



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

# **IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)**

Autor: José González Pérez

Director: Andrés Diego Díaz Casado

Director: Fidel Fernández Bernal

Madrid

Julio 2018



# IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)

# IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)

Autor: **González Pérez, José.**

Director: Fernández Bernal, Fidel.

Director: Díaz Casado, Andrés Diego.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. Introducción: Motivación y objetivos

La contaminación supone un problema frente al cual los poderes gubernamentales están tomando diferentes y muy variadas medidas. En España, objeto de estudio en este proyecto, según datos ofrecidos por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), el sector transporte representó en el año 2016 un valor algo superior al 25% del total de emisiones de GEI, de las que más del 60% fueron producidas por turismos, lo que significa un 15% del total de las emisiones GEI del país.

A parte de las emisiones de GEI, existen otros contaminantes que, aunque no tienen tanta relevancia en cuanto a impacto medioambiental global, suponen igualmente un quebradero de cabeza para los reguladores, en este caso como consecuencia de su impacto sobre la salud pública. Tal es el caso del monóxido de carbono (CO) o de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Cabe destacar la importancia de este último contaminante, pues es el causante de los conocidos protocolos anticontaminación desarrollado en ciudades como Madrid o París y que conllevan medidas extraordinarias como la reducción de la velocidad en las carreteras.

Este proyecto tratará de evaluar el impacto que la paulatina introducción del vehículo eléctrico en sustitución del vehículo con motor térmico en España tendrá sobre los diferentes tipos de emisiones asociadas al funcionamiento de los vehículos con motor de combustión convencionales, centrándose en el caso de los GEI y el NO<sub>x</sub> por representar el mayor impacto. En este caso, como las emisiones de NO<sub>x</sub> en las ciudades se deben casi exclusivamente a las emisiones de los vehículos diésel, el efecto sobre las emisiones totales de dicho contaminante será más evidente. En la ciudad de Madrid, según el “Inventario de emisiones de Contaminantes a la Atmósfera en el Municipio de Madrid” del año 2014, el tráfico rodado supuso en dicho año el 51,4% del total de emisiones de NO<sub>x</sub> del municipio.

Por otro lado, la dependencia energética de Europa debido a la escasez de recursos fósiles hace que económicamente tenga un gran déficit comercial exterior en cuanto a recursos energéticos. Los gastos derivados de la importación de recursos energéticos ascendían en

el año 2014 a unos 400.000 millones de euros, copando aproximadamente un 20% de las importaciones totales que se realizan en la Unión.

Este proyecto trata, además, de evaluar el potencial impacto que la introducción del vehículo eléctrico en sustitución del vehículo de combustión interna en España tendría sobre la dependencia energética de España.

## 2. Metodología para el cálculo de emisiones

Se realizará un modelo que permitirá prever las emisiones totales del sector de los turismos, por ser el mercado objetivo del vehículo eléctrico, y las variaciones que se sufrirían en función de la penetración del vehículo eléctrico en el parque. Dicho modelo se calibrará a partir de los informes emitidos anualmente por El Sistema Español de Inventario (SEI), vinculado al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Se utilizan como fechas clave el año 2016, por ser el último año de los que se tienen datos oficiales, y el año 2030, coincidiendo con el año señalado desde la Comisión Europea para alcanzar ciertos objetivos de reducción de las emisiones de GEI y penetración de energía procedente de fuentes renovables sobre la energía final.

Para ello, se utilizarán las emisiones medias por kilómetro de los vehículos teniendo en cuenta su tecnología (gasolina, diésel o puramente eléctrico), su antigüedad, el número de vehículos que componen el parque y el mix eléctrico en cada momento.

Cabe resaltar la enorme relevancia de estas variables y la complejidad para conseguirlas, ocupando las secciones dedicadas a su **obtención** y **previsión** (se recuerda que el estudio tiene alcance a medio plazo) gran parte del estudio y siendo estas de una importancia similar a las conclusiones últimas del proyecto. Para su obtención, se estudiará la evolución temporal de:

1. Normativa de emisiones
2. Medios de transporte
  - a. El vehículo eléctrico
    - i. Sector eléctrico
    - ii. Tecnología propia del vehículo
  - b. Turismo diésel
  - c. Turismo gasolina
3. Parque de turismos

Las variables utilizadas, así como la relación entre ellas **para cada año** calculado, se muestran a continuación de forma gráfica. Se expone, a modo ilustrativo, el ejemplo de cálculo de los turismos diésel para el año 2016.

Ilustración 1. Relación entre las variables del modelo. Ejemplo numérico para los vehículos diesel en el 2016

|          | Antigüedad | Vehículos en el parque | Kilometraje anual (km) | Emisiones por kilómetro (g/100km) | Total emisiones (kt)        |
|----------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Diésel   | Nuevo      | 678496                 | 24596                  | 162,5                             | 2713                        |
|          | 1          | 648336                 | 23607                  | 162,5                             | 2488                        |
|          | 2          | 544821                 | 22618                  | 164,5                             | 2028                        |
|          | .          |                        |                        |                                   |                             |
|          | .          |                        |                        |                                   |                             |
|          | .          |                        |                        |                                   |                             |
|          | 19         | 192092                 | 6114                   | 176,6                             | 207,4                       |
| 20 o más | 537975     | 3547                   | 177,7                  | 339,1                             |                             |
|          |            |                        |                        |                                   | $\Sigma_{diésel} = 33661,9$ |

|          | Antigüedad | Vehículos en el parque | Kilometraje anual (km) | Emisiones por kilómetro (g/100km) | Total emisiones (kt)        |
|----------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Gasolina | Nuevo      |                        |                        |                                   |                             |
|          | 1          |                        |                        |                                   |                             |
|          | 2          |                        |                        |                                   |                             |
|          | .          |                        |                        |                                   |                             |
|          | .          |                        |                        |                                   |                             |
|          | .          |                        |                        |                                   |                             |
|          | 19         |                        |                        |                                   |                             |
| 20 o más |            |                        |                        |                                   |                             |
|          |            |                        |                        |                                   | $\Sigma_{gasolina} = \dots$ |

|           | Antigüedad | Vehículos en el parque | Kilometraje anual (km) | Emisiones por kilómetro (g/100km) | Total emisiones (kt)         |
|-----------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Eléctrico | Nuevo      |                        |                        |                                   |                              |
|           | 1          |                        |                        |                                   |                              |
|           | 2          |                        |                        |                                   |                              |
|           | .          |                        |                        |                                   |                              |
|           | .          |                        |                        |                                   |                              |
|           | .          |                        |                        |                                   |                              |
|           | 19         |                        |                        |                                   |                              |
| 20 o más  |            |                        |                        |                                   |                              |
|           |            |                        |                        |                                   | $\Sigma_{eléctrico} = \dots$ |

|                 |  |
|-----------------|--|
| Total emisiones | $\Sigma_{eléctrico} + \Sigma_{gasolina} + \Sigma_{diésel}$ |
|-----------------|--|

