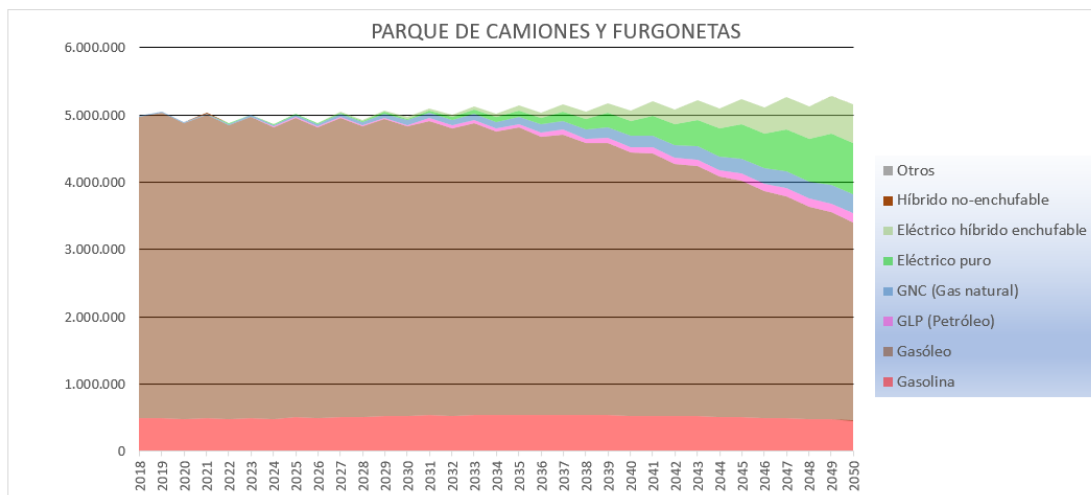


Figura 5.5: Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. Fuente: Propia.

Aún consiguiendo unas matriculaciones del 64,4 % en 2050 del vehículo eléctrico, valor que se ha considerado razonable dada la poca presencia actual del vehículo eléctrico en el parque de vehículos pesados, en ese mismo año los vehículos eléctricos todavía tan sólo supondrían un 26 % de la totalidad del parque. Este porcentaje puede parecer escaso pero si se compara con el 0 % del 2018, parece un crecimiento razonable para el lapso de tiempo considerado. El modelo toma que la penetración del vehículo eléctrico se produce, en su mayoría, a partir del año 2040. Quizás se podría tomar un escenario más optimista en la que esta penetración se produjera a partir de 2030, unos 9 años después de la puesta en venta de los primeros modelos (Ver Anexo B).

Los vehículos que utilizarán combustibles no convencionales en 2050, según este escenario, supondrán el 34 % del parque. Los vehículos diésel siguen suponiendo un 60 % del parque y los de gasolina un 9 %. Sin embargo, como se observará en la distribución de los kilómetros recorridos, el parque de vehículos pesados diésel será para 2050 un parque envejecido, ya que se reducen las matriculaciones, lo cual propiciará una penetración del vehículo eléctrico cada vez mayor (Ver *Figura 5.6*).

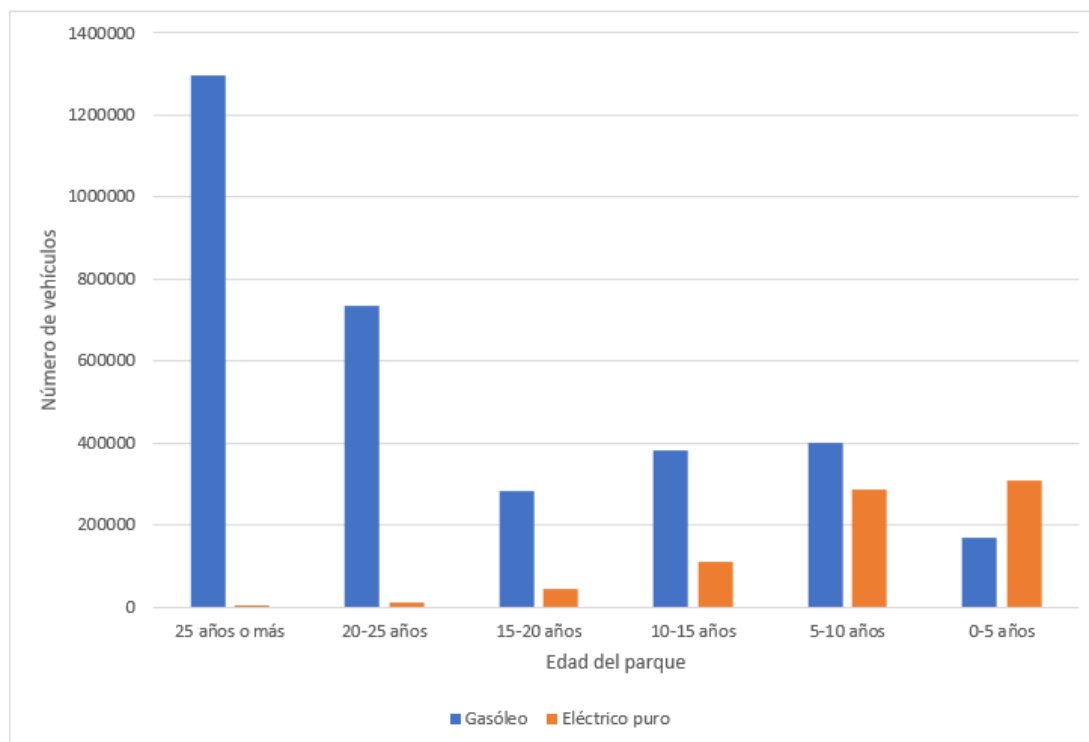


Figura 5.6: Edad del parque de gasóleo vs. eléctrico puro en el año 2050. Envejecimiento del parque de gasóleo. *Fuente: Propia.*

5.2. Evolución del recorrido para la hipótesis tomada por el modelo

El objetivo de mantener el recorrido anual de la totalidad del parque en 60.000 Gm/año se puede observar en la *Figura 5.7*. Al cambiar la distribución del parque y al envejecer el parque de camiones diésel, en 2050, se observa como en 2050 los vehículos de este tipo tan sólo recorren el 38 % de los giga-metros recorridos anualmente por la totalidad del parque. Esto se debe a que permanecen en el parque

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

vehículos que realmente no realizan un número de kilómetros significativos, son vehículos que sus propietarios mantienen pero no recorren grandes distancias. Los vehículos eléctricos, GNC y GLP, sin embargo, al ser más nuevos, realizan el 56 % de este recorrido.

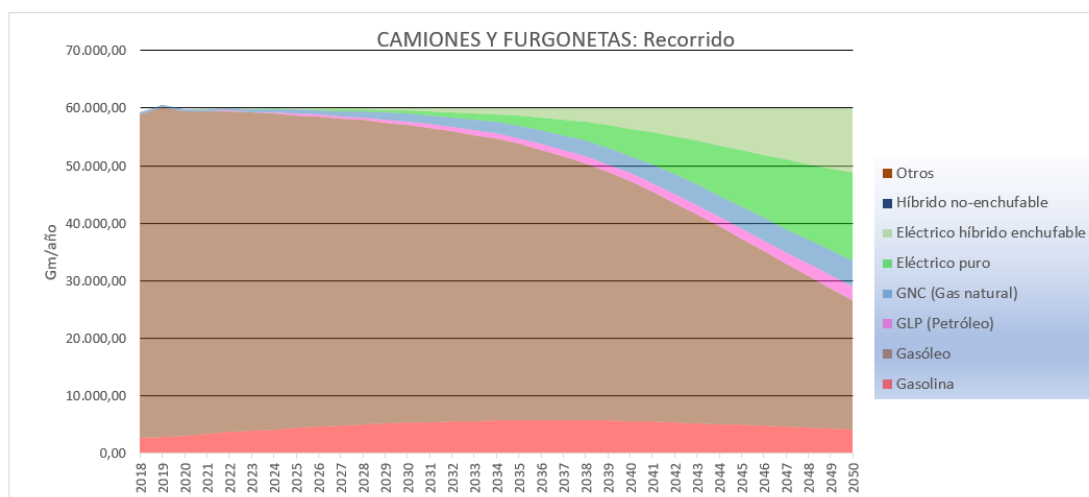


Figura 5.7: Evolución del recorrido anual del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

5.3.1. Consumo

La mejora prevista de las tecnologías y eficiencia de los vehículos, la cual supone según el modelo el descenso del consumo de los vehículos nuevos de un 0,5 % anual, unido a la penetración de tecnologías que consumen menos kWh/km, hace que el consumo se vea reducido en un 30 % en los próximos 32 años. Esta reducción en el consumo por parte de la totalidad de vehículos pesados tendrá una influencia directa en las emisiones asociadas a este parque, las cuales se miden en gramos por cada kWh consumido. A mayor consumo, más emisiones, aunque todas las demás variables permanecieran constantes.

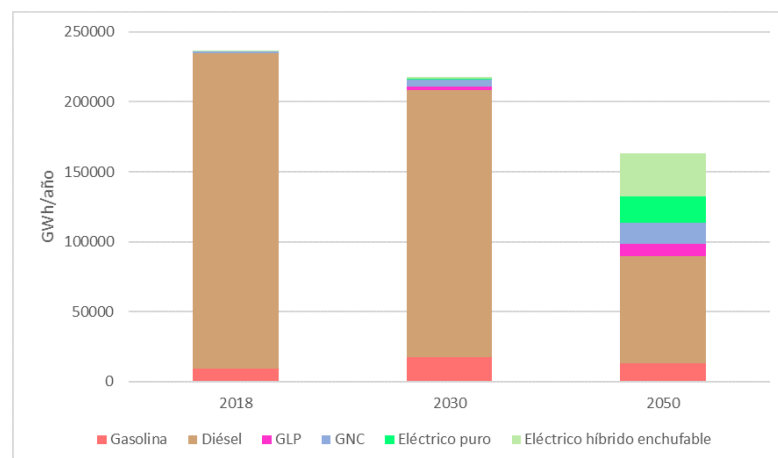


Figura 5.8: Evolución del consumo anual del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

Casi la mitad del consumo anual total por parte del parque de los vehículos pesados se sigue debiendo a los vehículos diésel, ya que a parte de ser los mayoritarios, tienen un consumo medio, a igualdad de recorrido, más elevado que la mayoría de las otras tecnologías (342,36 kWh/100 km para 2050 frente a los 123,94 kWh/100 km de los eléctricos puros). Sin embargo, se observa cómo el consumo total del conjunto del parque de estos camiones no supone un porcentaje tan elevado como deberían suponer si realizaran el mismo recorrido anual que los eléctricos, ya que a igualdad de recorrido, los vehículos diésel consumen casi tres veces más que éstos. Esto reafirma el envejecimiento del parque de este tipo de vehículos. Los camiones diésel, aún siendo en 2050 el doble en número que los eléctricos y teniendo un consumo a igualdad de distancia recorrida casi tres veces mayor que el de los eléctricos, son responsables del 47 % del consumo, mientras que los eléctricos lo son del 30 %. Si los camiones diésel recorrieran los mismos kilómetros que los eléctricos en 2050, considerando que hay el doble de vehículos de este tipo con respecto a los eléctricos, el consumo de los primeros debería ser 6 veces mayor, sin embargo, sólo es 1,5 veces mayor. Desde otra perspectiva, aún no siendo aún mayoritarios, los vehículos eléctricos realizan de media en 2050 más kilómetros que los diésel debido a que la mayor parte han sido matriculados recientemente.

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

Tipo de vehículo	Consumo 2018	Consumo 2030	Consumo 2050
Gasolina	9.568,13	17.565,73	12.796,34
Gasóleo	225.492,99	191.183,34	76.942,05
GLP	58,43	2.517,69	9.091,01
GNC	850,57	4.777,99	14.951,29
Eléctrico puro	4,37	724,10	18.696,20
Eléctrico híbrido enchufable	16,04	1.278,28	30.867,62
Total	236.004,23	218.070,895	163.352,54

Tabla 5.3: Evolución del consumo (GWh/año) según el tipo de combustible 2018-2030-2050. *Fuente: Propia.*

El consumo de los vehículos de gasolina y diésel se reducen en un 60 % para 2050. Si se consigue el mix de generación supuesto con una mayoría de fuentes de energía renovables, esta reducción del consumo de gasóleo y gasolina sería un gran avance en el objetivo de conseguir la independencia energética, ya que los vehículos eléctricos podrían ser abastecidos por las fuentes renovables del país.

5.3.2. Emisiones

Para el análisis de las emisiones obtenidas para el modelo presentado a lo largo de este estudio, se generan dos **escenarios adicionales al escenario asumido**:

1. **Escenario de no inclusión del vehículo eléctrico.** Supone unas matriculaciones del 0 % tanto para el vehículo eléctrico puro como para el híbrido enchufable. Además, las matriculaciones de los demás vehículos permanecen constantes. Se utiliza para comprobar qué porción de la reducción de emisiones se debe a la penetración del vehículo eléctrico y no a la reducción de emisiones de los vehículos convencionales con tecnologías de emisión mejoradas.
2. **Escenario con un estancamiento de la reducción de los contaminantes atmosféricos.** Se considera que la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos (NOx y partículas) se estancará, siendo a partir de 2018 nula. En este supuesto, se toma la misma distribución de las matriculaciones para 2050 que en el escenario base (70 % V.E.). Así, se compara cuál sería la reducción de contaminantes atmosféricos si, aún produciéndose una sustitución de los vehículos pesados con motor de combustión interna por vehículos eléctricos, la mejora de las tecnologías de filtrado de estos vehículos no se diera.

Adicionalmente, se realizan dos escenarios más debido a su interés pero cuyos resultados no se comparan en este capítulo con el escenario base tomado por el estudio. Estos resultados se pueden encontrar en el *Anexo B*.

Gases de efecto invernadero

Teniendo en cuenta todas las hipótesis realizadas por este estudio, se llega a una reducción de las emisiones de CO₂ asociadas al funcionamiento de los vehículos pesados de un 70 % para 2050. Esta reducción ayudaría cumplir el objetivo marcado por la UE de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al transporte en un 60 % con respecto a los niveles de 1990. No existe un objetivo en cuanto al límite de estas emisiones para los vehículos pesados para 2050, sin embargo, considerando que estos vehículos suponen un tercio de las emisiones GEI del sector transporte, esta reducción del 70 % supondría un gran avance para conseguir el objetivo en cuanto al transporte en general.

Este descenso de las emisiones no sólo se debe a la penetración del vehículo eléctrico en el parque, sino también a la evolución del mix de generación supuesta por el modelo y a la reducción de emisiones de CO₂ por parte de los nuevos vehículos diésel y gasolina. Se estableció que los vehículos nuevos de este tipo reducirían sus emisiones en un 2 % anual, lo cual ayuda a conseguir este drástico descenso. Un vehículo pesado diésel emitirá en 2050, 139,20 gCO₂/kWh, frente a los 265,70 gCO₂/kWh de 2018. A su misma vez, un vehículo de gasolina emitirá 123,88 gCO₂/kWh frente a los 236,47 gCO₂/kWh de 2018.

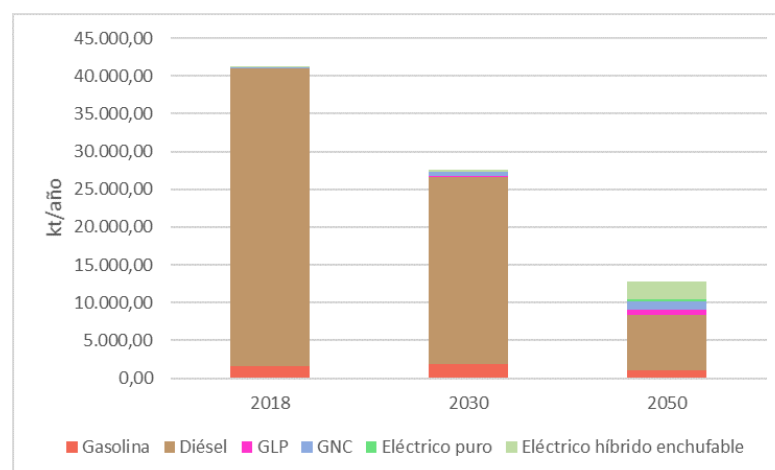


Figura 5.9: Evolución de las emisiones de CO₂ anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

Las emisiones asociadas al parque de vehículos pesados diésel disminuyen en un 82 % y las asociadas a los vehículos pesados de gasolina¹, un 35 %. Esta reducción

¹Las emisiones de CO₂ de los vehículos de gasolina aumentan ligeramente en el corto plazo

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

se debe tanto a la mejora supuesta en las tecnologías que limiten la emisión de GEI, como a la mejora de la eficiencia del vehículo que hace que consuma menos y por tanto emita menos gases. En cuanto a los vehículos eléctricos, de GNC y de GLP, aumentan las emisiones totales asociadas a ellos debido a que aumenta el número de este tipo de vehículos. Sin embargo, las emisiones medias de los vehículos eléctricos por cada unidad disminuyen al considerar la evolución hacia un mix de generación con una mayoría de fuentes renovables, por lo que, aunque aumente el parque, las emisiones asociadas a estos vehículos siguen siendo mínimas para 2050. El factor de emisión se reduce pasando del 0,247 kgCO₂/kWh actual al 0,013 kgCO₂/kWh estimado para 2050. Un vehículo eléctrico emite de media en 2050 1,6 gCO₂/kWh menos que en 2018.

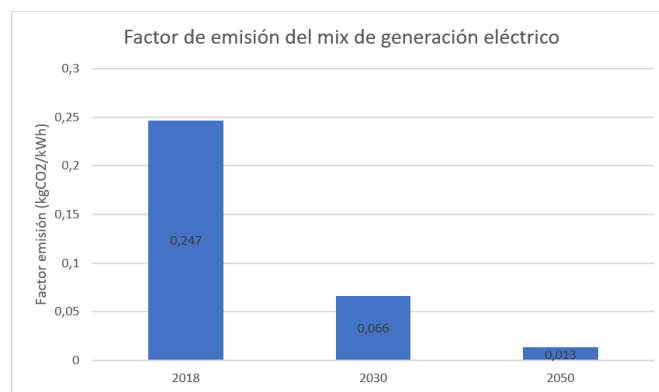


Figura 5.10: Evolución del factor de emisión del mix de generación eléctrica. *Fuente: Propia.*

Tipo de vehículo	CO2 2018	CO2 2030	CO2 2050
Gasolina	1.584,76	1.902,37	1.025,54
Gasóleo	39.435,16	24.652,73	7.291,16
GLP	7,39	253,68	678,41
GNC	107,96	495,87	1.117,78
Eléctrico puro	1,38	60,78	316,80
Eléctrico híbrido enchufable	3,94	169,20	2.394,64
Total	41.142,24	27.537,11	12.825,03

Tabla 5.4: Evolución de las emisiones de CO₂ (kt/año) del total del parque de vehículos pesados según el tipo de combustible 2018-2030-2050. *Fuente: Propia.*

debido a que al intentar mantener el número de kilómetros que realizan los vehículos pesados constante, los vehículos de gasolina deben realizar más kilómetros de los que actualmente realizan y por tanto, en cifras totales consumen y emiten más.

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL MODELO Y DE LA HERRAMIENTA AL CASO ESPAÑOL

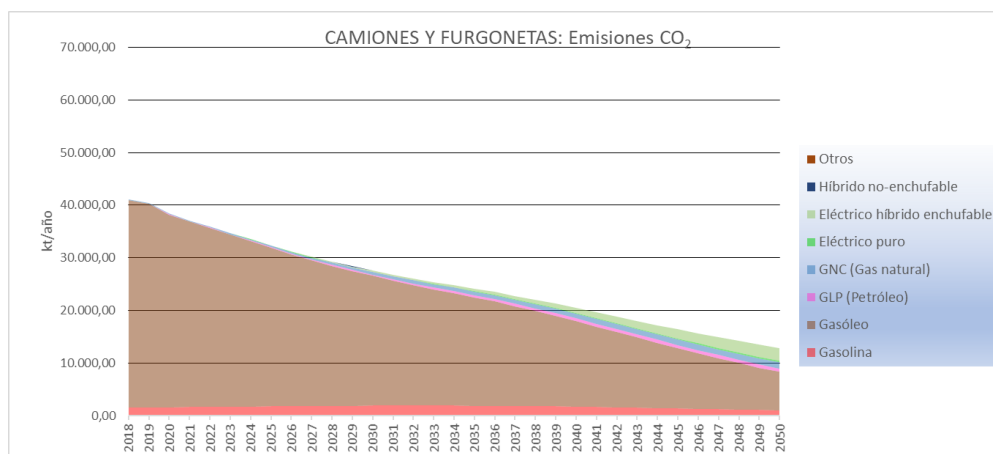


Figura 5.11: Evolución de las emisiones de CO₂ anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

Para comprobar qué porción de este descenso de las emisiones GEI se deben a la penetración del vehículo eléctrico y qué otra porción son el resultado de la reducción de estas emisiones asociadas a los propios vehículos convencionales debido a la mejora de las tecnologías, se comparan estos resultados con los resultados del primer escenario adicional comentado.

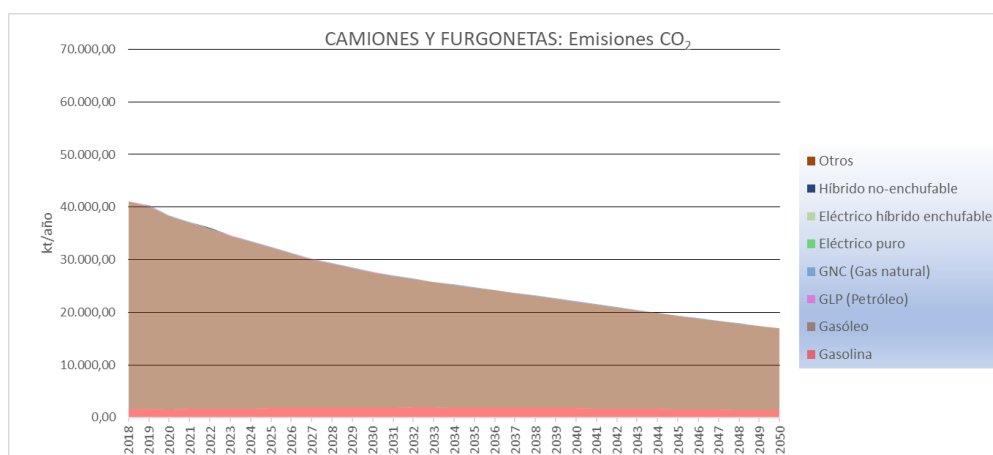


Figura 5.12: Evolución de las emisiones de CO₂ anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050 para el escenario adicional de inclusión nula del VE *Fuente: Propia.*

La reducción de las emisiones de CO₂ en este caso, es algo menor que en el escenario en el que se consideran unas matriculaciones del 70 % de los vehículos eléctricos para 2050. El total de las emisiones GEI asociadas a los camiones y

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

furgonetas, si el vehículo eléctrico no existiera en 2050 y se produjeran las mejoras previstas en las tecnologías de los vehículos pesados convencionales, sería de 17.023,75 kt/año, frente a las 12.825 kt/año que se obtienen en el caso de que sí se produjera la inclusión del vehículo eléctrico. La reducción del parque de vehículos diésel en un 29 % y la sustitución de los mismos por vehículos eléctricos, evitaría, por tanto, algo menos de 5.000 kt/año, un 12 % de las emisiones de 2018. Se debe tener en cuenta que esta reducción de emisiones se debe, en gran medida, al mix de generación tomado. Dependiendo del mix que se tome para 2050, esta reducción será mayor o menor.

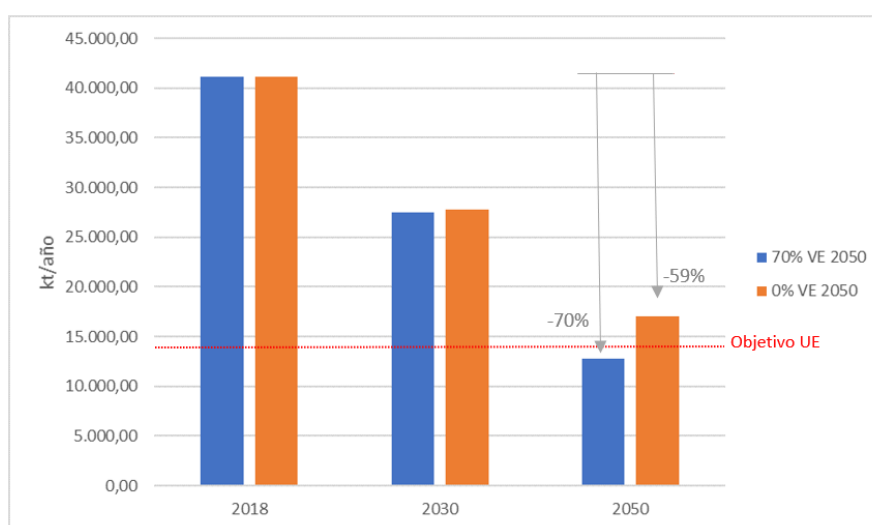


Figura 5.13: Comparativa de evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados del escenario base vs. escenario adicional de inclusión nula del VE *Fuente: Propia.*

Estos resultados sugieren, que para conseguir los objetivos marcados por la UE, no sólo hace falta cambiar la flota de vehículos actuales por vehículos eléctricos si no que también es necesario que esto vaya acompañado de un desarrollo de un mix de generación más limpio y de una mejora de las tecnologías que limitan las emisiones de los vehículos con motores de combustión interna o de una disminución del número de estos vehículos más drástica. Con una reducción del 29 % del parque de vehículos pesados diésel, una reducción del factor de emisión asociado mix de generación de un 95 % y un aumento del 26 % del número de vehículos eléctricos en el el parque de vehículos pesados, se logra un 70 % de reducción de emisiones de CO2. Si la reducción del parque del vehículo convencional no se da, esta reducción es del 59 %. En escenarios más optimistas respecto a la penetración

del vehículo eléctrico este porcentaje alcanza números inmejorables. Sin embargo, en escenarios donde el mix de generación es más contaminante para 2050, esta reducción no es tan drástica (ver *Anexo B*).

Contaminantes atmosféricos

A la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero va unida la también drástica reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos (partículas y NOx) asociadas al parque de vehículos pesados.

Cabe resaltar, que en este estudio tan sólo se han tenido en cuenta las partículas debidas al proceso de combustión en el motor y no las producidas por la fricción en la rodadura. Los vehículos eléctricos no presentan emisiones del primer tipo, pero sí emiten partículas debido a la fricción en sus ruedas, sin embargo, en un intento de simplificar el modelo, no se han tenido en cuenta esta segunda fuente de emisión de partículas.

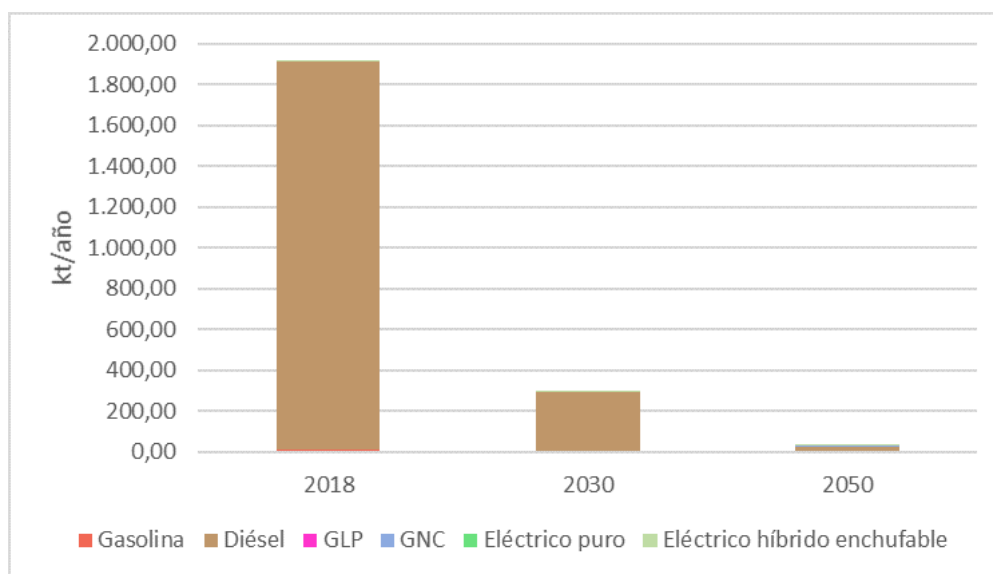


Figura 5.14: Evolución de las emisiones de NOx anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

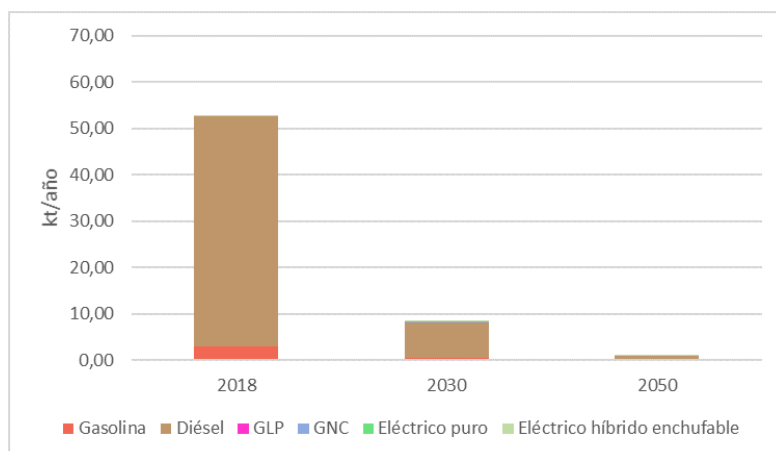


Figura 5.15: Evolución de las emisiones de partículas del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

El descenso de las emisiones de estos contaminantes se debe a la reducción del parque de vehículos con motor de combustión interna, a los cuales se le asocia la mayor parte de las emisiones de estos contaminantes y a la disminución de la distancia anual que estos realizan. Además, en 2018 siguen en funcionamiento muchos vehículos muy antiguos, los cuales son mucho más contaminantes que los actuales en cuanto a este tipo de emisiones. En los últimos años se ha dado una reducción muy drástica de los límites por lo que al morir el parque antiguo e ir quedando los más recientes los niveles de emisión de estos contaminantes se reducen drásticamente.

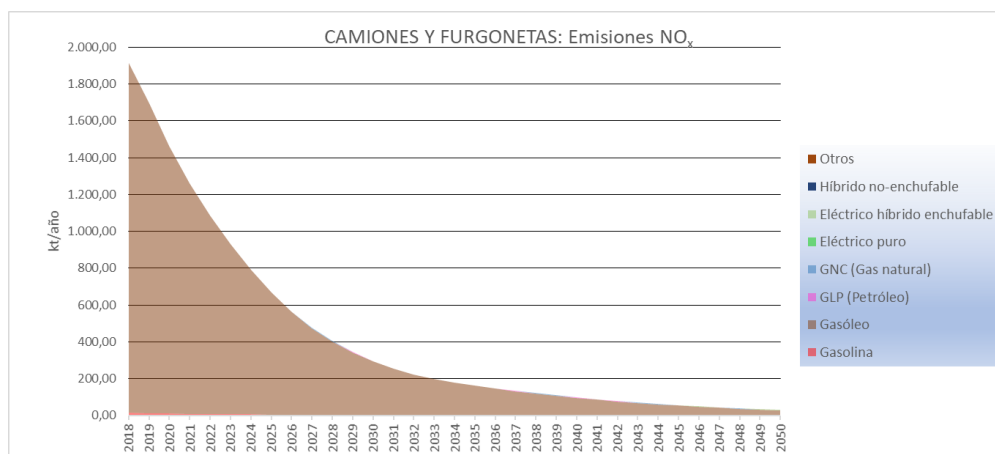


Figura 5.16: Evolución de las emisiones de NOx anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL MODELO Y DE LA HERRAMIENTA AL CASO ESPAÑOL

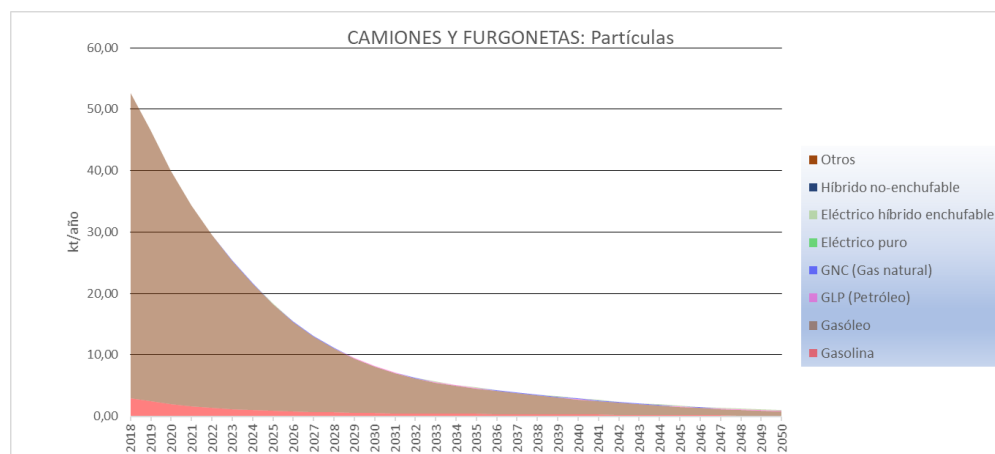


Figura 5.17: Evolución de las emisiones de partículas del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

Teniendo en cuenta las hipótesis anteriormente comentadas, en 2050, el NO_x se ve reducido en un 98,5 % y las partículas en un 98 % con respecto a 2018.

Emisiones	2018	2030	2050
NO _x	1.914,6	350,3	52,6
PM _x	52,60	8,23	1,02

Tabla 5.5: Evolución de las emisiones en kt/año de NO_x y partículas asociadas a los vehículos pesados. *Fuente: Propia.*

Esta reducción, se debe en gran medida a la reducción de las emisiones asociadas a los vehículos de gasóleo. Las emisiones totales de NO_x asociadas al parque de vehículos pesados diésel supusieron en 2050 un 1,3 % de estas emisiones de estos mismos vehículos en 2018, y las de partículas un 1,8 %. Las emisiones medias de un vehículo pesado diésel de 2050, frente a uno de 2018 se ven reducidas en un 89 % en ambos casos.

Esta reducción se da tanto en carretera como en ciudad, ya que la mejora de la tecnología se da en el vehículo en sí y no en el tipo de recorrido. Cabe destacar la importancia que esto tendría, sobre todo, en la ciudad, donde las altas concentraciones de estos contaminantes afectan a la salud humana.

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

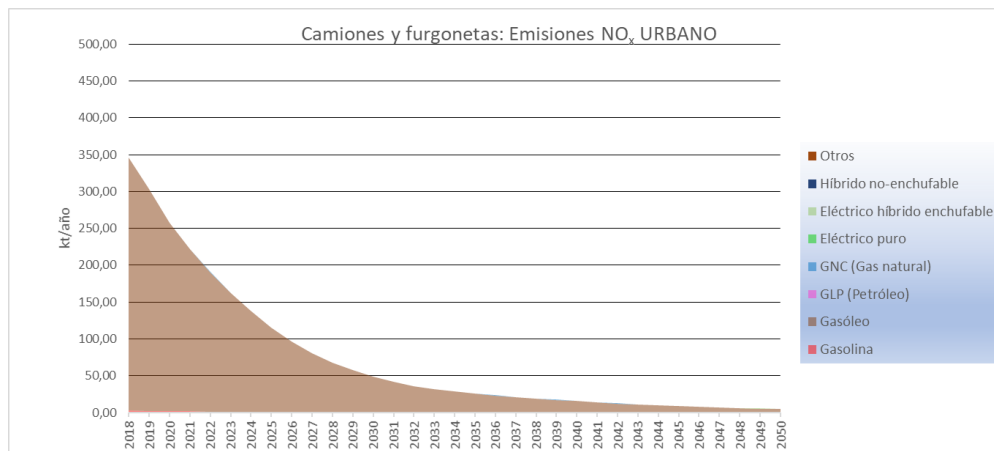


Figura 5.18: Evolución de las emisiones de NOx anuales por ciudad del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

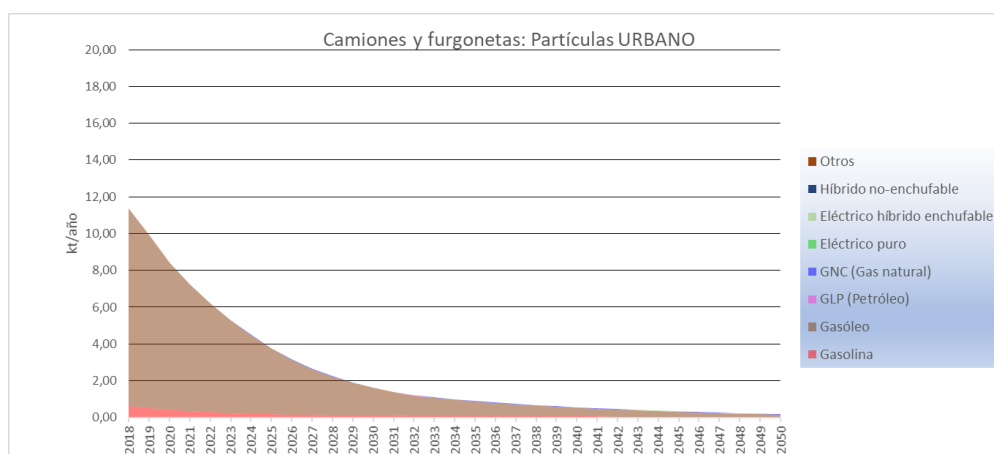


Figura 5.19: Evolución de las emisiones de partículas por ciudad del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

Al no haber considerado las partículas debidas a la fricción en la rodadura el descenso de este contaminante no sólo se debe a la reducción de vehículos convencionales si no a la sustitución de estos por vehículos eléctricos, a los cuales no se han asociado emisiones de estas partículas por lo explicado anteriormente. Además, también es importante la mejora supuesta en la tecnología utilizada por los vehículos con motor de combustión interna. Se prevé una reducción anual de las emisiones de NOx y partículas por parte de estos de vehículos de entre un 10 % y un 3 % anual, considerando que en los años pasados (1990-2018), según la normativa, esta mejora fue de un 12 % anual. Esta hipótesis es quizás algo optimista,

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL MODELO Y DE LA HERRAMIENTA AL CASO ESPAÑOL

considerando que los niveles de estas emisiones ya están actualmente en niveles muy bajos. Por ello, se lleva cabo un escenario adicional en el que no se prevé reducción de las emisiones de estos contaminantes para los vehículos nuevos que se matriculen a partir de 2019, caso más pesimista. Así, se compara cuánto de esta reducción se debe a la entrada del vehículo eléctrico y cuánto a la mejora de la tecnología supuesta por el escenario base y la mortalidad de los vehículos antiguos muy contaminantes.

Además, también se comparan los resultados obtenidos con el escenario de no inclusión del vehículo eléctrico, para averiguar qué porción de la reducción de estas emisiones se debe a la entrada del vehículo eléctrico en el parque.

Las siguientes *figuras 5.20 y 5.21*, ilustran los resultados de los tres escenarios planteados tanto para el NOx como para las partículas.