### 3. Resultados y conclusiones

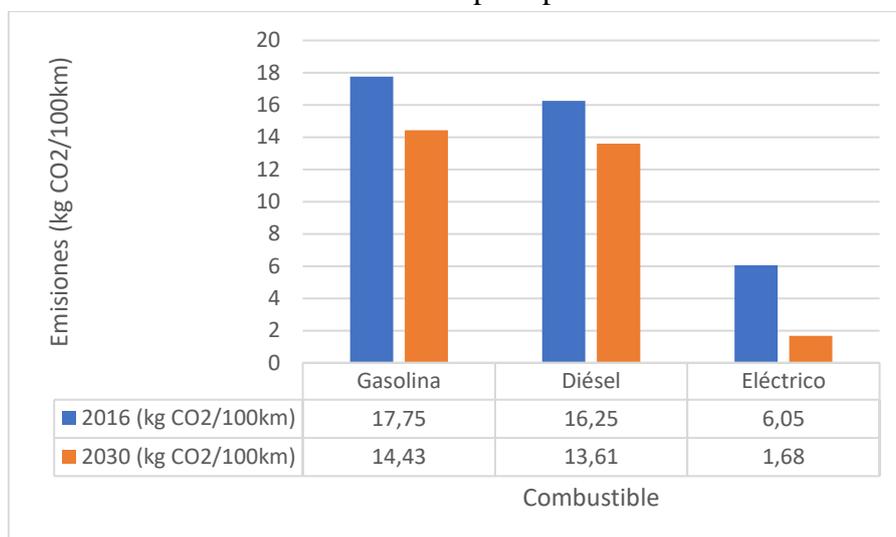
Se presenta en esta sección un resumen de la comparación a nivel individual entre los turismos convencionales (gasolina y diésel) y los eléctricos, así como las previsiones de evolución del parque de turismos en dos escenarios, el de “Mayor Verosimilitud” y el “Límite Teórico”, que representa la situación del parque en el supuesto de que el 100% de las incorporaciones de turismos fueran eléctricas a partir del año base, 2016. Igualmente se presentan las conclusiones del proyecto mostrando la variación en los niveles de emisiones de GEI y NO<sub>x</sub> en dichos escenarios.

Es importante señalar que existe una diferencia muy importante entre los datos oficiales medidos bajo el ciclo NEDC y la realidad. Dichas diferencias han ido aumentando conforme los fabricantes han conocido mejor las debilidades de la prueba, de modo que los resultados aquí expuestos son fruto de recopilar diferentes estudios y fuentes, no coincidiendo estos con los datos oficiales. Estas diferencias han provocado que tanto las emisiones GEI como las de NO<sub>x</sub> se sitúen, actualmente, por encima de la norma.

También hay que destacar el hecho de que la contaminación asociada al vehículo eléctrico es función del *mix* de generación eléctrico.

Los resultados comparativos en cuanto a emisiones para los años 2016 y 2030 son los siguientes.

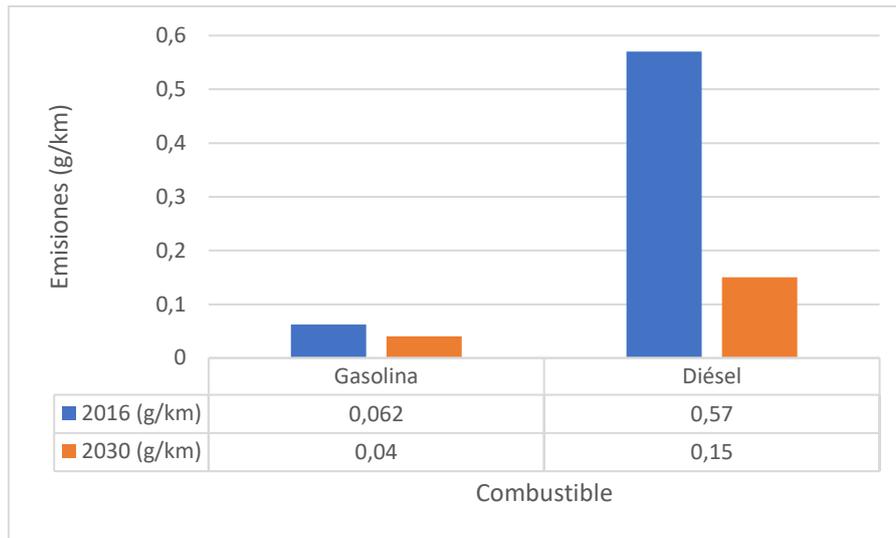
Gráfico 1. Emisiones GEI por tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, se produce una reducción de las emisiones GEI de todas las tecnologías, siendo más acentuado el caso del vehículo eléctrico gracias a la penetración de tecnologías no contaminantes en el mix de generación eléctrico.

Gráfico 2. Emisiones NO<sub>x</sub> por tipo de combustible.

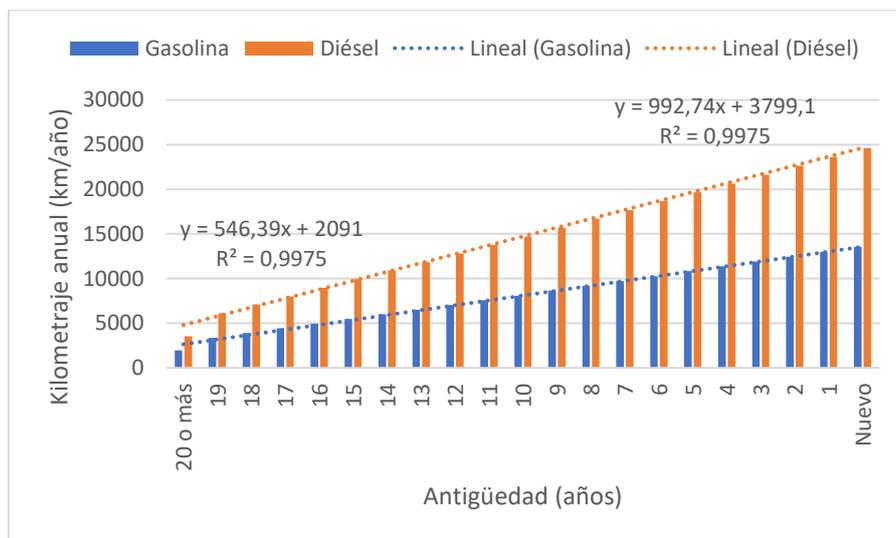


Fuente: Elaboración propia.