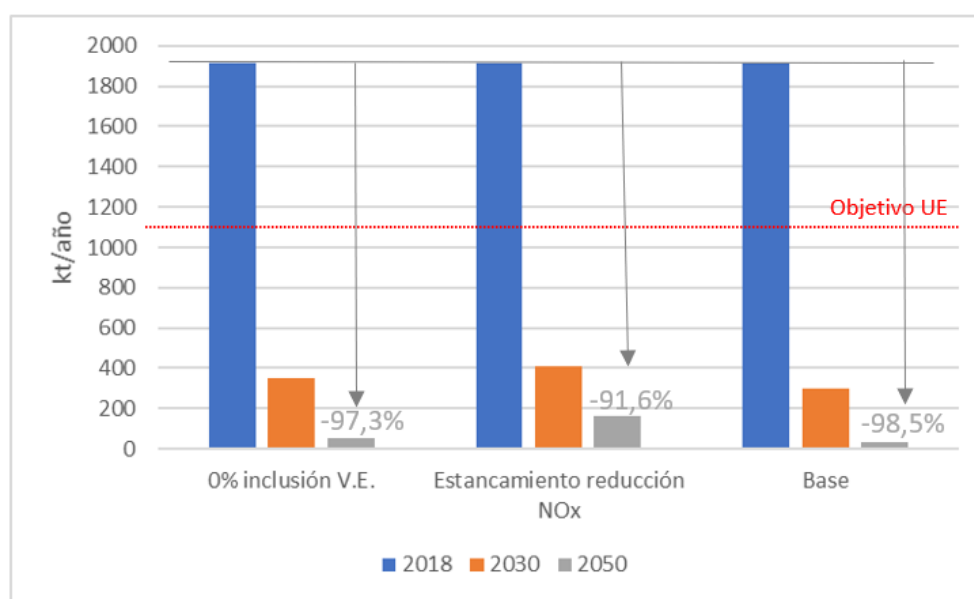


Figura 5.20: Comparativa de los tres escenarios planteados para el NOx. *Fuente: Propia*

Los tres escenarios cumplirían con el objetivo de la UE de reducir los niveles de NOx y partículas en el sector transportes ² en un 40 % con respecto a los niveles

²Se supone que esta reducción se dará en la misma proporción en todos los sectores del transporte.

5.3. Evolución del consumo y de las emisiones del parque de vehículos pesados

de 2015 para 2050. Sin embargo, el escenario donde se da una mayor reducción es en el escenario base, cuando se produce una penetración del V.E. del 70 % y las tecnologías de filtrado siguen avanzando.

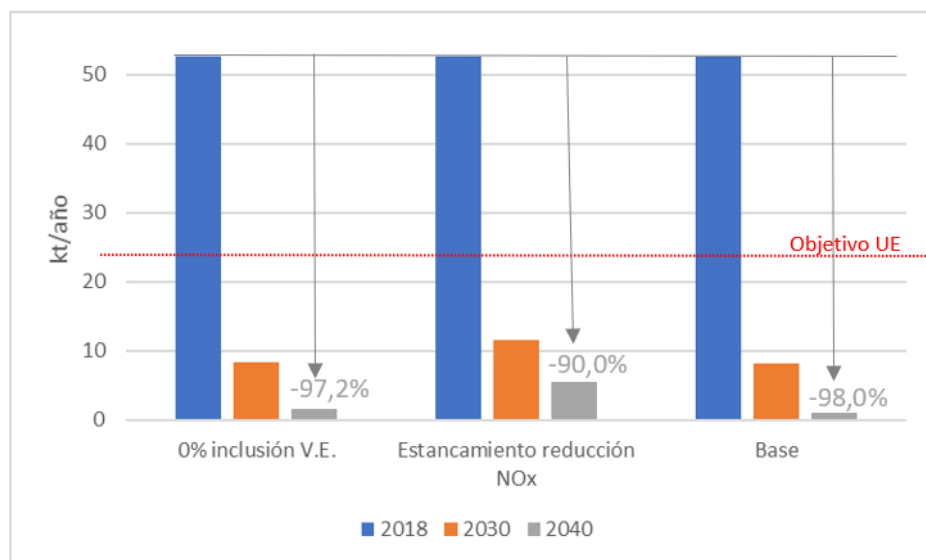


Figura 5.21: Comparativa de los tres escenarios planteados para las partículas.
Fuente: Propia

La disminución de las partículas en el caso de no inclusión del V.E. es de un 97,2% en 2050 con respecto a los niveles de 2018, frente al 98 % del supuesto más optimista sobre la penetración de este tipo de vehículos en el parque. En el caso del NOx, la reducción a 2050 es del 97,3 %, frente al 98,5 % del escenario base.

En cuanto al escenario que supone el estancamiento de la mejora de las tecnologías, las partículas se reducen en un 90 %, un 8 % más que en el escenario base y el NOx en un 91,6 %, 7 % menos que el primer escenario.

Estos resultados sugieren que, aunque la mejora supuesta a futuro en la tecnología de filtrado de los vehículos y la introducción del vehículo eléctrico consiguen unos niveles de las emisiones aún más bajos que si no se dieran, la mayor parte de la reducción se debe a la mejora ya conseguida en los años anteriores a 2018.

Capítulo 6

Breve análisis económico de la inclusión del vehículo eléctrico

6.1. Precio actual de la electricidad y vehículo pesado eléctrico

El coste de operación del vehículo pesado eléctrico para el usuario depende del precio de la electricidad y el consumo del mismo. El usuario paga por la energía de la que dispone en el cargador, ya que las pérdidas en el transporte y distribución de la electricidad son asumidas por el operador en cuestión, es decir, ya están incluidas en el precio de la electricidad. Por tanto, el usuario pagará el precio correspondiente a un consumo de 1,65kWh/km, en el cual solo se incluye el rendimiento de la batería y el cargador. El precio medio de la electricidad para el usuario en 2018 fue de 0,13€/kWh, por lo que el coste medio para el usuario final asociado al funcionamiento del vehículo eléctrico pesado en este mismo año sería de 21,45€/100km.

Año	Consumo	Precio kWh	Coste usuario/100km
2018	1,65 kWh/km	0,13€	21,45€

Tabla 6.1: Coste usuario final asociado al funcionamiento del vehículo pesado eléctrico medio. *Fuente: Propia a partir de datos de REE y fabricantes.*

Una vez conocido el precio de operación del vehículo eléctrico, es de interés conocer el precio de adquisición del mismo. Debido a que la mayor parte de los camiones eléctricos se tratan aún de un concepto, es decir, están siendo producidos pero no están siendo aún vendidos, para la mayoría de modelos de los cuales se ha hablado en este documento no están disponibles aún los precios de mercado.

6.1. Precio actual de la electricidad y vehículo pesado eléctrico

Esta información tan sólo está disponible para los dos camiones de Tesla¹ y para el Thor Truck ET-One, los cuales se recogen en la siguiente *Tabla 6.2*.

Marca	Modelo	Precio
Tesla	Semi Standard	136.000 €
Tesla	Semi Long Range	163.000 €
Thor Trucks	ET-One	220.000 €
Precio Medio	.	173.000 €

Tabla 6.2: Precio de tres modelos de vehículo pesado eléctrico y precio medio del vehículo pesado genérico estimado en la actualidad. *Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.*

Para el año 2050, el coste de funcionamiento del vehículo eléctrico dependerá tanto de la evolución del precio de la electricidad como de la evolución del consumo de los vehículos eléctricos. Si se toman los datos utilizados en el modelo, el consumo medio del vehículo eléctrico para 2050 será de 1,4 kWh/km. En cuanto al precio de la electricidad, para un primer análisis se supondrá que no varía con respecto a 2018.

Año	kWh/km	€/kWh	€/100km
2018	1,65	0,13 €	21,45 €
2050	1,4	0,13 €	18,2 €

Tabla 6.3: Coste usuario final asociado para 2050 al funcionamiento del vehículo pesado eléctrico medio. *Fuente: Propia a partir de datos de REE y fabricantes.*

¹El Tesla Semi estará disponible en dos versiones: una con una autonomía de 482 km y la otra con una de 804 km.

6.2. Precio del diésel y de los vehículos pesados convencionales

Se analiza el precio del diésel al ser el combustible utilizado por la mayoría del parque de vehículos pesados actual. En 2018, el precio medio del Gasóleo A fue de 1,109€/L. En este mismo año, el consumo medio de los vehículos pesados españoles fue de 35L/100km, por lo que el coste medio de recorrer 100km para los usuarios de estos vehículos fue de 38,815€.

Año	Consumo	Precio/L	Coste usuario/100km
2018	35 L/100km	1,109 €/L	38,82 €

Tabla 6.4: Coste usuario final asociado al funcionamiento del vehículo pesado diésel medio en 2018. *Fuente: Propia a partir de datos fabricantes.*

Al igual que para el vehículo eléctrico, se analizan los precios de venta de los modelos de varios vehículos pesados. El precio de estos vehículos varía mucho según su capacidad y tamaño. Las furgonetas rondan los 40.000€, mientras que los camiones más grandes pueden llegar a tener un precio superior a los 100.000€. Se recogen aquí los precios de tres camiones de tamaño similar al Tesla Semi y al Thor Truck ET-One.

Marca	Modelo	Precio
Volkswagen	Constellation 17280	65.000 €
Mercedes-Benz	ATEGO 1726	64.000 €
Iveco	Tector 170E22	55.000 €
Volvo	FE CNG	90.000 €
Precio Medio	.	68.500 €

Tabla 6.5: Precio de modelos de vehículo pesado de tamaño similar a los eléctricos analizados. *Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.*

Para el año 2050, el consumo tomado para el cálculo es el que se toma en el modelo asumiendo una mejora del consumo de estos vehículos del 0,5 % anual hasta 2050, es decir 30 L/100km. En cuanto al precio del diésel, se toma el precio medio de los últimos 5 años.

6.3. Comparativa económica: vehículos pesados convencionales vs. eléctricos.

Año	Consumo	Precio/L	Coste usuario/100km
2018	35 L/100km	1,109 €/L	38,82 €
2050	30 L/100km	1,15 €/L	34,5 €

Tabla 6.6: Coste usuario final asociado al funcionamiento del vehículo pesado diésel medio 2050. *Fuente: Propia a partir de datos fabricantes.*

6.3. Comparativa económica: vehículos pesados convencionales vs. eléctricos.

Se realiza un breve análisis económico que compara la rentabilidad del vehículo eléctrico en contraste con el vehículo diésel para el usuario, según la distancia anual media recorrida y teniendo en cuenta el precio medio de compra de ambos y el precio del diésel y la electricidad.

El modelo presentado en este estudio, toma la hipótesis de que la distancia recorrida anualmente por el parque de vehículos pesados permanece constante a lo largo de los años. En concreto, un vehículo pesado realiza según el modelo 26.500 km al año. Sin embargo, es interesante realizar un estudio económico para identificar a partir de qué cantidad de kilómetros recorridos, los vehículos pesados eléctricos serían más rentables para el usuario.

Para poder establecer una comparativa del ahorro anual que supone una tecnología frente a otra, se establece un periodo de amortización igual a la vida media de los vehículos pesados, es decir, 15 años.

Análisis 2018

Primeramente se analiza a partir de qué distancia recorrida anualmente el vehículo eléctrico sería más rentable a día de hoy. Para ello, se utilizan los datos proporcionados en la siguiente *Tabla 6.7* y se obtiene la *Figura 6.1*.

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000 €	15 años	11.533 €	21,45 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	38,82 €/100km

Tabla 6.7: Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. *Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.*

CAPÍTULO 6. BREVE ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INCLUSIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

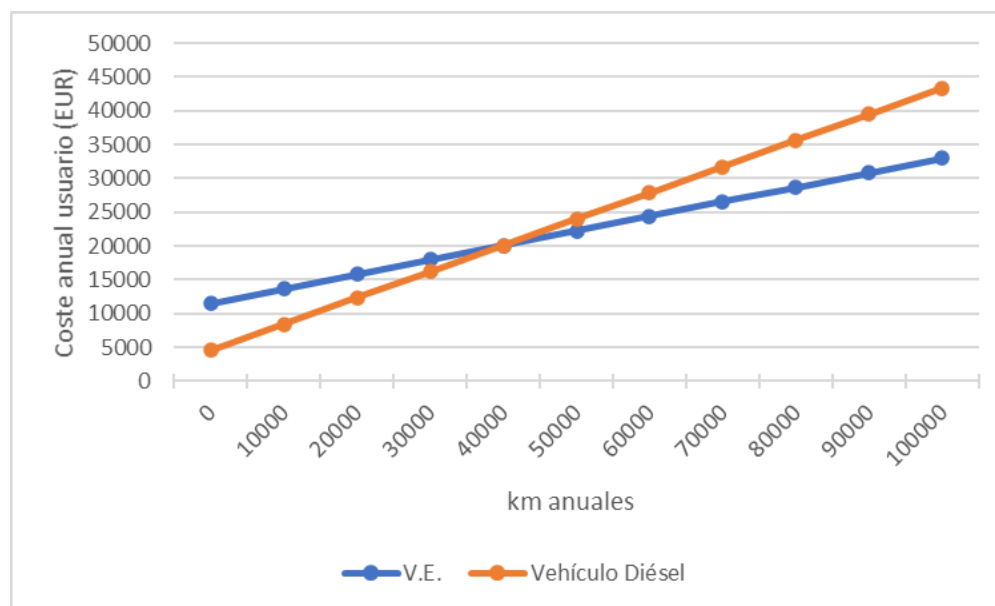


Figura 6.1: Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2018. *Fuente: Propia*

Se observa, que para que un vehículo pesado eléctrico fuera más rentable a día de hoy que un vehículo pesados diésel, éste tendría que recorrer una media de 40.100 km o más. Si se toman los 26.500 km anuales estimados por nuestro modelo, por tanto, a día de hoy el vehículo eléctrico no sería rentable.

Análisis 2050

Para 2050, se estima una reducción del 45 % en el precio de los vehículos eléctricos, tras analizar los escenarios propuestos por R. Ruiz en su trabajo *Cómo los diferentes escenarios hacia una movilidad menos contaminante influirían en España a un nivel micro y macro económico* [47]. Este análisis está realizado para turismos y considera esta reducción en un 30 %. Sin embargo, el mercado de los vehículos pesados eléctricos no está al mismo nivel de desarrollo que el de los turismos, a día de hoy. Por ello, se prevé que se puede dar una reducción algo mayor de los precios al aparecer más modelos en el mercado y al tener más capacidad de mejora en el desarrollo de las tecnologías de estos vehículos. Esta reducción se debe tanto al abaratamiento de las tecnologías como a las ayudas del gobierno para incentivar la compra de estos vehículos, las cuales ya existen pero se prevé que se aumenten en los próximos años.

6.3. Comparativa económica: vehículos pesados convencionales vs. eléctricos.

En primera instancia, el precio de la electricidad y del diésel tomado es el de 2018, al igual que el precio medio de los vehículos diésel. Hay que tener en cuenta, no obstante, que el coste de funcionamiento disminuye debido a la reducción en el consumo prevista.

Los datos tomados se reflejan en la siguiente *Tabla 6.8*

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	95.150 €	15 años	6.343 €	18,2 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	34,5 €/100km

Tabla 6.8: Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. *Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.*

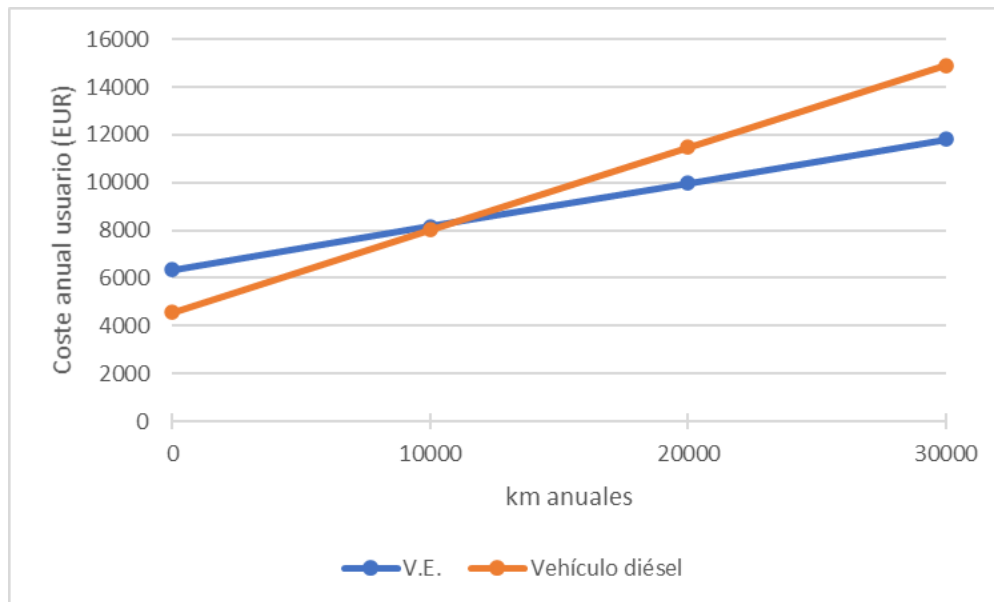


Figura 6.2: Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 con reducción del precio de compra del V.E. *Fuente: Propia*

Para que un V.E. sea más rentable en 2050 que uno diésel, suponiendo que su precio de compra se reduce en un 45 % con respecto al precio medio de compra de 2018 (173.000 €), tiene que recorrer más de 10.800 km. Es decir, para la media de kilómetros estimada por el modelo (26.500 km), el V.E. en 2050 sería más rentable para el usuario que el vehículo diésel.

Si el precio del vehículo eléctrico permaneciera invariable para 2050, no obstante, el número de kilómetros que debería realizar el usuario para que el coste

CAPÍTULO 6. BREVE ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INCLUSIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

asociado a un vehículo eléctrico fuera menor que el asociado a un vehículo diésel, sería de 42.000 km, es decir el recorrido medio anual de un vehículo pesado debería aumentar en un 58 % con respecto a la media de 2018.

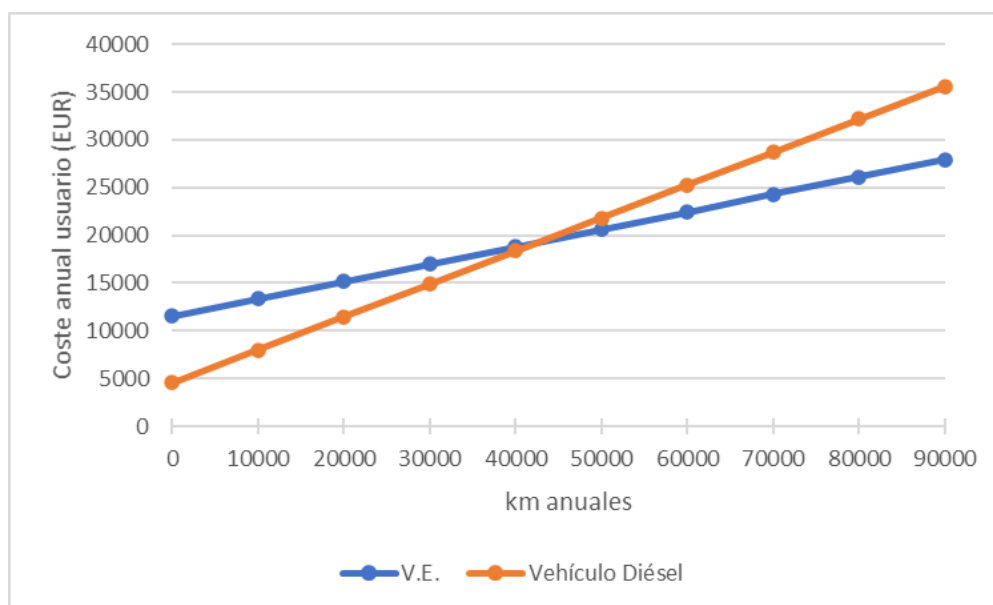


Figura 6.3: Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 sin reducción del precio de compra del V.E. *Fuente: Propia*

Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad para comprobar cómo varían los resultados, de mantenerse el precio medio de compra del V.E., si varían los precios de la electricidad y el diésel. Para ello, se realizan tres escenarios:

1. **Escenario A.** El precio de la electricidad disminuye drásticamente y el precio del diésel se mantiene constante. El precio de la electricidad disminuye a 0,07€/kWh, según lo previsto por *Deloitte* para 2050.

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000€	15 años	11.533€	9,8€/100km
Diésel	68.500€	15 años	4.567€	34,5€/100km

Tabla 6.9: Escenario A. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

En este caso, al reducirse el precio de la electricidad los V.E. son más rentables a partir de los 28.200 km recorridos, cifra algo superior a los kilómetros

6.3. Comparativa económica: vehículos pesados convencionales vs. eléctricos.

medios recorridos anualmente por un vehículo pesado en 2018. Si este recorrido permaneciera constante los V.E. estarían en desventaja económica con respecto a los diésel, aún reduciéndose el precio de la electricidad en un 50 %. No obstante, si aumentara por encima del 6 %, los V.E. serían más económicos.

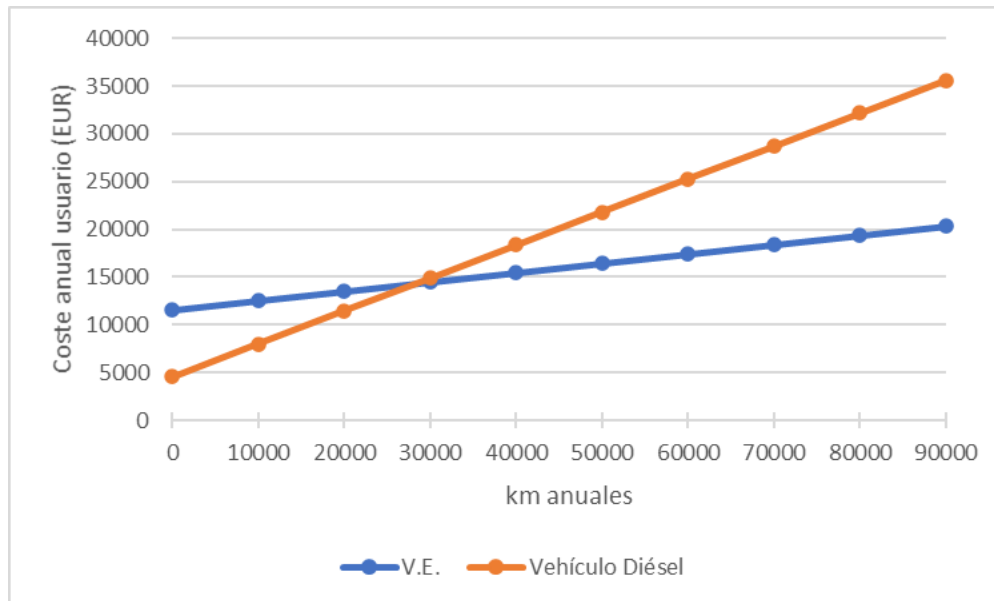


Figura 6.4: Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

2. **Escenario B.** El precio de la electricidad permanece constante y el precio del diésel aumenta. El precio del diésel aumenta debido a las penalizaciones impuestas a las emisiones. Se supone una subida de los impuestos asociados a este combustible. Los usuarios de gasóleo pagarían un plus por adquirir “derechos de emisión”. Así, se incentivaría el uso de otros combustibles o tecnologías. Para este escenario se toma un precio del gasóleo un 30 % superior a la media de los últimos años, es decir, 1,50 €/L.

CAPÍTULO 6. BREVE ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INCLUSIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000 €	15 años	11.533 €	18,2 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	45 €/100km

Tabla 6.10: Escenario B. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

Los kilómetros a partir de los cuales el V.E. es más barato anualmente para su usuario en este supuesto son 26.000 km. Es decir, si los vehículos pesados de 2050 hicieran los mismos kilómetros, de media, que los que realizaron en 2018, y el precio del diésel aumentara en un 30 % con respecto a la actualidad, el V.E. sería más económico para el usuario.

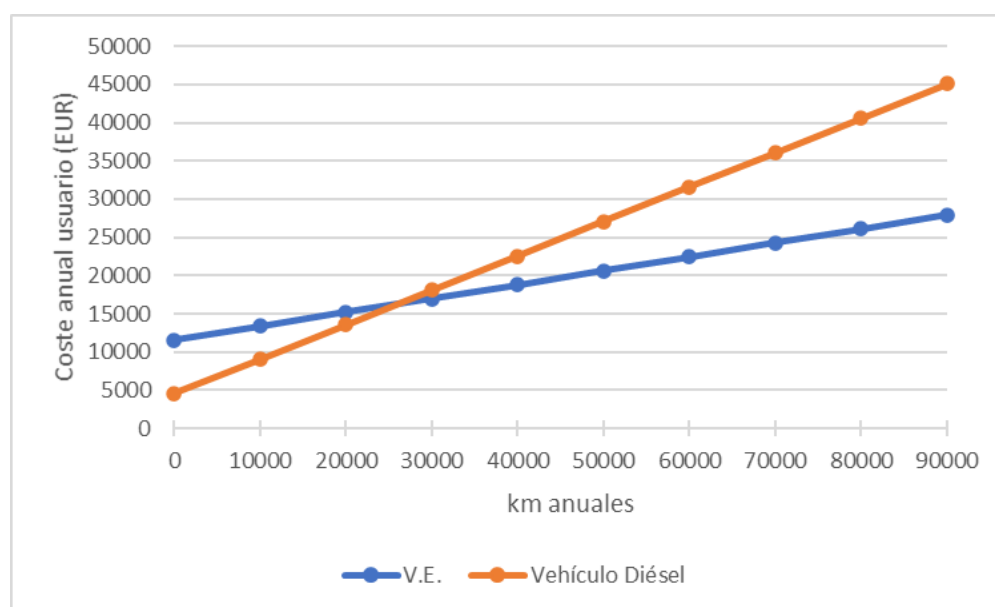


Figura 6.5: Escenario B. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

3. **Escenario C.** El precio de la electricidad se reduce, en menor medida y el precio del diésel aumenta, en menor medida.

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000 €	15 años	11.533 €	15 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	40 €/100km

Tabla 6.11: Escenario C. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs. el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

6.3. Comparativa económica: vehículos pesados convencionales vs. eléctricos.

Unos 27.800 serían los kilómetros que un usuario de vehículo eléctrico pesado debería realizar anualmente para que su camión le costara menos que un camión diésel, suponiendo una reducción del precio de la electricidad del 20 % y un aumento del precio del diésel del 16 %, es decir 1.300 km más que la media de 2018.

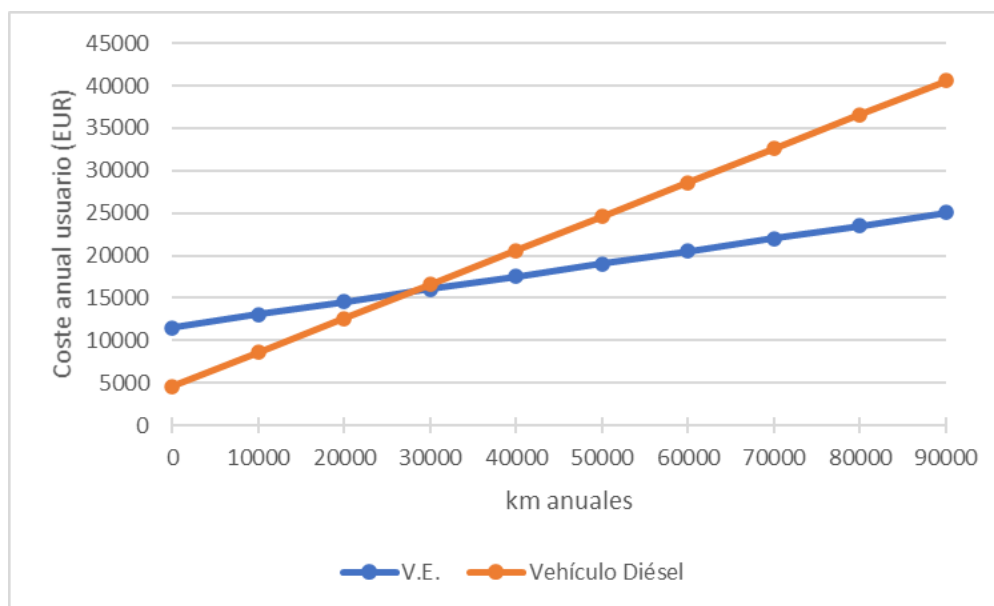


Figura 6.6: Escenario C. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

Teniendo todo lo anterior en cuenta, para que los costes asociados a la compra y el funcionamiento del vehículo pesado eléctrico sean menores para su usuario que un vehículo pesado diésel en 2050, debe ocurrir alguno de los acontecimientos siguientes o cualquier combinación de ellos:

1. Disminución del precio de compra del V.E.
2. Subida el precio del diésel.
3. Bajada del precio de la electricidad.
4. Aumento de la distancia media que recorren los vehículos pesados.

En general, si la distancia media recorrida aumenta hasta 42.000 km/año, es decir, un 58 % más de la media actual (26.500km/año), el vehículo eléctrico pesado sería más rentable aún si todos los precios se mantuvieran invariables con respecto a 2018.

Capítulo 7

Conclusiones

Consciente de la extensión del presente documento, se presentan las conclusiones y resultados más importantes, a modo de resumen, para que el lector pueda identificar los datos que le suscitan más interés y referirse a ellos sin necesidad de la lectura del documento completo.

Los vehículos pesados producen, a día de hoy, un 27 % de las emisiones asociadas al transporte en la Unión Europea y un 5 % de las emisiones totales. A pesar de que estos porcentajes puedan parecer poco significativos, la única manera de conseguir rebajar los niveles de contaminación en el planeta es combatiendo todos los agentes que la provocan, por pequeña que sea su aportación. Además, los combustibles fósiles son un recurso limitado y que genera una gran dependencia energética en los países donde no se dispone de este combustible naturalmente, como es el caso de España.

Por todo ello, el vehículo eléctrico se está popularizando cada vez más. En el sector de los turismos las ventas de este tipo de vehículos ya alcanzan cifras significativas. Sin embargo, en el sector de los vehículos pesados, aún son pocos los modelos que están o estarán a la venta este año. Tras el estudio realizado, se concluye que el desarrollo de estos vehículos y la sustitución de los vehículos convencionales por los mismos, conduce a los objetivos de reducción del consumo y las emisiones. No obstante, no sólo basta con la renovación de la flota por vehículos eléctricos, sino que es necesario conseguir un sistema de producción eléctrica basado en las fuentes limpias y renovables. Esta será la única manera de conseguir independencia energética y reducir las emisiones a niveles mínimos. Adicionalmente, mientras que la penetración del vehículo pesado eléctrico no sea muy significativa, se debe progresar en el perfeccionamiento de las tecnologías utilizadas por los vehículos convencionales para reducir tanto su consumo como sus emisiones, en especial las emisiones de gases de efecto invernadero que son las que menos reguladas están

actualmente para este tipo de vehículos.

7.1. Datos importantes tomados por el modelo utilizado, resultados y conclusiones

7.1.1. Mix de generación

La evolución del mix de generación eléctrico supuesto es crucial para el cálculo de emisiones asociadas al vehículo eléctrico, el cual utiliza la energía que proviene de este mix para su funcionamiento. En 2018, año que se toma como referencia para todos los cálculos del modelo, el factor de emisión de este mix fue de 0,247kg-CO₂/kWh.

Para determinar la posible evolución del mix de generación eléctrica española, hay que tener en cuenta el objetivo de conseguir un mix casi totalmente libre de emisiones para 2050. Se prevé, por tanto, un incremento de las energías renovables. Para estimar la evolución de este mix se utilizan los datos proporcionados por *Monitor Deloitte*, de los cuales cabe destacar:

- Se requieren, para 2050, 35-40 GW de nueva potencia renovable, repartida entre la generación eólica (18 GW), la fotovoltaica (12 GW) y otras tecnologías renovables (5 GW).
- Las centrales de gas de ciclo combinado (CCGT) proporcionan un respaldo de 10-15 GW.
- Se cierra todo el carbón nacional para 2030.
- Se mantienen las centrales nucleares.

La evolución resultante del mix de generación se expone a continuación:

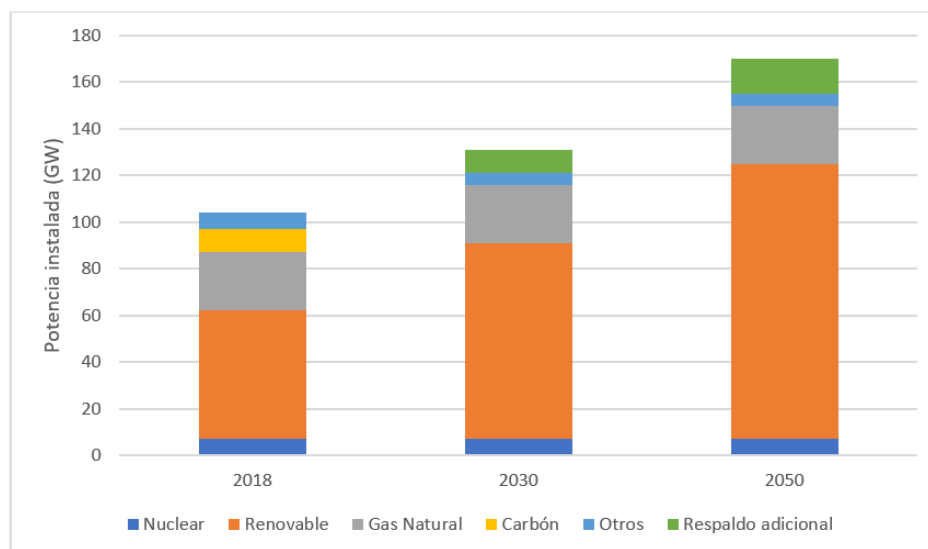


Figura 7.1: Evolución del parque de generación. *Fuente: Elaboración propia a partir de datos Monitor Deloitte [2].*

Se hace una estimación del factor de emisión para 2030 y 2050 teniendo en cuenta que las únicas plantas que seguirían emitiendo CO₂ en este mix de generación serían las plantas CCGT.

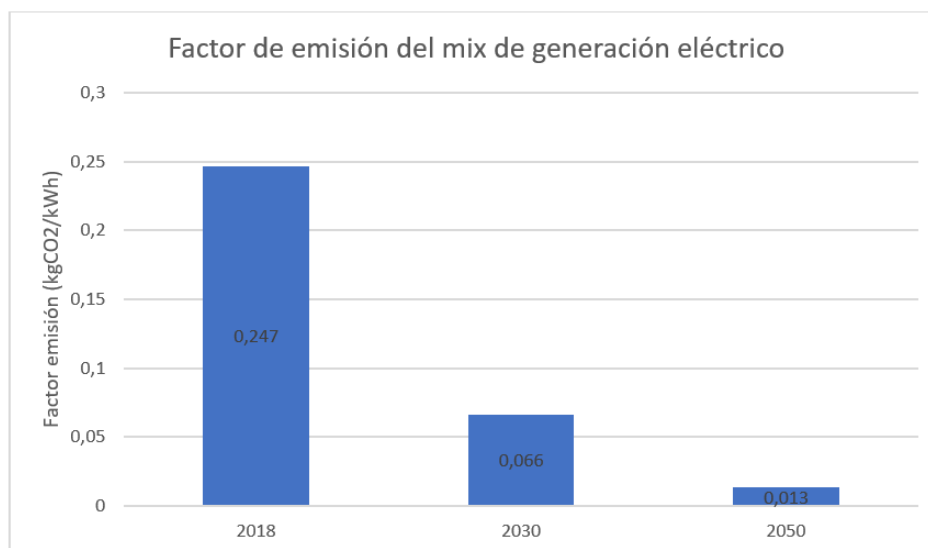


Figura 7.2: Evolución del factor de emisión del mix de generación eléctrico. *Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE y Monitor Deloitte [2].*

7.1.2. Emisiones asociadas al vehículo eléctrico

Para cuantificar las emisiones asociadas al vehículo eléctrico es necesario conocer su consumo. Se toma como referencia de consumo 1,5 kWh/km para el vehículo pesado eléctrico actual (2018) en barras de la batería y se estima una mejora en el consumo de estos vehículos del 0,5 % anual. Además, para el correcto cálculo de la energía consumida por estos vehículos en su funcionamiento, se asumen unas pérdidas del 3 % en el transporte y distribución de la electricidad y de un 4,4 % en la carga y descarga de las baterías. Las emisiones y el consumo obtenido para los V.E. son:

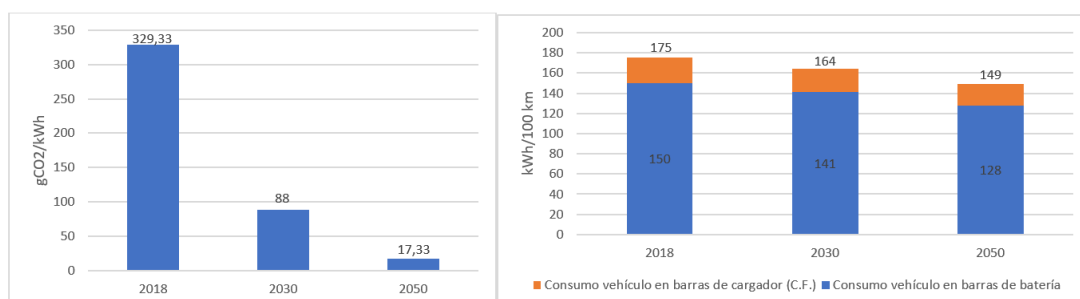


Figura 7.3: Emisiones de CO2 asociadas a vehículos pesados eléctricos vs. consumo de los mismos en años 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12], Iberdrola [13] y Monitor Deloitte [2].*

Adicionalmente, se estima que un vehículo eléctrico con 35 años de antigüedad consumirá un 10 % más que un vehículo nuevo, debido al desgaste de la tecnología y que un vehículo eléctrico consume un 50 % menos en ciudad. Así, el consumo en barras de la central del vehículo eléctrico medio se expone en las siguientes tablas:

C. barras de batería	R. carga/descarga	C.F.	R. transporte	C. B.C. carretera
1,5 kWh/km	85,74 %	1,75 kWh/km	87 %	2,01 kWh/km

Tabla 7.1: Cálculo del consumo en barras de la central teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. *Fuente: Propia a partir de datos La Federación Europea para el Transporte y el Medio Ambiente [12] e Iberdrola [13].*

C. estimado B.C. carretera	Corrección ciudad	C. estimado ciudad
2,01 kWh/km	0,5	1,005 kWh/km

Tabla 7.2: Cálculo del consumo en barras de la central en ciudad teniendo en cuenta los rendimientos y correcciones. *Fuente: Propia a partir de datos de la Universidad de L'Aquila [16] y University of Western Australia [17].*

7.1.3. Recorrido anual constante

La hipótesis principal de este estudio, sobre la cual se basan todos los demás cálculos, es la suposición de que el recorrido anual realizado por la totalidad del parque de vehículos pesados permanece invariable a lo largo de los años (2019-2050). Después del análisis de los datos históricos de la Dirección General de Tráfico (DGT) y de un informe realizado por *Ecologistas en Acción* [23], se llega a un valor de recorrido anual del parque de vehículos pesados para el año 2018 de 60.000 Gm/año. En la siguiente figura se puede observar cómo el modelo se ajusta a este objetivo:

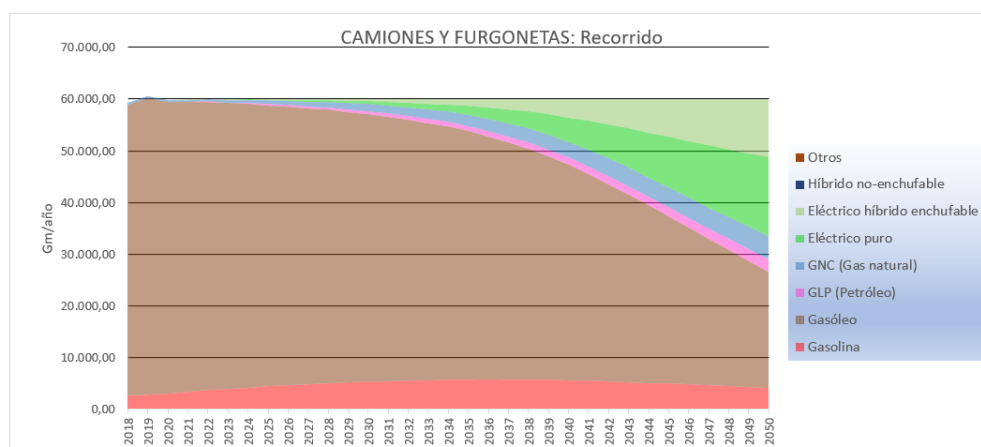


Figura 7.4: Evolución del recorrido anual del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

7.2. Modelo de sustitución

En el escenario base, se toman unas ventas del V.E. del 70 % para 2050, repartidas entre el vehículo eléctrico puro (40 %) y el híbrido enchufable (30 %). La introducción de estos vehículos se hace mediante una función sigmoide, una curva suave que permite la sustitución del vehículo convencional por el eléctrico de forma gradual. El resto de matriculaciones se reparten:

Tipo de combustible	Porcentaje de matriculaciones 2050
Gasolina	5 %
Gasóleo	10 %
GLP	5 %
GNC	10 %
Eléctrico puro	40 %
Eléctrico híbrido enchufable	30 %

Tabla 7.3: Porcentaje de matriculaciones previstas por el modelo para 2050 por tipo de combustible.