Un punto clave del estudio consiste en conocer el kilometraje medio anual según el tipo de combustible utilizado por el vehículo y su antigüedad.

En España no se publican anualmente los datos de kilometraje de los turismos del parque según la antigüedad de estos, motivo por el que se ha tenido que recurrir a los datos ofrecidos desde el Reino Unido. Sin embargo, tampoco el Reino Unido ofrece datos que diferencien según el combustible utilizado, de modo que en este estudio se han hecho estimaciones de carácter económico sobre las posibles diferencias.

Gráfico 3. Kilometraje medio anual por tipo de combustible y antigüedad.



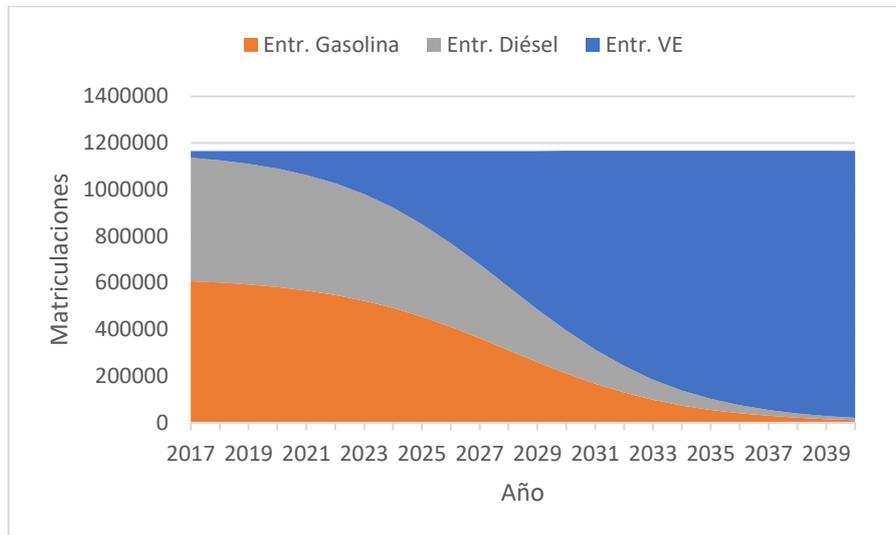
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las previsiones realizadas en cuanto al parque de turismos.

Los resultados obtenidos en el escenario de “Mayor verosimilitud” son los siguientes. Se ha elegido la función sigmoide para simular la entrada de VE, al considerarla la más

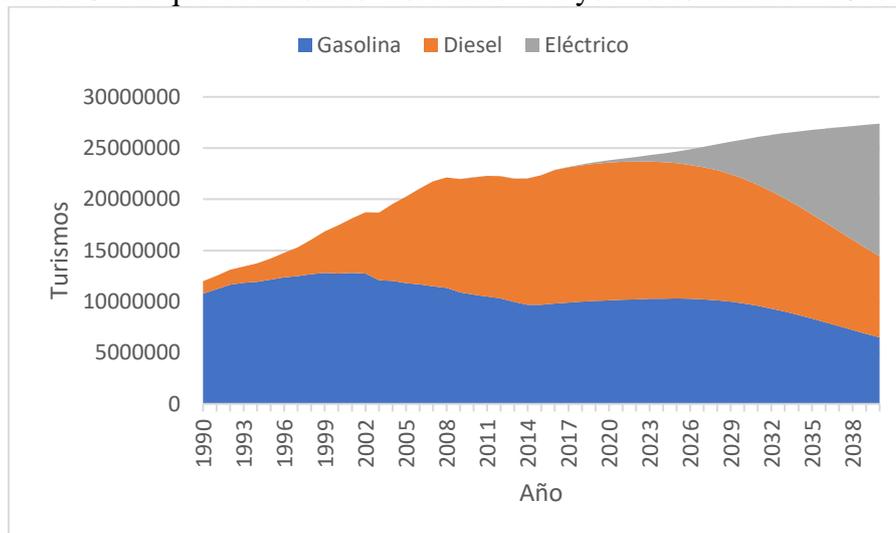
representativa, pues se supone que existirá una sustitución gradual del vehículo convencional por eléctrico en los próximos años.

Ilustración 2. Matriculaciones escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.



Fuente: Elaboración propia.

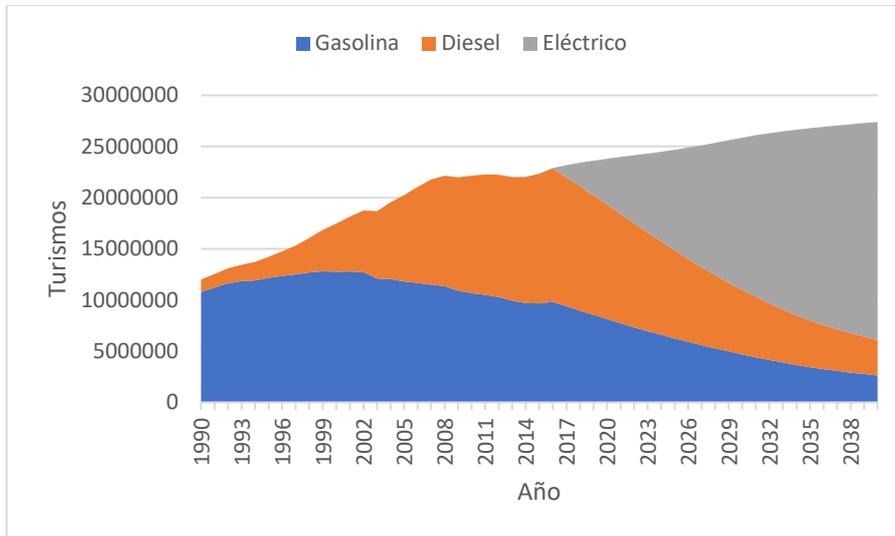
Ilustración 3. Parque de turismos. Escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.



Fuente: Elaboración propia.