Así, se obtiene la siguiente distribución de matriculaciones a lo largo de 2019-2050:

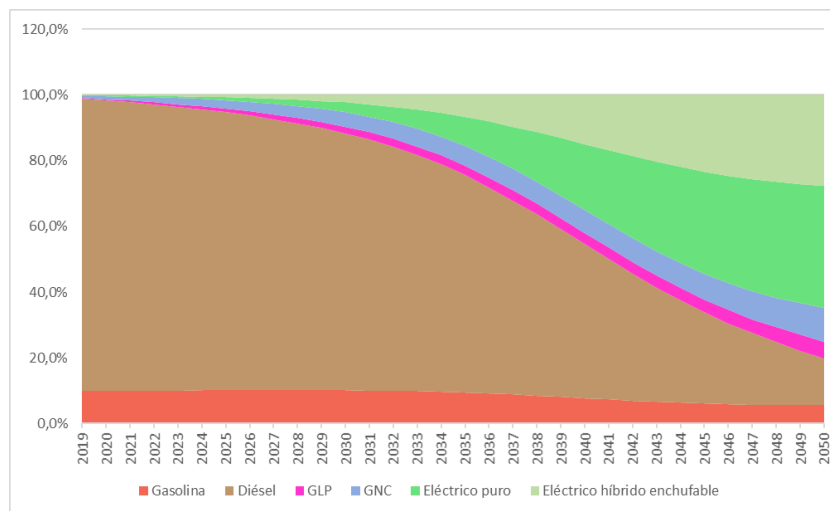


Figura 7.5: Evolución de la distribución de las altas de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

Tipo de vehículo	% Altas 2018	% Altas 2030	% Altas 2050
Gasolina	9,82 %	10,1 %	5,6 %
Gasóleo	89,90 %	78,1 %	14,1 %
GLP	0,01 %	2,1 %	5,2 %
GNC	0,24 %	4,3 %	10,4 %
Eléctrico puro	0,00 %	3,0 %	37,0 %
Eléctrico híbrido enchufable	0,01 %	2,3 %	27,7 %

Tabla 7.4: Porcentaje de altas según el tipo de combustible 2018-2030-2050. *Fuente: Propia.*

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Se estiman que las bajas de estos vehículos serán de una media de un 2,7 % respecto al año anterior y se estima que a mayor edad del parque, mayor será el número de vehículos que se de de baja, por lo que se establecen los siguientes factores de corrección:

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Factor corrección	2,24	1,46	1,30	1,92	1,25	1,33	1,5	1,65	1,80	2,53

Edad	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Factor corrección	3,65	3,43	3,79	4,18	4,66	6,52	6,91	7,63	8,14	8,45

Edad	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Factor corrección	8,88	8,59	8,46	8,34	7,01	7,20	7,20	6,48	5,83	5,25

Edad	31	32	33	34	35
Factor corrección	4,72	4,25	3,83	3,44	3,10

Tabla 7.5: Factores de corrección por antigüedad para las bajas utilizados en el modelo.

Teniendo todo esto en cuenta, y el objetivo de mantener la distancia anual recorrida por el parque de vehículos pesados constantes, se obtiene la siguiente distribución del parque.

Tipo de vehículo	Parque 2018	Parque 2030	Parque 2050
Gasolina	488.975	520.051	455.826
Gasóleo	4.478.050	4.307.200	2.948.813
GLP	694	26.604	134.499
GNC	12.469	65.992	277.868
Eléctrico puro	194	26.412	763.558
Eléctrico híbrido enchufable	286	20.180	573.006
Total	4.980.912	4.966.922	5.153.967

Tabla 7.6: Distribución del parque según el tipo de combustible 2018-2030-2050.
Fuente: Propia.

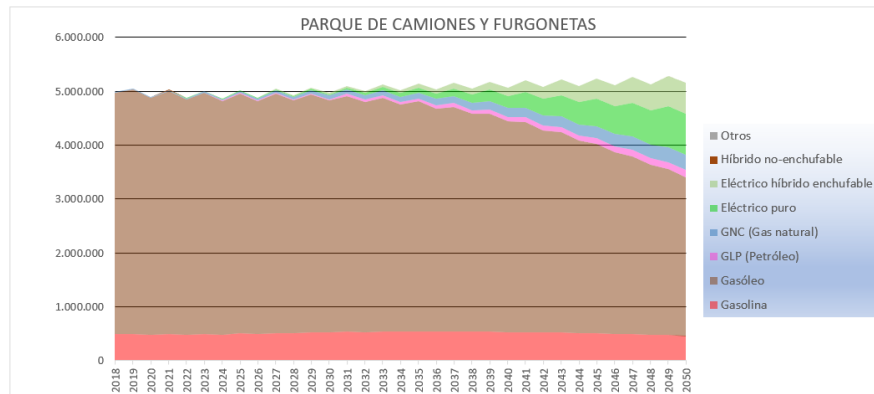


Figura 7.6: Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

Los vehículos diésel siguen suponiendo un 60 % del parque de los vehículos pesados, sin embargo, como se deduce de la distribución de la distancia recorrida anual según el tipo de combustible de la *figura 7.4*, se trata de un parque envejecido que realiza menos kilómetros que la media. Este envejecimiento se debe a la reducción en las matriculaciones de este tipo de vehículos mientras que las bajas se siguen produciendo.

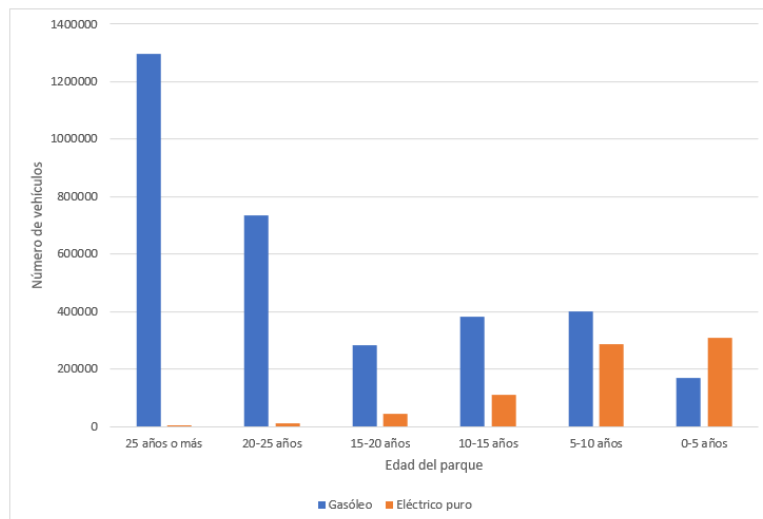


Figura 7.7: Edad del parque de gasóleo vs. eléctrico puro en el año 2050. Envejecimiento del parque de gasóleo. *Fuente: Propia.*

7.3. Consumo

Se prevé una reducción del consumo de un 0,5 % anual para todos los tipos de vehículos, tomando como referencia la evolución del consumo de los vehículos pesados diésel tras el estudio de la información presentada por la *Energy Information Association* de Estados Unidos.

Año	Consumo (L/100km)	Variación
1980	43,56	n.a.
1990	39,20	-4,36
1995	38,56	-0,64
2000	40,55	1,99
2001	39,87	0,69
2002	40,55	0,69
2003	35,11	-5,45
2004	35,11	0
2005	39,20	4,10
2006	39,87	0,66
2007	39,87	0
2008	37,94	-1,93
Porcentaje	n.a.	-0,49 %

Tabla 7.7: Evolución del consumo de los vehículos pesados en Estados Unidos y media porcentual de variación anual de este. *Fuente: Propia a partir de datos de EIA.*

Para 2018, se establece un consumo medio de 35 L. Para el resto de tecnologías:

Tipo de vehículo	kWh/100km carretera	kWh/100km ciudad
Gasolina	323,05	403,81
Gasóleo	359,10	448,88
GLP	430,00	537,50
GNC	350,00	437,50
Eléctrico puro	150,00	75,00
Eléctrico híbrido enchufable	300	200

Tabla 7.8: Consumo medio de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.

Además, se estimó que los vehículos pesados con 35 años de antigüedad consumen un 10 % más que los recién comprados.

Así la evolución del consumo para 2050 es la siguiente:

7.4. Emisiones de GEI de los vehículos pesados de combustión

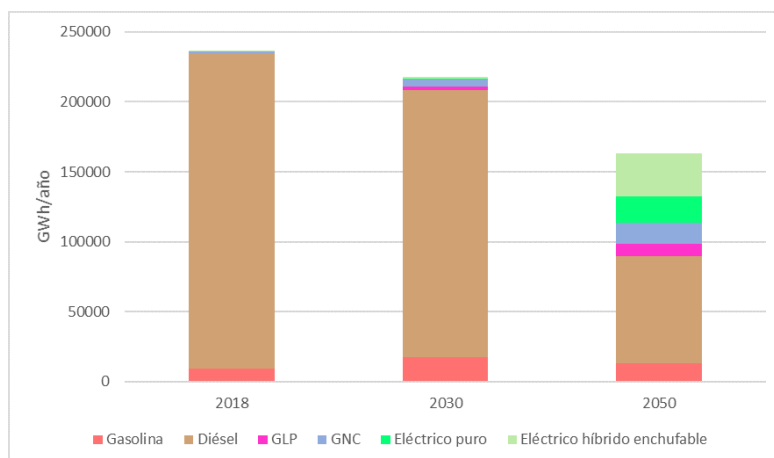


Figura 7.8: Evolución del consumo anual del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

Con una inclusión del vehículo eléctrico del 70 % y las mejoras establecidas en la eficiencia de todos los vehículos pesados, el consumo total del sector transporte se reduce en un 30 %, mientras que el **consumo** asociado a los vehículos de **gasolina y diésel se reducen en un 60 %** para 2050. Si se consigue el mix de generación mencionado, **esta reducción del consumo de gasóleo y gasolina supondría un gran avance hacia la independencia energética de España**, ya que los vehículos eléctricos podrían ser abastecidos por las fuentes renovables del país.

7.4. Emisiones de GEI de los vehículos pesados de combustión

Se establecen las siguientes emisiones medias de CO₂ para el vehículo diésel y, posteriormente se obtienen las emisiones asociadas a los demás tipos de vehículos pesados, asumiendo la misma relación de emisiones entre los diferentes tipos de vehículos pesados que en los turismos.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Vehículo	Tipo	gCO ₂ /km		gCO ₂ /kWh	
		Urbano	Interurbano	Urbano	Interurbano
Camión diésel	Menos 14t	539,7	490,73	117,257	133,27
Camión diésel	Más 14t	1103,49	663,01	239,74	180,06
Camión diésel	Menos 34t	1011,06	579,96	219,67	157,51
Camión diésel	Más 34t	1506,13	791,44	327,23	214,94
Ligero	Gasolina	365,27	220,36	79,36	53,03
Ligero	Diésel	287,14	282,47	62,38	76,71
Media				174,11	135,92

Tabla 7.9: Emisiones medias de CO₂ de los vehículos pesados en 2013 según el tipo de recorrido (urbano, rural e interurbano). *Fuente: Propia a partir de datos de la Generalitat de Catalunya [18].*

Tipo de vehículo	Emisiones (gCO ₂ /kWh) carretera
Gasolina	159
Gasóleo	179
GLP	95
GNC	140
Eléctrico puro	313,00
Eléctrico híbrido enchufable	198,00

Tabla 7.10: Emisiones medias de los vehículos pesados según su combustible. Año 2018.

Se obtiene la siguiente evolución de las emisiones de CO₂, teniendo en cuenta una disminución de las emisiones de este tipo asociadas a todos los vehículos pesados de un 2 % anual.

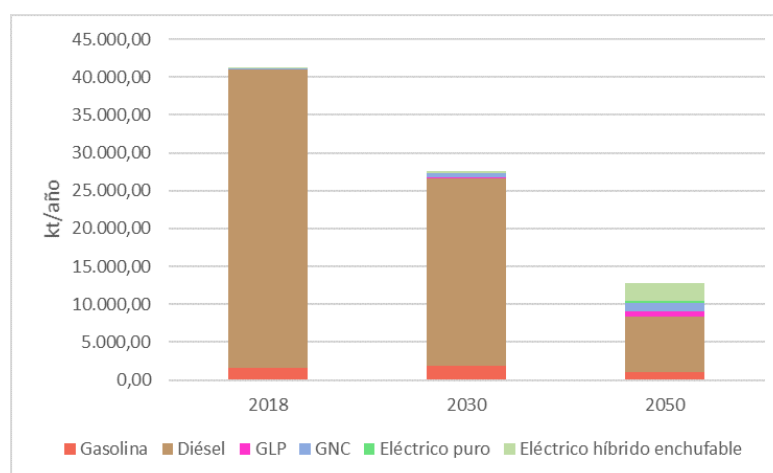


Figura 7.9: Evolución de las emisiones de CO₂ anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

7.4. Emisiones de GEI de los vehículos pesados de combustión

Las emisiones de CO₂ se ven reducidas en un 70 % debido a la sustitución del vehículo de combustión por el eléctrico, al mix de generación basado en fuentes renovables, a la mejora en la eficiencia de los vehículos pesados y al desarrollo de las tecnologías para evitar este tipo de contaminación.

Para comprobar qué porción de este descenso de las emisiones GEI se deben a la penetración del vehículo eléctrico y qué otra porción son el resultado de la reducción de estas emisiones asociadas a los propios vehículos convencionales debido a la mejora de las tecnologías, se genera un escenario adicional en el que las matriculaciones de todos los vehículos permanecen constantes y, por tanto, las matriculaciones del V.E. en 2050 siguen siendo nulas.

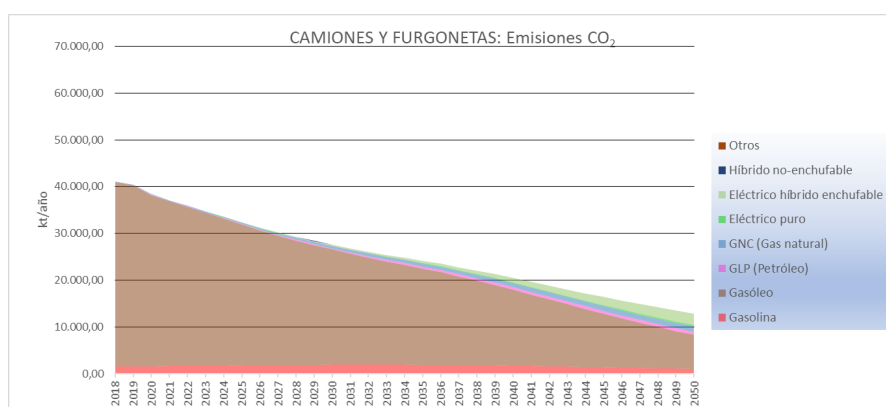


Figura 7.10: Evolución de las emisiones de CO₂ anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050. *Fuente: Propia.*

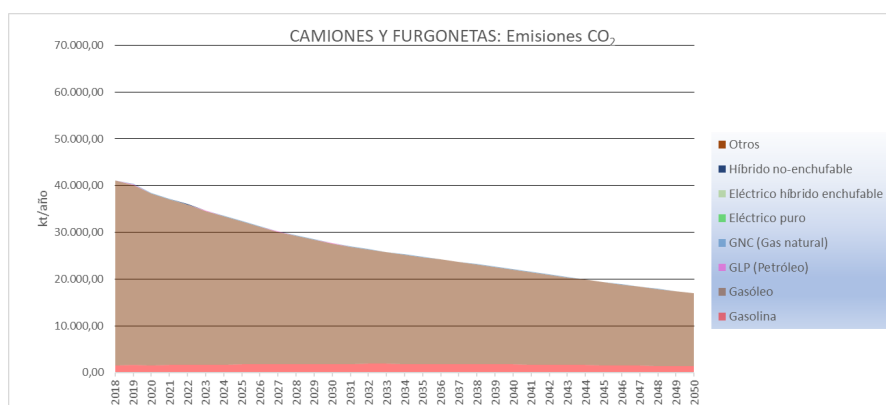


Figura 7.11: Evolución de las emisiones de CO₂ anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2019-2050 para el escenario adicional de inclusión nula del VE *Fuente: Propia.*

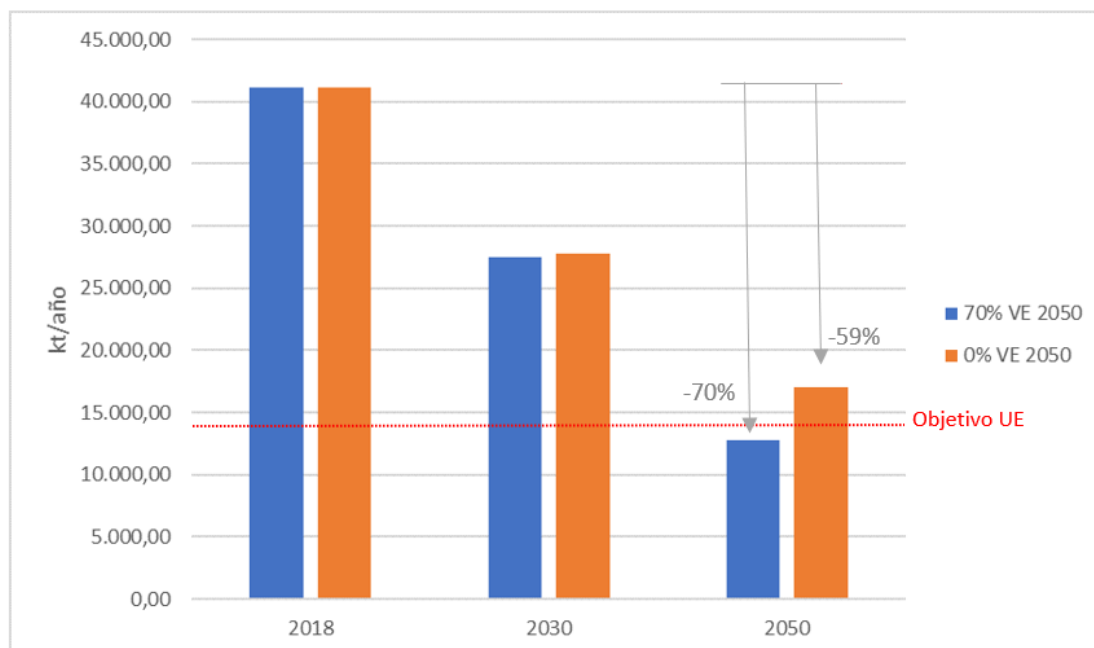


Figura 7.12: Comparativa de evolución de las emisiones de CO2 anuales del parque de vehículos pesados del escenario base vs. escenario adicional de inclusión nula del VE *Fuente: Propia.*

En el escenario de no inclusión del vehículo eléctrico se da una reducción del 59 % de las emisiones de CO2 para 2050, frente al 70 % que se consigue con la inclusión estimada. Estos resultados sugieren, que **para una reducción drástica de las emisiones de CO2**, además de una **rápida inclusión del vehículo eléctrico** (incluso más rápida que la tomada en el escenario base), esto debe ir acompañado de un desarrollo de un mix de generación más limpio y de una mejora de la eficiencia de los vehículos existentes así como de las tecnologías que impiden las emisiones.