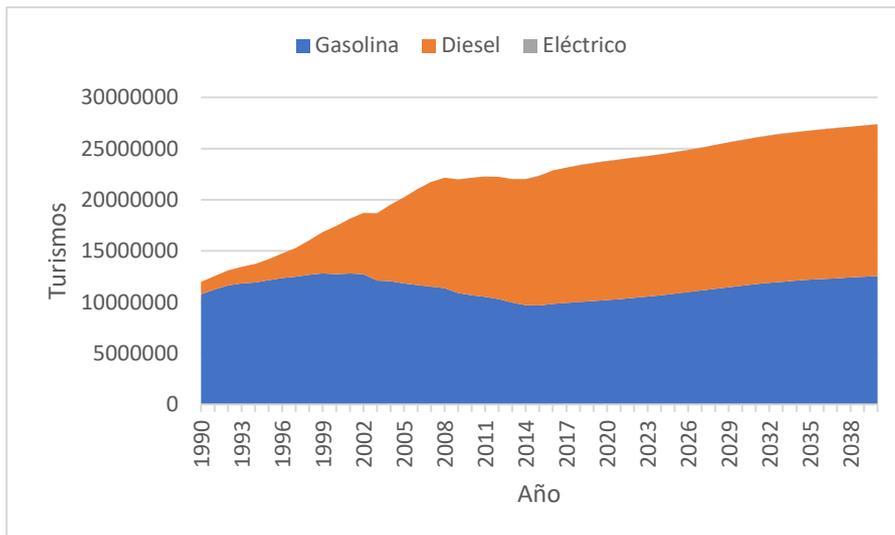
A continuación, se presentan los resultados de simulación en los escenarios “Límite Teórico” y “No inclusión”. No se presentan las sigmoides de entrada.

Ilustración 4. Parque de turismos. Límite teórico.



Fuente: Elaboración propia.

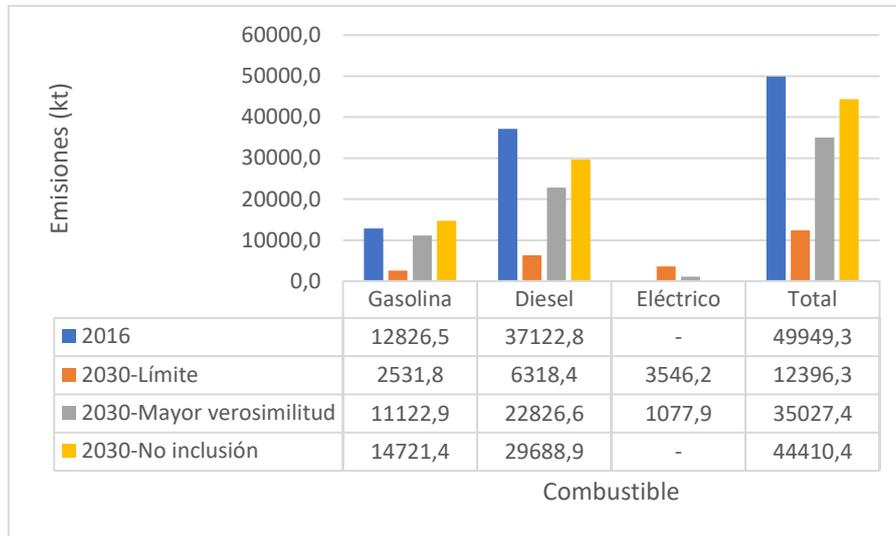
Ilustración 5. Parque de turismos. Escenario “No inclusión”.



Fuente: Elaboración propia.

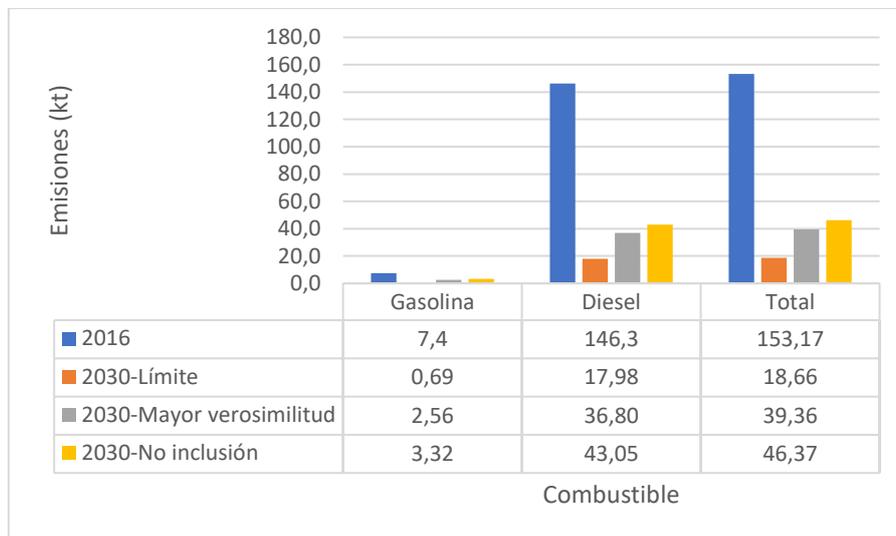
Los resultados en la variación de emisiones para dichos escenarios se presentan a continuación.

Gráfico 4. Emisiones de GEI en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Emisiones de NO<sub>x</sub> en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia.

A nivel global, se observa como la introducción del EV ayuda significativamente a reducir las emisiones de GEI, pero sobre todo de NO<sub>x</sub>, donde la reducción en el escenario considerado más probable (Escenario “Mayor Verosimilitud”) alcanza el 74% en el año 2030 respecto a 2016. En el caso de las emisiones GEI la reducción se sitúa en un 30% respecto a los valores del año 2016 y en un 37% respecto a los del año 2005, lo que ayuda a alcanzar el objetivo europeo para España de reducir un 26% respecto a los valores de 2005 no englobados en el European Trading Scheme (ETS).

La tendencia decreciente de las emisiones de NO<sub>x</sub> generadas por los turismos diésel, a pesar de las notorias desviaciones respecto de las pruebas homologadas bajo el ciclo NEDC, dará lugar a una disminución significativamente en las emisiones de esta familia de contaminantes con independencia de la entrada del EV que, en caso de producirse, ayudará a consolidarla.

En esta línea, las conclusiones principales del proyecto son que **la introducción de VE es poco relevante a la hora de reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> en el futuro mientras que la inclusión del vehículo eléctrico tiene un impacto muy significativo en la reducción de las emisiones totales de GEI.**

La introducción del EV ayuda a alcanzar el objetivo europeo de 27% de generación renovable del total de energía final teniendo en cuenta las previsiones de mix de generación eléctrico para ese año.

## **4. Referencias**

- [1]. “Inventario de emisiones de Contaminantes a la Atmósfera en el Municipio De Madrid 2014”, Área de gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid.
- [2]. “Inventario nacional de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 1990 – 2016”, Edición 2018, MAPAMA
- [3]. “Inventario nacional de emisiones de contaminantes atmosféricos, 1990 – 2016”, Edición 2018, MAPAMA

# ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACT OF THE ELECTRICAL VEHICLE (EV)

Author: **González Pérez, José.**

Director: Fernández Bernal, Fidel.

Director: Díaz Casado, Andrés Diego.

Collaborating Entity: ICAI – Comillas Pontifical University.

## PROJECT SUMMARY

### 1. Introduction: Motivation and objectives

Pollution poses a problem which governmental powers are facing and taking several, very varied measures. In Spain, subject of study in this project, according to data offered by the Ministry of Agriculture and Fisheries, Food and Environment (MAPAMA), in 2016 the transport sector represented a value slightly higher than 25% of total GHG emissions, of which more than 60% were produced by private cars, which means 15% of the total GHG emissions of the country.

Apart from GHG emissions, there are other pollutants that, although not as relevant in terms of global environmental impact, also represent a headache for regulators, in this case as a result of its impact on public health. Such is the case of carbon monoxide (CO) or nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>).

It is important to highlight the importance of this latter pollutant, since it is the cause of the well known anti-contamination protocols developed in cities such as Madrid or Paris and which involve extraordinary measures such as the reduction of speed on the roads.

This project will try to evaluate the impact that the gradual introduction of the electrical vehicle in substitution of vehicles with a thermal engine in Spain will have on the different types of emissions associated with the operation of conventional combustion engine vehicles, focusing on the case of GHGs and the NO<sub>x</sub> representing the greatest impact. In this case, since NO<sub>x</sub> emissions in cities are almost exclusively due to emissions from diesel vehicles, the effect on total emissions of this pollutant will be more evident. In the city of Madrid, according to the "Inventory of Pollutant Releases to the Atmosphere in the Municipality of Madrid" of the year 2014, traffic in that year accounted for 51.4% of the total NO<sub>x</sub> emissions of the municipality.

On the other hand, the energy dependence of Europe due to the scarcity of fossil resources means that economically it has a large external trade deficit in terms of energy resources. The expenses derived from the importation of energy resources amounted to around 400,000 million Euros in 2014, accounting for approximately 20% of the total imports carried out in the Union.

This project also tries to evaluate the potential impact that the introduction of the electrical vehicle in substitution of the internal combustion vehicle in Spain would have on energy dependence of Spain.

## 2. Methodology for calculating emissions

A model will be created which will allow the total emissions of the private car sector to be forecast, due to it being the objective market of the electrical vehicle, and the variations which would occur in function of the penetration of the electrical vehicle in the fleet. This model will be calibrated based on the reports issued annually by the Spanish Inventory System (SEI), linked to the Ministry of Agriculture and Fisheries, Food and Environment (MAPAMA).

The years that to be used as key dates are 2016, since it is the last year for which official data is available, and the year 2030, coinciding with the year designated by the European Commission to achieve certain objectives to reduce GHG emissions and penetration of energy from renewable sources on the final energy.

For this, the average emissions per kilometer of the vehicles will be used, taking into account their technology (gasoline, diesel or purely electric), their age, the number of vehicles that make up the fleet and the electric *mix* at all times.

It is important to highlight the enormous relevance of these variables and the complexity to achieve them, occupying the sections dedicated to their **collection and forecasting** (keeping in mind that the study has a medium term scope), a large part of the study and these being of similar importance to the final conclusions of the project. To obtain it, we will study the temporal evolution of:

4. Emissions regulations
5. Means of transport
  - a. The electrical vehicle
    - i. Electrical sector
    - ii. Technology of the vehicle
  - b. Diesel cars
  - c. Petrol cars
6. Private car fleet

The variables used, as well as the relationship between them **for each calculated year**, are shown below graphically. It is shown, by way of illustration, the calculation example of diesel cars for the year 2016.

Illustration 6. Relationship between the model variables. Numerical example for diesel vehicles in 2016

|        | Antigüedad | Vehículos en el parque |  | Kilometraje anual (km) |  | Emisiones por kilómetro (g/100km) |  | Total emisiones (kt)        |
|--------|------------|------------------------|--|------------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| Diésel | Nuevo      | 678496                 |  | 24596                  |  | 162,5                             |  | 2713                        |
|        | 1          | 648336                 |  | 23607                  |  | 162,5                             |  | 2488                        |
|        | 2          | 544821                 |  | 22618                  |  | 164,5                             |  | 2028                        |
|        | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|        | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|        | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|        | 19         | 192092                 |  | 6114                   |  | 176,6                             |  | 207,4                       |
|        | 20 o más   | 537975                 |  | 3547                   |  | 177,7                             |  | 339,1                       |
|        |            |                        |  |                        |  |                                   |  | $\Sigma_{diésel} = 33661,9$ |

|          | Antigüedad | Vehículos en el parque |  | Kilometraje anual (km) |  | Emisiones por kilómetro (g/100km) |  | Total emisiones (kt)        |
|----------|------------|------------------------|--|------------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| Gasolina | Nuevo      |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          | 1          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          | 2          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          | 19         |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          | 20 o más   |                        |  |                        |  |                                   |  |                             |
|          |            |                        |  |                        |  |                                   |  | $\Sigma_{gasolina} = \dots$ |

|           | Antigüedad | Vehículos en el parque |  | Kilometraje anual (km) |  | Emisiones por kilómetro (g/100km) |  | Total emisiones (kt)         |
|-----------|------------|------------------------|--|------------------------|--|-----------------------------------|--|------------------------------|
| Eléctrico | Nuevo      |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           | 1          |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           | 2          |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           | .          |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           | 19         |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           | 20 o más   |                        |  |                        |  |                                   |  |                              |
|           |            |                        |  |                        |  |                                   |  | $\Sigma_{eléctrico} = \dots$ |

|                 |  |
|-----------------|--|
| Total emisiones | $\Sigma_{eléctrico} + \Sigma_{gasolina} + \Sigma_{diésel}$ |
|-----------------|--|