7.4.1. Contaminantes atmosféricos

Las emisiones de contaminantes atmosféricos (NOx y partículas) en el sector transporte han sido objeto de regulación en los últimos años. Según la normativa, desde 1990 a 2014 debería haberse producido una reducción de estas emisiones del 12 % anual si los vehículos se hubieran ajustado a la normativa. Se toma por tanto, en nuestro escenario base, una reducción anual del 12 % para años anteriores a 2018 y una reducción de entre un 10 % y un 3 % para años posteriores. Para establecer

7.4. Emisiones de GEI de los vehículos pesados de combustión

los valores medios de 2018, se utilizaron los límites marcados por la normativa EURO VI.

Normativa	NOx	PM	Año
Euro 0	14,4	n.a.	1990
Euro I	9	0,36	1993
Euro II	7	0,15	1996
Euro III	5	0,13	2001
Euro IV	3,5	0,02	2006
Euro V	2	0,02	2009
Euro VI	0,4	0,01	2014

Tabla 7.11: Evolución de la normativa europea en materia de emisiones de vehículos pesados. *Fuente: Propia a partir de datos de la UE.*

Cabe destacar, que en este estudio tan sólo se han tenido en cuenta las partículas debidas al proceso de combustión en el motor y no las producidas por la fricción en la rodadura. Los vehículos eléctricos no presentan emisiones del primer tipo, pero sí emiten partículas debido a la fricción en sus ruedas, las cuales no se han tenido en cuenta en este estudio.

Para el escenario base se obtienen los siguientes resultados:

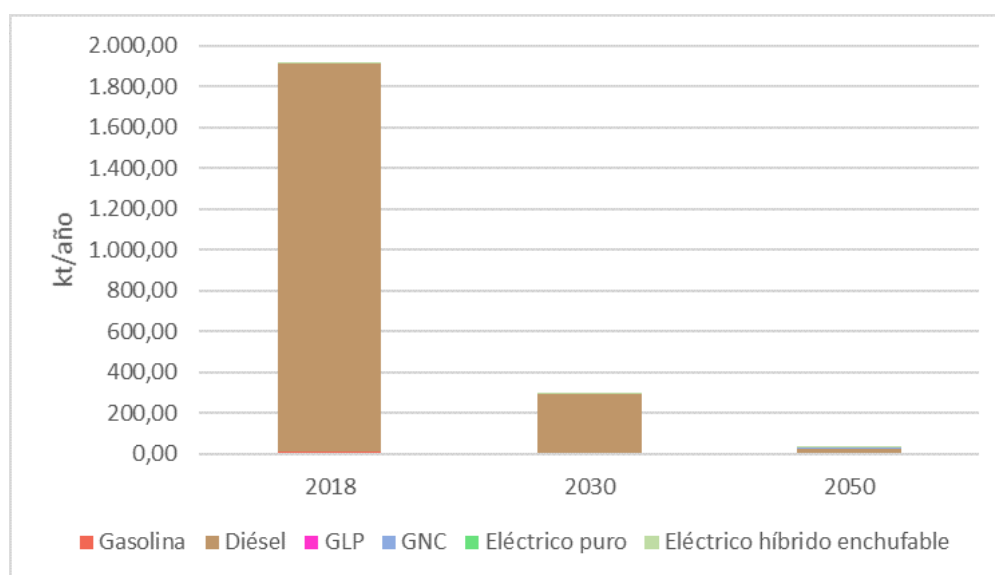


Figura 7.13: Evolución de las emisiones de NOx anuales del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

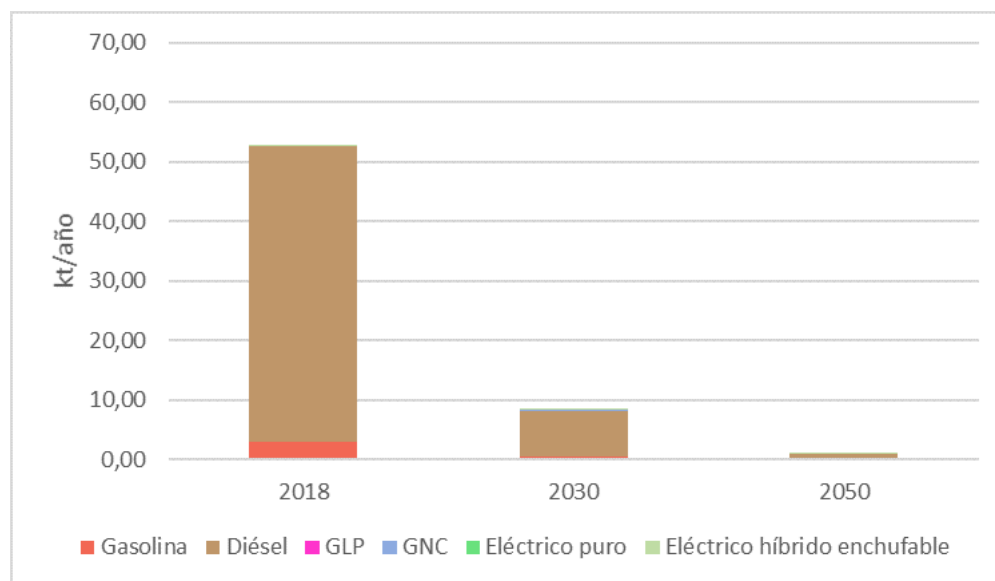


Figura 7.14: Evolución de las emisiones de partículas del parque de vehículos pesados por combustible 2018, 2030 y 2050. *Fuente: Propia.*

Las emisiones de los dos contaminantes analizados, NOx y partículas, descienden en un 98,5 % y 98 %, respectivamente, con respecto a 2018. Esta reducción, se debe en gran medida a la reducción de las emisiones asociadas a los vehículos de gasóleo, a lo cuales se le asocia la mayor parte de las emisiones de estos contaminantes y a la disminución de la distancia anual que estos realizan. También influye en gran medida la reducción de emisiones anual supuesta para un vehículo nuevo (12 % anual para años previos a 2018 y entre 10 % y 3 % para años posteriores). Por ello, se lleva cabo un escenario adicional en el que no se prevé reducción de las emisiones de estos contaminantes para los vehículos nuevos que se matriculen a partir de 2019, caso más pesimista. Así, se compara cuánto de esta reducción se debe a la entrada del vehículo eléctrico y cuánto a la mejora de la tecnología supuesta por el escenario base y la mortalidad de los vehículos antiguos muy contaminantes.

Además, también se comparan los resultados obtenidos con el escenario de no inclusión del vehículo eléctrico, para averiguar qué porción de la reducción de estas emisiones se debe a la entrada del vehículo eléctrico en el parque.

Las siguientes *figuras 7.15 y 7.16*, ilustran los resultados de los tres escenarios planteados tanto para el NOx como para las partículas.

7.4. Emisiones de GEI de los vehículos pesados de combustión

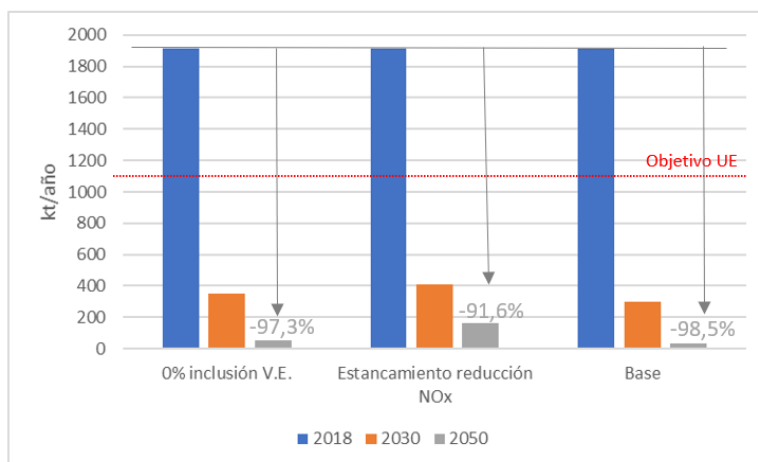


Figura 7.15: Comparativa de los tres escenarios planteados para el NOx. *Fuente: Propia*

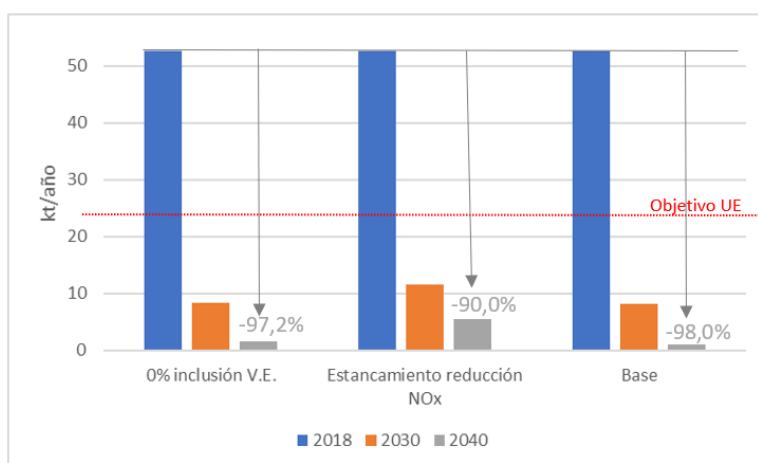


Figura 7.16: Comparativa de los tres escenarios planteados para las partículas. *Fuente: Propia*

Estos resultados sugieren que aunque **la mejora supuesta a futuro en la tecnología de filtrado de los vehículos y la introducción del vehículo eléctrico consiguen unos niveles de las emisiones aún más bajos** que si no se dieran, **la mayor parte de la reducción se debe a la mejora ya conseguida en los años anteriores a 2018.**

7.5. Conclusión sobre el análisis económico

Se realiza un breve análisis económico que compara la rentabilidad del vehículo eléctrico en contraste con el vehículo diésel para el usuario, según la distancia anual media recorrida y teniendo en cuenta el precio medio de compra de ambos y el precio del diésel y la electricidad.

Primeramente, se realiza este análisis para los precios de 2018 y se concluye que, **para la distancia media que recorrió un camión en 2018 (26.500 km), el vehículo eléctrico pesado no sería rentable para su propietario.**

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000 €	15 años	11.533 €	21,45 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	38,82 €/100km

Tabla 7.12: Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. *Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.*

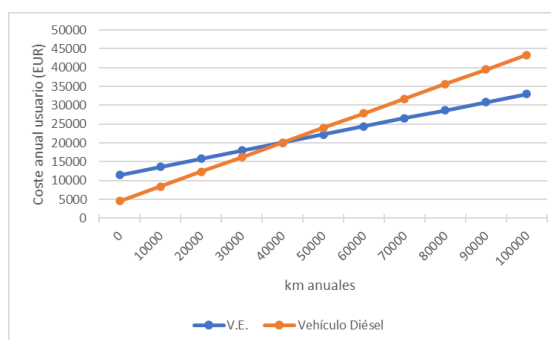


Figura 7.17: Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2018. *Fuente: Propia*

Seguidamente se realiza el análisis para 2050, suponiendo una reducción del precio medio de compra del vehículo pesado eléctrico de un 45 % y teniendo en cuenta las mejoras anuales supuestas por el modelo de este estudio para el consumo.

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	95.150 €	15 años	6.343 €	18,2 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	34,5 €/100km

Tabla 7.13: Datos para la comparativa anual económica vehículo pesado diésel vs. eléctrico para año 2050. *Fuente: Propia a partir de datos de los fabricantes.*

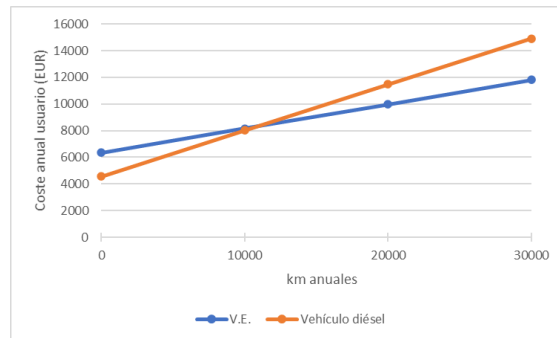


Figura 7.18: Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 con reducción del precio de compra del V.E. Fuente: *Propia*

Se concluye, que si se produce esta **reducción del 45 % del precio de compra del V.E.**, este tipo de vehículo será más económico que el diésel si realiza más de 10.800 km (60 % menos que en 2018), es decir sería **rentable** de mantenerse la media de kilómetros realizada actualmente invariable.

Si esta **reducción del precio medio de compra para 2050 del V.E. no se produce**, el número de kilómetros que debería realizar el usuario para que el coste asociado a un vehículo eléctrico fuera menor que el asociado a un vehículo diésel, sería de **42.000 km**, es decir, un **58 % más que en 2018**.

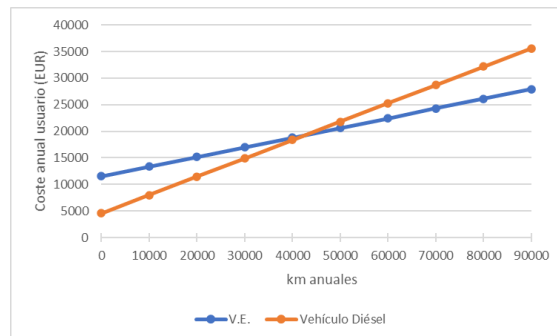


Figura 7.19: Coste usuario según kilómetros recorridos anualmente: V.E. vs. vehículo diésel. Año 2050 sin reducción del precio de compra del V.E. Fuente: *Propia*

Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad para comprobar cómo varían los resultados, de mantenerse el precio medio de compra del V.E. constante, si varían los precios de la electricidad y el diésel. Para ello, se realizan tres escenarios:

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

1. **Escenario A.** El precio de la electricidad disminuye drásticamente y el precio del diésel se mantiene constante. El precio de la electricidad disminuye a 0,07€/kWh, según lo previsto por *Deloitte* para 2050.

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000 €	15 años	11.533 €	9,8 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	34,5 €/100km

Tabla 7.14: Escenario A. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

En este caso, al reducirse el precio de la electricidad los V.E. son más rentables a partir de los 28.200 km recorridos. Si este recorrido permaneciera constante los V.E. estarían en desventaja económica, aún reduciéndose el precio de la electricidad en un 50 %. No obstante, si aumentara por encima del 6 %, los V.E. serían más económicos.

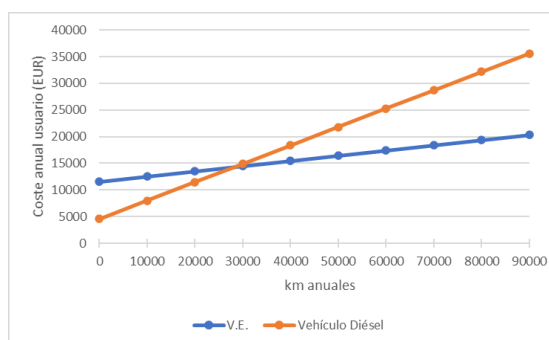


Figura 7.20: Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

2. **Escenario B.** El precio de la electricidad permanece constante y el precio del diésel aumenta. Para este escenario se toma un precio del gasóleo un 30 % superior a la media de los últimos años, es decir, 1,50 €/L.

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000 €	15 años	11.533 €	18,2 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	45 €/100km

Tabla 7.15: Escenario B. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

Los kilómetros a partir de los cuales el V.E. es más barato anualmente para su usuario en este supuesto son 26.000 km. Es decir, si los vehículos pesados de 2050 hicieran los mismos kilómetros, de media, que los que realizaron en 2018, y el precio del diésel aumentara en un 30 % con respecto a la actualidad, el V.E. sería más económico para el usuario.

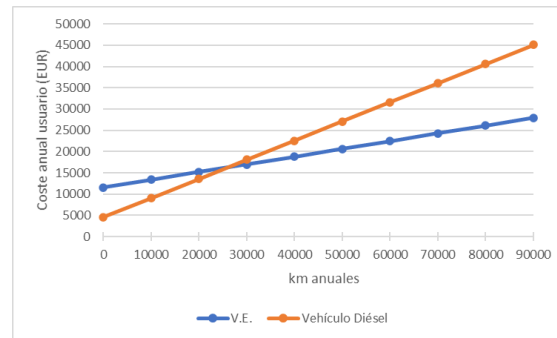


Figura 7.21: Escenario B. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

3. **Escenario C.** El precio de la electricidad se reduce, en menor medida y el precio del diésel aumenta, en menor medida.

Tipo	€ Compra	Amortización	P.V. anual	Coste funcionamiento
Eléctrico	173.000 €	15 años	11.533 €	15 €/100km
Diésel	68.500 €	15 años	4.567 €	40 €/100km

Tabla 7.16: Escenario C. Datos para la comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs. el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

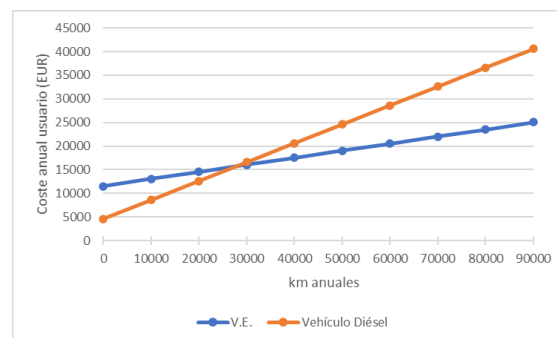


Figura 7.22: Escenario C. Comparativa del coste anual en 2050 del vehículo eléctrico vs el vehículo diésel. *Fuente: Propia.*

Unos 27.800 (1.300 km más que en 2018) serían los kilómetros que un usuario de vehículo eléctrico pesado debería realizar anualmente para que su camión le costara menos que un camión diésel, suponiendo una reducción del precio de la electricidad del 20 % y un aumento del precio del diésel del 16 %.

Teniendo todo lo anterior en cuenta, **para que los costes asociados** a la compra y el funcionamiento del **vehículo pesado eléctrico** sean **menores** para su usuario **que un vehículo pesado diésel en 2050**, debe ocurrir alguno de los acontecimientos siguientes o cualquier combinación de ellos:

1. **Disminución del precio de compra del V.E.**
2. **Subida el precio del diésel.**
3. **Bajada del precio de la electricidad.**
4. **Aumento de la distancia media que recorren los vehículos pesados.**

En general, **si la distancia media recorrida aumenta para 2050** hasta 42.000 km/año, es decir, **un 58 %** más de la media actual (26.500km/año), el **V.E. pesado** sería **más rentable** aún si todos los precios se mantuvieran invariables con respecto a 2018.

Capítulo 8

Posibles Futuras Líneas de Investigación

8.1. Transporte de mercancías mediante el sistema ferroviario

En los últimos años, el volumen del transporte interior de mercancías en la UE se estabilizó en unos 2,3 billones de toneladas-kilómetro al año, de los cuales, un 75 % corresponde aproximadamente a las carreteras y el resto corresponde al ferrocarril y vías navegables interiores (Figura 8.1) [14]. El movimiento de las mercancías es un elemento esencial del mercado interior de la Unión Europea, sin embargo, también supone una de las mayores fuentes de contaminación atmosférica y de consumo energético de la UE, en concreto, un tercio del total. Si Europa quiere rebajar su dependencia en el petróleo importado y reducir la contaminación, se deberían fomentar métodos de transporte más eficientes y sostenibles, como el ferrocarril y las vías navegables interiores en lugar de las carreteras [14].