### 3. Results and conclusions

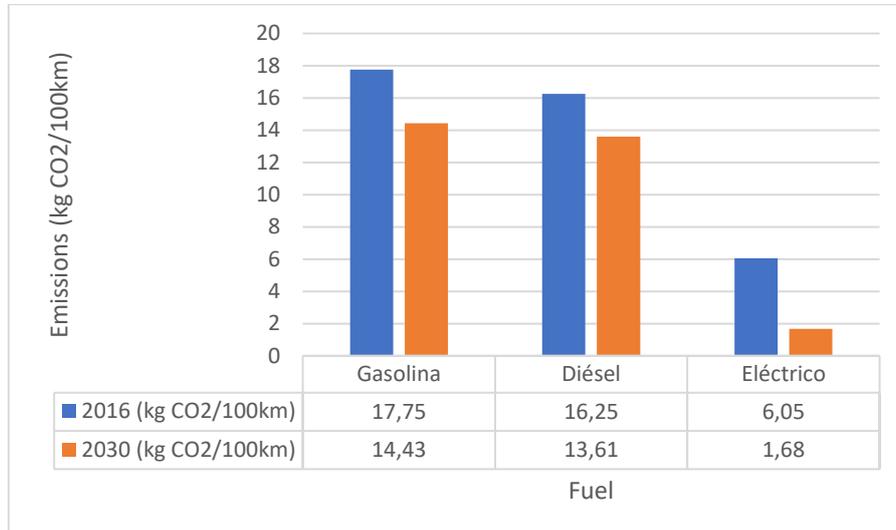
This section presents a summary of the comparison at an individual level between conventional private cars (petrol and diesel) and electric ones, as well as the evolution forecasts of the car fleet in two scenarios, that of "Highest Likelihood" and the "Theoretical Limit", which represents the situation of the fleet in the assumption that 100% of passenger car incorporations were electrical from the base year, 2016. Likewise, the conclusions of the project are presented showing the variation in the levels of GHG emissions and NO<sub>x</sub> in such scenarios.

It is important to note that there is a very important difference between the official data measured under the NEDC cycle and reality. These differences have been increasing as the manufacturers have better knowledge of the weaknesses of the test, so that the results presented here are the result of compiling different studies and sources, not coinciding with the official data. These differences have caused that both GHG and NO<sub>x</sub> emissions are currently above the norm.

Also noteworthy is the fact that the pollution associated with the electrical vehicle is a function of the electric generation *mix*.

The comparative results in terms of emissions for the years 2016 and 2030 are the following.

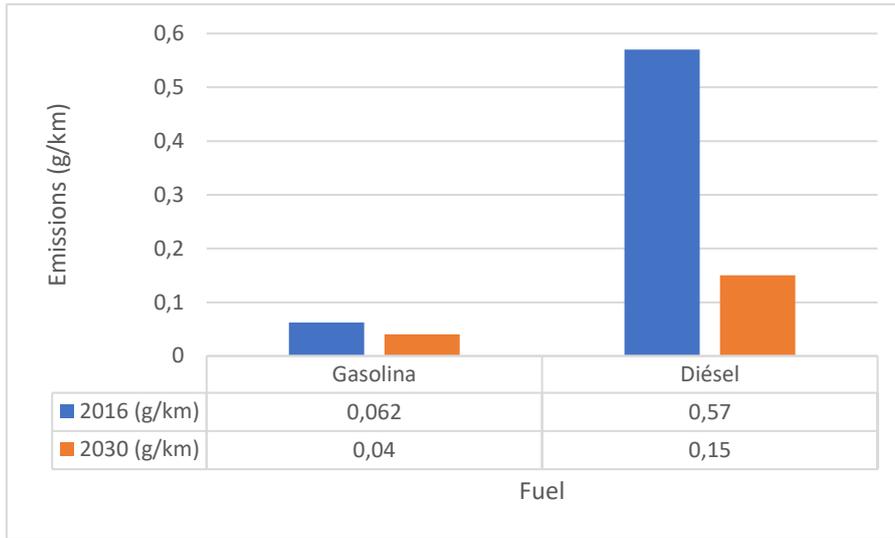
Graphic 6. GHG emissions by fuel type.



Source: Own elaboration.

As can be seen, there is a reduction in the GHG emissions of all the technologies, being the accentuated the case of the electrical vehicle thanks to the penetration of non-polluting energies in the electric generation mix.

Graphic 7. NO<sub>x</sub> emissions by fuel type.

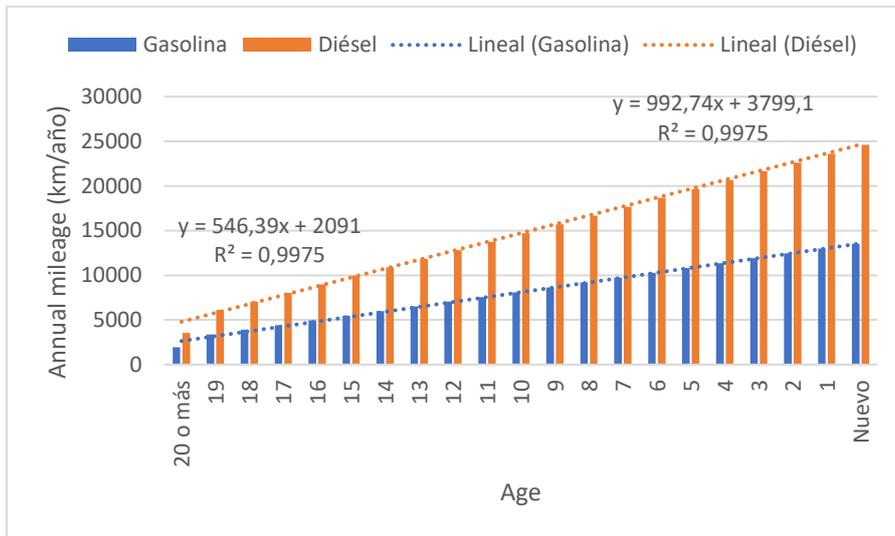


Source: Own elaboration.

A key point of the study is to know the average annual mileage according to the type of fuel used by the vehicle and its age.

In Spain, the mileage data of the cars in the fleet are not published annually according to their age, which is why we have had to resort to the data offered from the United Kingdom. However, the United Kingdom does not offer data that differentiates according to the fuel used, so in this study economic estimates have been made about the possible differences.

Graphic 8. Average annual mileage by type of fuel and age.

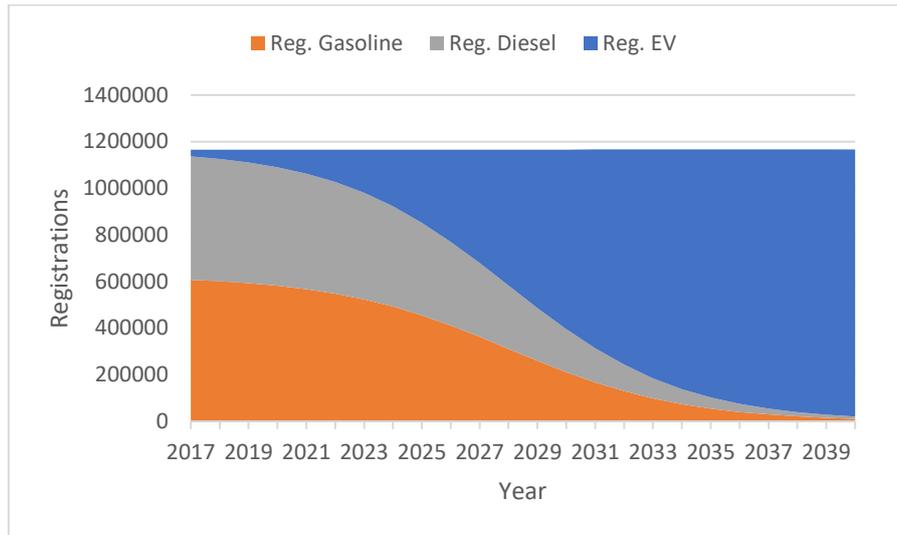


Source: Own elaboration.

Below are presented the forecasts made regarding the car fleet.

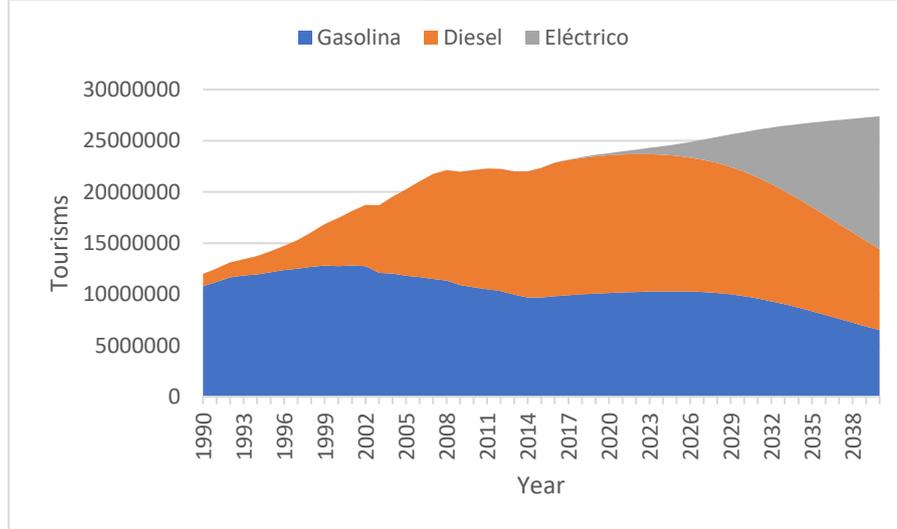
The results obtained in the "Highest likelihood" scenario are the following. The sigmoid function has been chosen to simulate EV entry, considering it the most representative, since it is assumed that there will be a gradual replacement of the conventional vehicle by the electrical in the coming years.

Illustration 7. "Highest likelihood" registration scenario 2017-2040.



Source: Own elaboration.

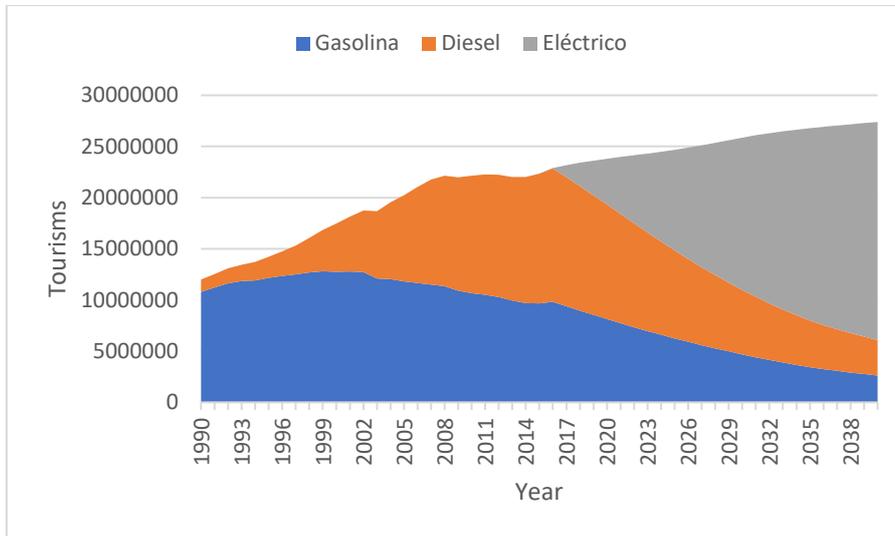
Illustration 8. Tourisms fleet. "Highest likelihood" scenario. 2017-2040.



Source: Own elaboration.

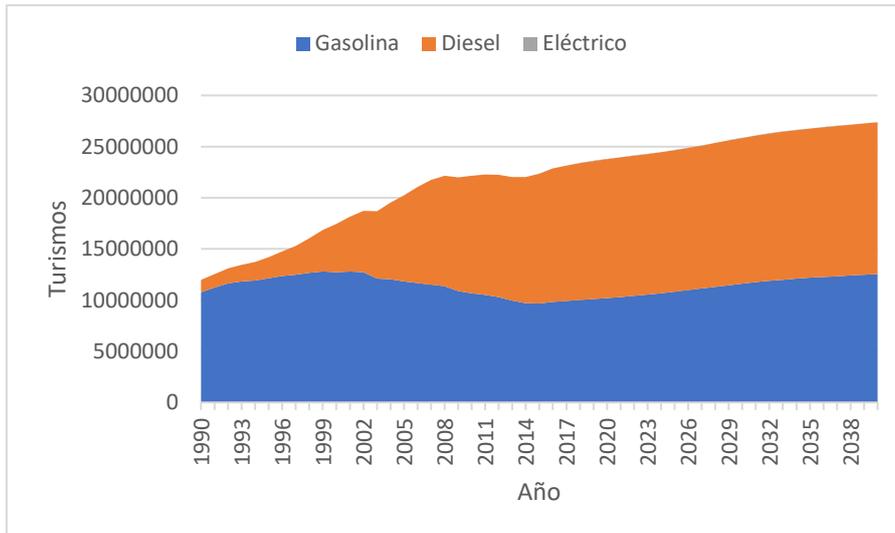
Next, the simulation result is presented in the "Theoretical Limit" and "No incorporation" scenarios. The entrance sigmoid are not presented as they're quite simple.

Illustration 9. Private car fleet. "Theoretical limit" scenario.



Source: Own elaboration.