CAPÍTULO 8. POSIBLES FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

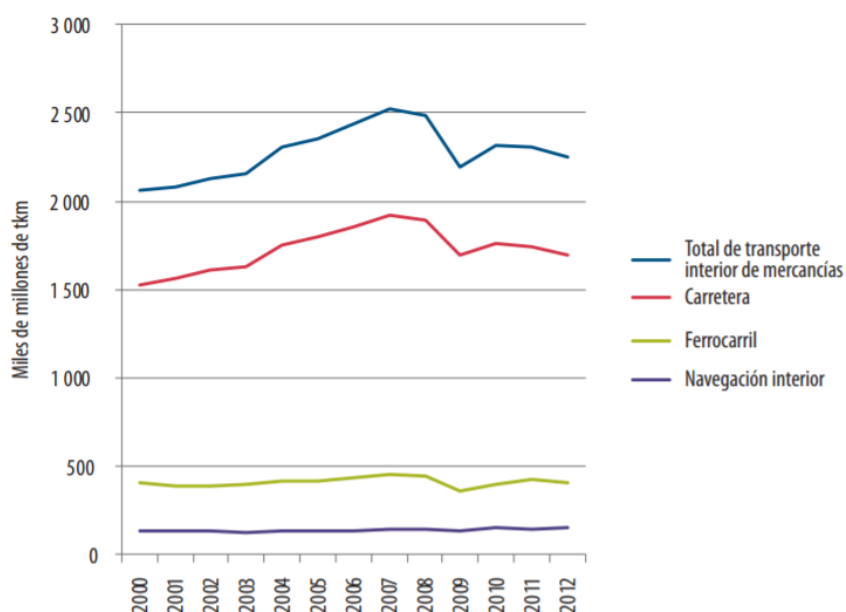


Figura 8.1: Transporte interior de mercancías en la UE, en miles de millones de toneladas-kilómetro. *Fuente: Tribunal de Cuentas Europeo, a partir de los últimos datos disponibles de Eurostat [14].*

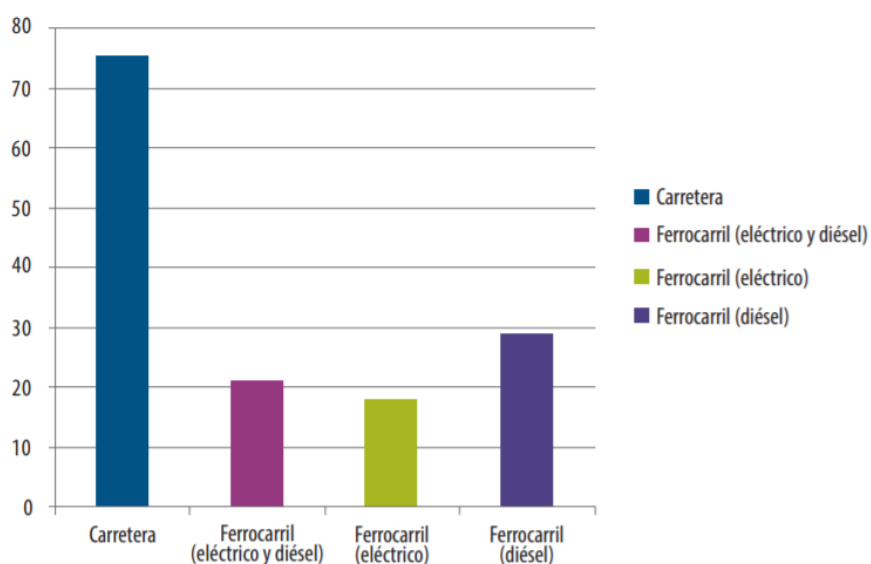


Figura 8.2: Emisiones de CO2 por tonelada-kilómetro en la UE en 2012. *Fuente: Tribunal de Cuentas Europeo, a partir de los datos proporcionados por la Agencia Europea de Medio Ambiente [14].*

En el caso del transporte ferroviario, según la Agencia Europea de Medio Ambiente, las emisiones de CO₂ son 3,5 veces inferiores (por tonelada-kilómetro) a las del transporte por carretera (Ver Figura 8.2).

En el ámbito económico, el traspaso al ferrocarril podría también contribuir a reducir los costes asociados a la congestión de las carreteras, que en 2050 podría alcanzar casi los 200.000 millones de euros anuales.

La UE ya lleva varios años intentando hacer esta transición mediante el establecimiento de objetivos para mantener o aumentar la cuota de mercado del transporte de mercancías por ferrocarril. Este objetivo se fijó en un 35 % en 2010, mientras que para 2050 se fijó en más de un 50 %. El presupuesto de la UE también contribuyó en unos 28.000 millones de euros a la financiación de proyectos ferroviarios entre 2007 y 2013.

Por todo ello, sería de interés hacer un estudio exhaustivo del impacto medioambiental, económico y energético que tendría el traspaso del transporte de mercancías al ferrocarril, o incluso la combinación de la introducción del vehículo pesado eléctrico y este traspaso de buena parte de las mercancías. Sería necesario diferenciar en este caso entre el ferrocarril eléctrico y el que utiliza diésel como combustible. Lo ideal sería que esta transición estuviera acompañada de una electrificación del ferrocarril. Se cree que este puede ser el escenario más realista para alcanzar la necesaria reducción de las emisiones y la dependencia energética de la UE, por lo que suscita gran interés para futuras investigaciones.

8.2. Otras líneas de investigación

El modelo y la herramienta utilizada en el presente proyecto, pretende estar a la disposición del lector para que sea posible el estudio de las mismas variables aquí estudiadas pero para otro tipo de vehículos o el estudio de nuevas variables que sigan un comportamiento similar a las aquí tratadas. El usuario podría cambiar los datos de la actual herramienta para calcular los resultados que le interese o incluso ampliar la herramienta si fuera necesario. Algunos temas de interés para tener en cuenta en una investigación futura son:

1. En nuestro modelo se supone que los kilómetros realizados por la totalidad del parque de vehículos pesados va a permanecer constante a lo largo de los años lo cual infiere que el parque de vehículos pesados va a permanecer aproximadamente constante, ya que los vehículos seguirán realizando el mismo recorrido. Sin embargo, esta suposición no se ajusta a las predicciones de la IEA de que el número de vehículos pesados se duplicará en 2050 [1], si no se toman las medidas necesarias. Por ello, una posible futura línea de investigación podría ser el realizar este mismo estudio pero teniendo en cuenta este aumento del parque previsto por la IEA. De esta manera, el kilometraje anual de la totalidad del parque no permanecería constante a lo largo de los años si no que aumentaría a medida que aumenta el parque.
2. Estudiar la evolución de las emisiones y el consumo en el caso de que se promoviera un plan *renove* para sustituir los vehículos pesados de más de 10-15 años por vehículos nuevos, a la misma vez que se promueve la inclusión del vehículo eléctrico. Los vehículos antiguos diésel no disponían de las tecnologías que disponen los actuales para limitar sus emisiones, por lo que la renovación del parque sería una gran ayuda para conseguir los objetivos de reducción de emisiones.
3. Añadir a las emisiones consideradas en este proyecto, las generadas durante todo el ciclo de vida de los vehículos, no sólo durante su funcionamiento. Es decir, estudiar la viabilidad del reciclaje de los diferentes vehículos y la contaminación y energía asociada a su fabricación. Como ya se ha explicado, uno de los inconvenientes de los vehículos pesados eléctricos es que su reciclaje es más complejo que el de los vehículos convencionales, debido a las baterías que utilizan y su fabricación requiere de más energía y genera mayor contaminación. Se recomienda, por ello, tener en cuenta estos factores en una futura investigación.
4. En este proyecto se ha tenido en cuenta la introducción del vehículo eléctrico en el parque de camiones y furgonetas. Sin embargo, no se han tenido en

cuenta los autobuses, que también suponen una buena parte de las emisiones, tanto en ciudad como en carretera. En los últimos años se han introducido una gran cantidad de autobuses eléctricos y otros combustibles más limpios como el gas natural. Se recomienda, por tanto, estudiar el impacto de la sustitución de los autobuses tradicionales por tecnologías más limpias.

5. Debido a la heterogeneidad del parque de los vehículos pesados, podría ser interesante modificar el modelo para vehículos pesados en función de su tamaño. Esta clasificación podría introducir más detalle e interés en los cálculos que la clasificación según el tipo de combustible, ya que la mayor parte de estos vehículos son diésel.

Anexos

Anexo A

Reflexión sobre los ODSs

En el curso de la historia, ha habido muchos momentos en los que el ser humano ha tenido que unir sus fuerzas para superar las dificultades que se presentaban por el camino a nivel mundial. Algunos ejemplos de estos acontecimientos son el Plan Marshall de 1948 desarrollado para reconstruir las economías de Europa occidental tras la Segunda Guerra Mundial, o la realización de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU, con los que se consiguió, entre otras cosas reducir a la mitad la tasa de mortalidad por debajo de los 5 años y la población en situación de extrema pobreza.

Ahora, en el siglo XXI, el mundo se enfrenta a uno de sus mayores retos. Es necesario que todo el mundo trabaje en consonancia para acabar con la pobreza mundial, las desigualdades sociales y afrontar el grave problema del cambio climático para 2030. Para ello, se necesitan invertir en soluciones innovadoras, finanzas audaces para impulsar el progreso y el compromiso de empresarios, la comunidad científica, activistas, gobernantes y, en general, de toda la población.

La Organización de Naciones Unidas (ONU), consciente de la situación, ha desarrollado los llamados *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODSs)*, un conjunto de 17 objetivos mundiales diseñados para lograr un mejor y más sostenible futuro para todos [48].



Figura A.1: 17 ODSs. *Fuente: Sustainable Development Goals. United Nations [15]*

Con estos 17 objetivos englobados en la Agenda 2030, la ONU presenta un plan a seguir para abordar los problemas que se le presentan a la comunidad internacional en la actualidad y conseguir transformar el mundo en un lugar donde todos los seres humanos tienen la oportunidad de participar y donde se cuidan los recursos de que ofrece el planeta para lograr una distribución más justa. Los principales componentes de esta agenda son las cinco Ps, por sus nombres en inglés:

- *Las personas (people)*: acabar con la pobreza y el hambre mundial en todas sus formas y asegurar la dignidad y la igualdad entre las personas.
- *La prosperidad (prosperity)*: asegurar unas vidas prósperas y satisfactorias en armonía con la naturaleza.
- *La paz (peace)*: impulsar la justicia, la paz y la inclusión en las comunidades.
- *La asociación (partnership)*: implementar la Agenda mediante una sólida asociación mundial.
- *El planeta (planet)*: proteger los recursos y el clima del planeta para asegurar un futuro próspero para las generaciones futuras.

Conscientes de la responsabilidad que esto supone para la comunidad de Ingenieros la cual debe, entre otras cosas, desarrollar procesos y productos innovadores para lograr los objetivos marcados, este Trabajo de Fin de Grado estudia una de las posibilidades para conseguir esta transformación mundial: la descarbonización del transporte acompañada de un desarrollo de fuentes de energía renovable y más limpias.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenibles incluidos en este proyecto “Impacto ambiental y energético de la evolución del parque automovilístico ante diferentes escenarios de Vehículo Eléctrico (VE) y Vehículo a Gas (VG) considerando los vehículos pesados”, son los siguientes:



Figura A.2: Objetivos de Desarrollo Sostenible incluidos en este proyecto.

A continuación, se detallan y ofrece más información sobre los ODS abordados:

<i>Dimensión del ODS</i>	<i>Especificación del ODS</i>	<i>Papel</i>	<i>Objetivo</i>
Biosfera	ODS 13: Actuar de manera urgente para combatir el cambio climático y sus efectos.	<i>Primario</i>	Para 2050, conseguir la penetración del vehículo pesado eléctrico. Analizar la posibilidad y los efectos que tendría sobre la contaminación atmosférica la descarbonización del transporte, en este caso, mediante la sustitución del vehículo pesado de combustión por el vehículo eléctrico y el vehículo de gas, acompañado de un desarrollo de las energías renovables.
	ODS 7: Asegurar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.	<i>Primario</i>	Lograr un <i>mix</i> de generación eléctrica basado en su mayor parte en fuentes de energía renovables para 2050
Sociedad	ODS 11: Crear ciudades y asentamientos humanos inclusivos, fuertes, seguros y sostenibles.	<i>Secundario</i>	Lograr una reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos en las ciudades, provocadas en gran medida por el vehículo de combustión, mediante su sustitución por el vehículo eléctrico, lo cual sería beneficioso para la salud humana a la cual le afectan estas emisiones.

Economía	ODS 8: Promover un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible y un empleo productivo y con unas condiciones de trabajo decentes para todos.	<i>Secundario</i>	Promover el desarrollo de las energías renovables para conseguir la independencia energética de España, acompañada de la reducción del uso de combustibles fósiles por parte de los vehículos. Esta independencia energética tendrá un impacto en el crecimiento económico del país y podría generar empleo.
	ODS 9: Construir infraestructuras resistentes y sostenibles, promover una industrialización sostenible e inclusiva e impulsar la innovación.	<i>Secundario</i>	Construir plantas de generación de energías renovables y las infraestructuras necesarias para lograr la penetración de los vehículos eléctricos, por ejemplo, puntos de carga.
	ODS 12: asegurar un consumo y unos patrones de producción sostenibles.		Reducción del consumo de los vehículos pesados mediante el desarrollo de tecnologías más eficientes.

Cuantificación de los objetivos:

- Unas matriculaciones del vehículo pesado eléctrico de al menos el 70 % del total de las matriculaciones de 2050. Cuanto antes se dé esta penetración mayor será la reducción de las emisiones de CO₂.
- Reducción de las emisiones GEI en el sector transporte de un 60 % para 2050, con respecto a los niveles de 1990.
- Lograr un mix de generación eléctrico basado en un 95 % en fuentes renovables para 2050.
- Reducción de las emisiones de NO_x y partículas de al menos un 90 % en las ciudades.
- Reducción del consumo de los vehículos en un 0,5 % anual, de aquí a 2050 mediante el desarrollo de vehículos más eficientes.

Anexo B

Escenarios adicionales

B.1. Resultados para un mix de generación en 2050 igual al de 2018

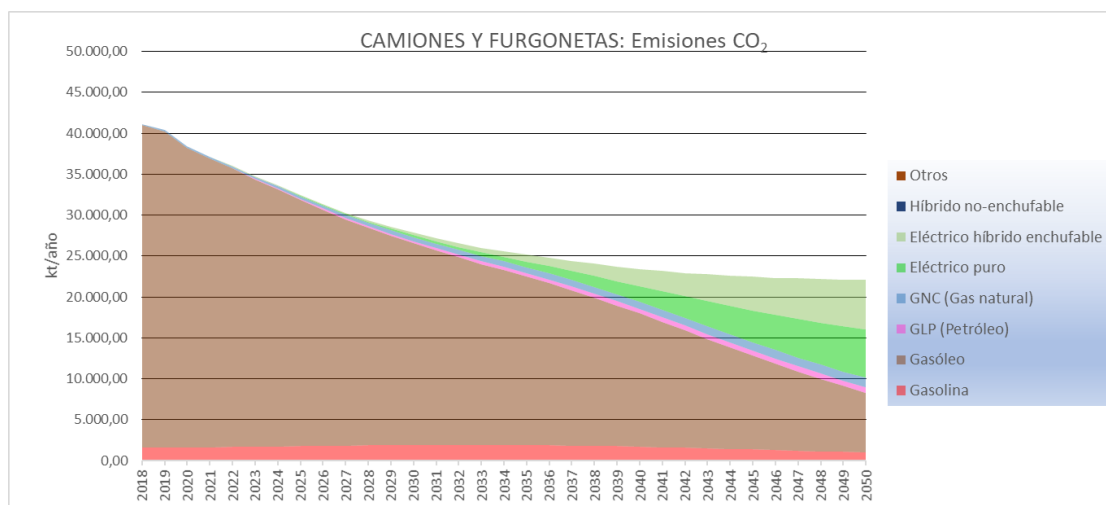


Figura B.1: Evolución emisiones CO₂ para un mix de generación en 2050 igual de contaminante que el actual.

Los vehículos pesados eléctricos (puros e híbridos enchufables) emiten 12.000 kt/año de CO₂, frente a las 2.500 kt que emitían con el mix de generación más limpio. Las emisiones totales de CO₂ son de 22.000 kt/año, 10.000 kt/año más que con el mix de generación basado en 90 % de renovables.

B.2. Resultados para unas matriculaciones del 100 % de V.E. en 2050

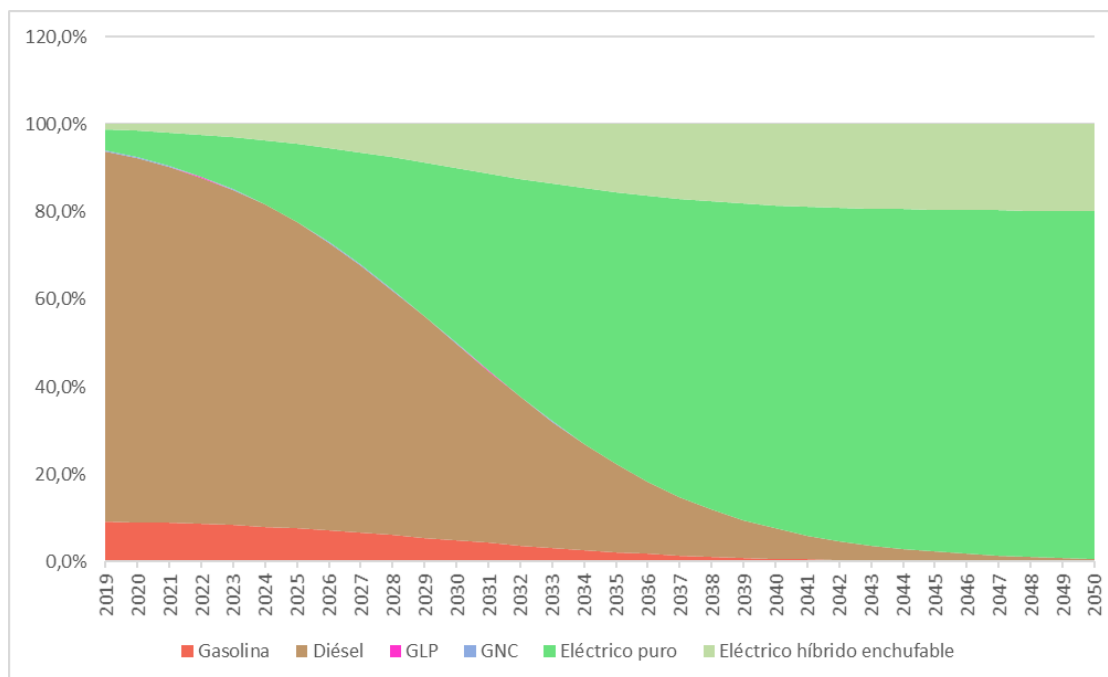


Figura B.2: Evolución de las matriculaciones de vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.

La penetración del vehículo eléctrico en el parque de vehículos pesados se produce antes que en el escenario base (2030 vs. 2040). Los vehículos eléctricos suponen el 70 % del parque de vehículos pesados para 2050. El recorrido de los camiones diésel es prácticamente nulo ya que los que permanecen en el parque son vehículos antiguos que no realizan mucha distancia. El consumo se reduce en un 56 %, suponiendo 60.000 GWh/año menos que en el escenario base. Las emisiones de CO₂ son prácticamente nulas, ya que se considera un mix de generación basado en renovables. Para que este escenario se haga realidad, se deben alcanzar el 50 % de las ventas de V.E. para 2030 y del 90 % para 2040.

B.2. Resultados para unas matriculaciones del 100 % de V.E. en 2050

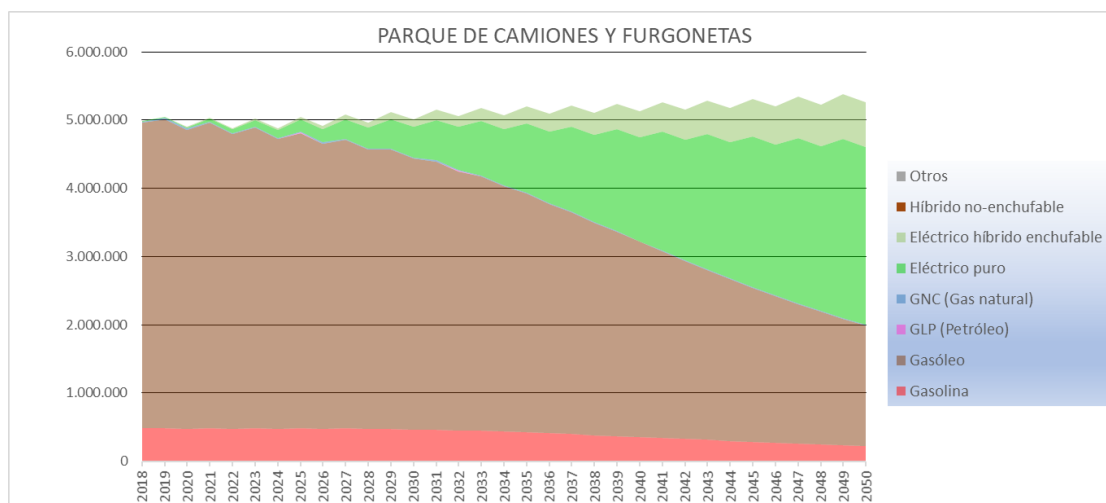


Figura B.3: Evolución de la distribución del parque de vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.

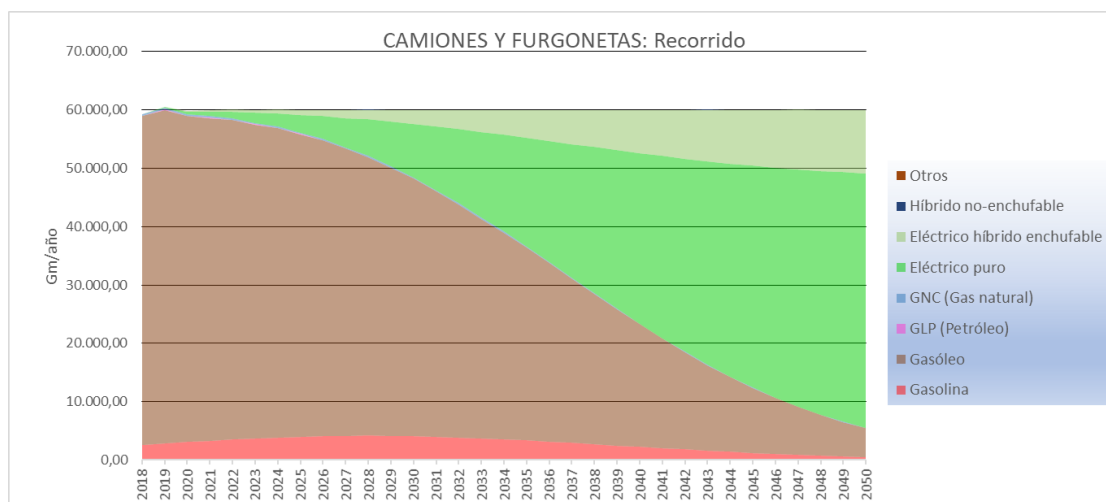


Figura B.4: Evolución de la distancia recorrida por vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.

ANEXO B. ESCENARIOS ADICIONALES

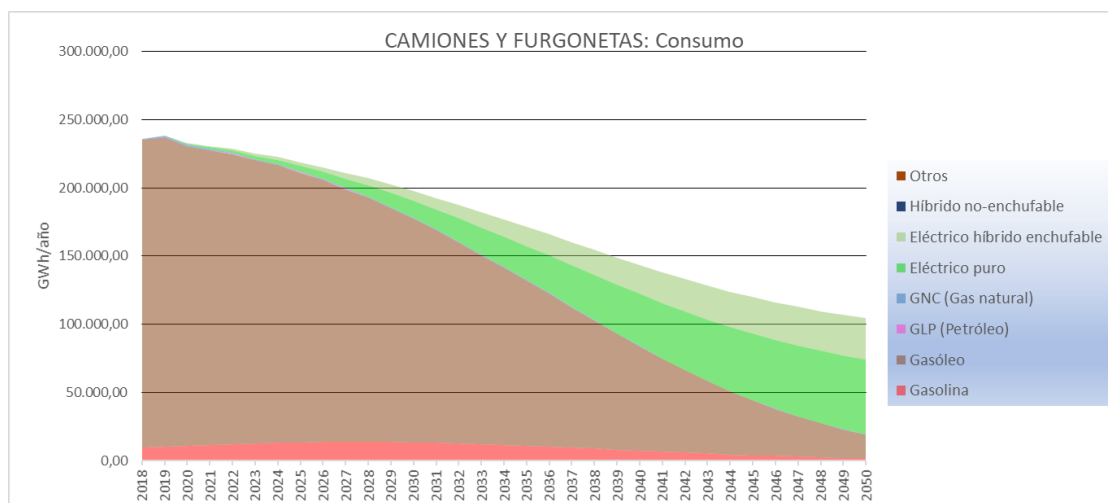


Figura B.5: Evolución del consumo de vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.

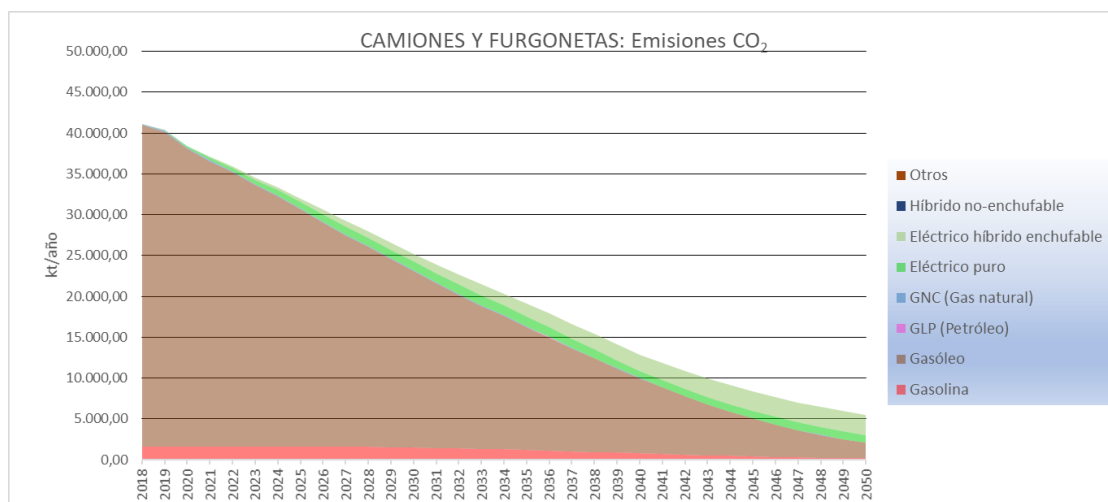


Figura B.6: Evolución de las emisiones de CO₂ asociadas a los vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050.

B.3. Resultados para una combinación de los dos escenarios anteriores

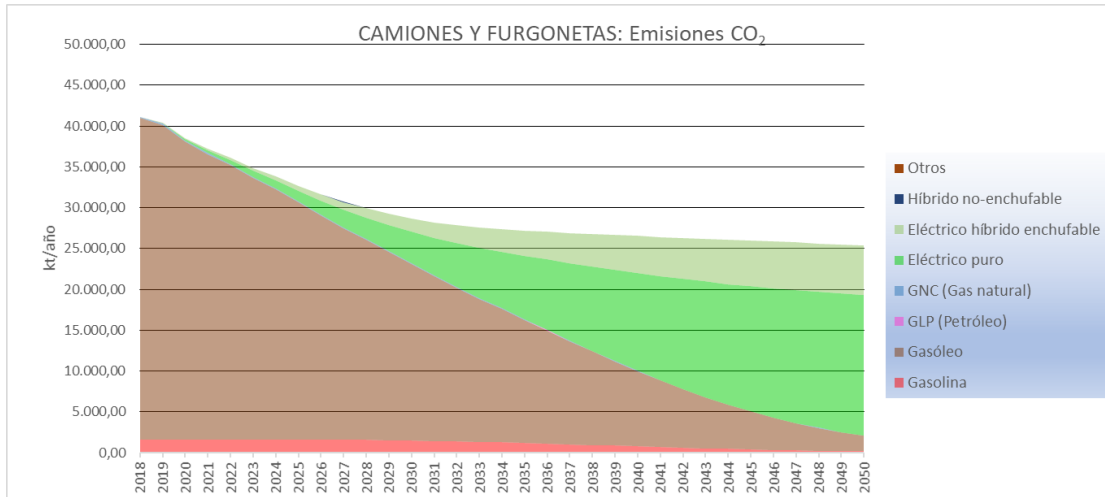


Figura B.7: Evolución de las emisiones de CO₂ asociadas a los vehículos pesados para un escenario del 100 % de altas del V.E. para 2050 y un mix de generación igual de contaminante que el actual

Si no se consiguiera un mix de generación limpio para 2050, el factor de emisión fuera el mismo que el actual y se diera la total inclusión del V.E., las emisiones de CO₂ serían de 20.000 kt/año más que en el supuesto de un mix de generación limpia. Con respecto al escenario base, en el que se dan unas ventas del 70 % de vehículos pesados eléctricos para 2050, y un mix de generación basado en renovables con un factor de emisión un 95 % inferior al actual, las emisiones de CO₂ asociadas al vehículo pesado aumentan en 13.000 kt/año superiores. Se prueba la importancia, por tanto, de conseguir un mix de generación eléctrico lo menos contaminante posible.

B.4. Comparación de resultados de escenarios adicionales frente a escenario base y 2018

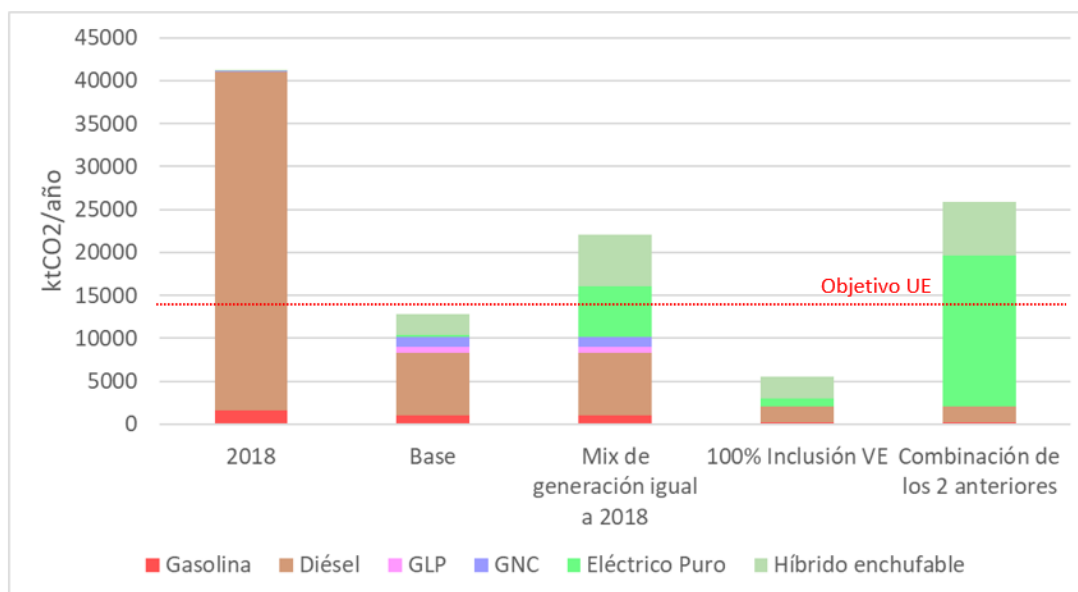


Figura B.8: Comparación de resultados de escenarios adicionales para año 2050 frente a escenario base y 2018

Anexo C

Tablas de resultados

- Parque

- Porcentaje altas

- Recorrido total

- Recorrido urbano

- Recorrido carretera

- Consumo total

Consumo energético

Ecs base

[illegible]

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

●

●

●

●

●

●

●

●

●

Mayor inclusión del vehículo eléctrico (100% de las matriculaciones en 2050)

- Parque total

[illegible]

- Porcentaje de altas

[illegible]

- Recorrido total

[illegible]

- Consumo total

[illegible]

- Emisiones CO2 total

[illegible]

●

●

●

●

Bibliografía

- [1] IEA, “Transport, Energy and CO2,” IEA, Tech. Rep., 2009. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/transport-energy-and-co2>
- [2] “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación,” Monitor Deloitte, Tech. Rep., Abril 2019. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
- [3] “Emisiones de CO2 de los coches: Hechos y cifras (infografía). Noticias: Parlamento Europeo.” Agencia Europea de Medioambiente, Tech. Rep., Abril 2019. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
- [4] “Carbon dioxide emissions from Europe’s heavy-duty vehicles.” European Environment Agency, Tech. Rep., Abril 2018. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/heavy-duty-vehicles>
- [5] MITECO, “Informe Resumen del Inventario Nacional de EMISIONES a la ATMÓSFERA. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 1990-2018,” Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Tech. Rep., Marzo 2020. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/heavy-duty-vehicles>
- [6] “Informative Inventory Report (1990-2018),” Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Tech. Rep., Marzo 2020. [Online]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/spain.2020-necd-iir_tcm30-508111.pdf
- [7] Eurostat, “Producción e Importaciones de Energía,” Eurostat, Tech. Rep., Junio 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=>

- Energy_production_and_imports/es#Las_importaciones_cubren_m.C3.A9ticas_de_la_EU-28
 Als_de_la_mitad_de_las_necesidades_energ.C3.A9ticas_de_la_EU-28
- [8] A. de Empresas de Energías Renovables (APPA Renovables), “Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España,” Asociación de Empresas de Energías Renovables - APPA Renovables, Tech. Rep., Octubre 2019. [Online]. Available: https://www.appa.es/wp-content/uploads/2019/10/Estudio_del_impacto_Macroeconomico_de_las_energias_renovables_en_Espa%C3%B1a_2018_vff.pdf
 - [9] INE, “España en cifras 2019. Energía,” INE, Tech. Rep., 2020. [Online]. Available: https://www.ine.es/prodyser/espaa_cifras/2019/40/
 - [10] IPSOM, “Resumen 2019: El precio de la electricidad en España,” Abril 2020. [Online]. Available: <https://www.ipsom.com/2020/03/resumen-2019-el-precio-de-la-electricidad-en-espana/>
 - [11] REE, “El Sistema Eléctrico Español 2018,” Tech. Rep., Junio 2019. [Online]. Available: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2018/inf_sis_elec_ree_2018.pdf
 - [12] T. Earl, S. C. Lucien Mathieu, S. Kenny, C. C. Ambel, and J. Nix, “Analysis of long haul battery electric trucks in eu. marketplace and technology, economic, environmental, and policy perspectives,” Agosto 2018.
 - [13] “Eficiencia energética de las redes,” 2020. [Online]. Available: <https://www.i-de.es/sostenibilidad/medio-ambiente/eficiencia-energetica>
 - [14] B. Urbanič, D. Hai, N. Odins, L. Balko, F. P. Gil, A. Klis-Lemieszonek, P. Puricella, and Z. Frankova, “Transporte de mercancías por ferrocarril en la ue: todavía no avanza por la buena vía,” TRIBUNAL DE CUENTAS EUROPEO, Tech. Rep., 2016.
 - [15] U. Nations, “Sustainable development goals.” [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/>
 - [16] A. Genovese, F. Ortenzi, and C. Villante, “On the energy efficiency of quick dc vehicle battery charging,” Mayo 2015.
 - [17] G. Wager, J. Whale, and T. Braunl, “Driving electric vehicles at highway speeds: The effect of higher driving speeds on energy consumption and driving range for electric vehicles in australia,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 63, pp. 158–165, 09 2016.

- [18] “Guía prÁctica para el cÁlculo de emisiones de gases de efecto invernadero (gei.”
- [19] NSCA, “Biogas as a road transport fuel,” Tech. Rep., Junio 2016.
- [20] EEA, “Transporte,” EEA, Tech. Rep., Marzo 2020. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/es/themes/transport/intro>
- [21] MITECO, “Proyecciones de emisiones a la atmÓsfera. ediciÓn 2019. sumario de resultados,” Ministerio para la TransiciÓn EcolÓgica y el Reto DemogrÁfico, Tech. Rep., Marzo 2019. [Online]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/proyeccionesemisiones_2019_tcm30-488205.pdf
- [22] J. González, “IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE),” Master’s thesis, Universidad Pontificia de Comillas, Julio 2018.
- [23] A. S. Alduán, P. V. Pindado, M. M. Arribas, L. Ángel López de Diego, C. Kisters, M. M. García, M. G. Tejada, P. S. E. Díaz, and A. Espinosa, “Cuentas Ecológicas del Transporte. anexo Metodológico,” Ecologistas en AcciÓn, Tech. Rep., Noviembre 2016.
- [24] DGT, “Análisis sobre los kilómetros anotados en las ITV,” 2018.
- [25] K. Lindqvist, “Emission standards for light and heavy road vehicles,” AirClim, Tech. Rep., 2012.
- [26] REE, “El Sistema Eléctrico Español. Avance 2018,” Red Eléctrica de España, Tech. Rep., Enero 2019. [Online]. Available: https://www.ree.es/sites/default/files/11.PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/Avance_ISE_2018.pdf
- [27] MITECO, “Nota de prensa sobre el avance de las emisiones de co2 2018,” Junio 2019. [Online]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/prensa/190610npavanceemisionesco22018_tcm30-497590.pdf
- [28] “Las ventas de camiones eléctricos tendrán que multiplicarse por 28 en los próximos 10 años,” Abril 2020. [Online]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/venta-camiones-electricos-europa/20200404004557034276.html>
- [29] A. Gil, “RevoluciÓn en el mundo del transporte: llegan los camiones eléctricos,” Febrero 2020.

BIBLIOGRAFÍA

- [Online]. Available: <https://www.20minutos.es/noticia/4150317/0/revolucion-en-el-mundo-del-transporte-llegan-los-camiones-electricos/>
- [30] J. J. Castells, “Los 7 rivales que aventajan el camión eléctrico de Tesla,” Noviembre 2017. [Online]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/7-rivales-aventajan-camion-electrico-tesla/20171116132224015690.html>
- [31] S. F. Munguía, “Camiones eléctricos: así son los planes de los principales fabricantes ante el reto de electrificar el transporte de mercancías por carretera,” Enero 2020. [Online]. Available: <https://www.xataka.com/automovil/camiones-electricos-asi-planes-principales-fabricantes-reto-electrificar-transporte-mercancia>
- [32] *Ficha Técnica Mercedes-Benz eActros.*
- [33] *Ficha Técnica Tesla SEMI.* [Online]. Available: <https://www.tesla.com/semi>
- [34] *Ficha Técnica Volvo FL Electric.*
- [35] M. Sivak and B. Schoettle, “On-road Fuel Economy of Vehicles in the United States: 1923-2015,” University of Michigan, Tech. Rep., Marzo 2017.
- [36] M. Baeza, “Cómo extraer la máxima autonomía de un coche eléctrico,” Octubre 2016. [Online]. Available: <https://motor.elpais.com/electricos/extraer-la-maxima-autonomia-coche-electrico>
- [37] DGT, “Parque de vehículos. anuario 2018,” DGT, Tech. Rep., 2019. [Online]. Available: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/>
- [38] EIA, “Annual Energy Review,” Marzo 2009. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/archive/038409.pdf>
- [39] *Ficha Técnica Volkswagen Constellation 17.280.*
- [40] *Ficha Técnica Ford Cargo 1723.*
- [41] *Ficha Técnica Iveco Tector 170E22.*
- [42] *Ficha Técnica Mercedes Benz ATEGO 1726.*
- [43] *Ficha Técnica Mercedes Benz ACCELO 815.*
- [44] *Ficha Técnica Volvo FE CNG.*
- [45] *Ficha Técnica IVECO DAILY.*

- [46] P. Albendea, “Índice Fichero Excel M+CamFur,” 2020.
- [47] R. Ruiz, “Cómo los diferentes escenarios hacia una movilidad menos contaminante influirían en España a un nivel micro y macro económico,” Master’s thesis, Julio 2020.
- [48] J. L. Becerra and J. C. Romero, “Integrating the sdgs into a tfg/tfm,” Marzo 2020.