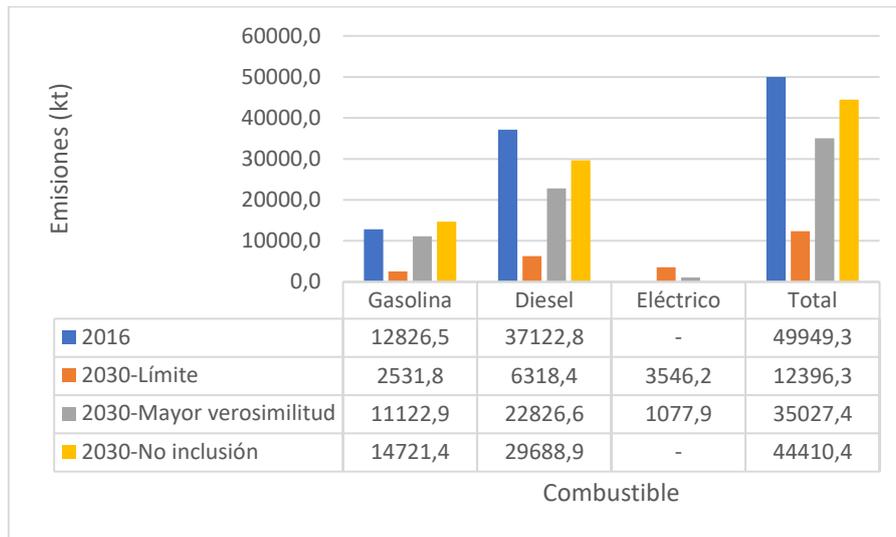
Ilustración 10. Tourisms fleet. "No incorporation" scenario.



Fuente: Elaboración propia.

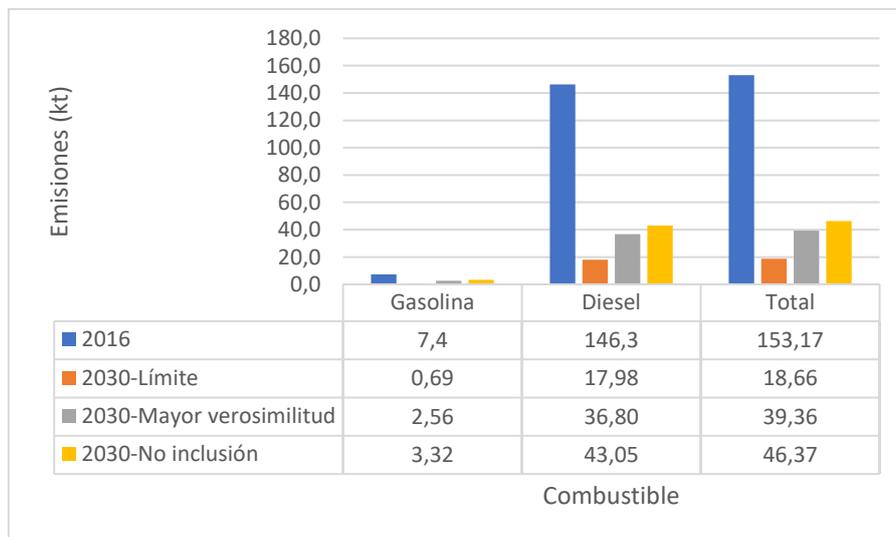
The results in the variation of emissions for both scenarios are presented below.

Graphic 9. GHG emissions in different scenarios according to the source of pollution.



Source: Own elaboration.

Graphic 10. NO<sub>x</sub> emissions in different scenarios depending on the contamination source.



Source: Own elaboration.

At a global level, it is observed how the introduction of EV helps significantly to reduce GHG emissions, but above all those of NO<sub>x</sub>, where the reduction in the scenario considered most probable ("Highest Likelihood" scenario) reaches 74% in the year 2030 with respect to 2016. In the case of GHG emissions, the reduction is 30% compared to the values of 2016 and 37% compared to 2005, which helps to achieve the European objective for Spain to reduce 26% compared to 2005 values not included in the European Trading Scheme (ETS).

The decreasing trend of NO<sub>x</sub> emissions generated by diesel passenger cars, despite the notorious deviations from the tests approved under the NEDC cycle, will lead to a significant decrease in the emissions of this family of pollutants regardless of the input of the EV that, if it occurs, will help consolidate it.

The introduction of the EV helps to achieve the European objective of 27% renewable generation of the total final energy taking into account the forecasts of the *mix* of electricity generation for that year.

## **4. References**

- [1]. "Inventory of Pollutant Releases to the Atmosphere in the Municipality of Madrid 2014", Government Department of Environment and Mobility of the Madrid City Council.
- [2]. "National Inventory of Greenhouse Gas Emissions, 1990 - 2016", Edition 2018, MAPAMA
- [3]. "National inventory of air pollutant emissions, 1990 - 2016", Edition 2018, MAPAMA

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título "IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)" en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2017/2018 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.: José González Pérez      Fecha: 10/07/ 2018

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Andrés Diego Díaz Casado      Fecha: 10/07/2018

Fdo.: Fidel Fernández Bernal      Fecha: 10/07/2018

# IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)



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

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

El autor D. José González Pérez DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)”, 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 pudieran 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 10 de julio de 2018

**ACEPTA**

Fdo: José González Pérez

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

|  |
|--|
|  |
|--|



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

# **IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)**

Autor: José González Pérez

Director: Andrés Diego Díaz Casado

Director: Fidel Fernández Bernal

Madrid

Julio 2018

# IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)



# **Agradecimientos**

A mis directores, Fidel y Andrés, por su dedicación y cercanía.

A mis compañeros de piso, Pablo e Ignacio, por aguantarme en los momentos más duros y cuando no me salían las cosas.

A Ernesto y Alberto, del departamento de Sostenibilidad e Innovación de Endesa, por su ayuda desinteresada y su amabilidad.

A mis compañeros de clase, especialmente a Rosendo, por empujarme cuando estaba cansado y demostrarme que con esfuerzo nada es imposible.

A todos los profesores que, con paciencia y entrega, me han enseñado todo lo necesario para llegar a este momento.

Y sobre todo a mis padres, que me lo han dado todo.

Sin vosotros no sería posible.

**GRACIAS**



# IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)

# Índice de Contenidos

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>1</b>  | <b>INTRODUCCIÓN</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1       | MOTIVACIÓN  | 1          |
| 1.2       | ENFOQUE Y METODOLOGÍA   | 6          |
| <b>2</b>  | <b>NORMATIVA DE EMISIONES</b>   | <b>16</b>  |
| 2.1       | DIRECTIVE ON THE DEPLOYMENT OF ALTERNATIVE FUELS INFRASTRUCTURE ODAFI       | 18         |
| 2.2       | NORMATIVA DE EMISIONES DE CO <sub>2</sub>                                   | 18         |
| 2.2.1     | <i>Turismos.</i>  | 18         |
| 2.2.2     | <i>Vehículos comerciales ligeros</i>  | 20         |
| 2.2.3     | <i>Vehículos pesados</i>  | 21         |
| 2.3       | EURO STANDARDS  | 22         |
| 2.4       | PROTOCOLO PARA EPISODIOS DE ALTA CONTAMINACIÓN EN LA CIUDAD DE MADRID       | 29         |
| <b>3</b>  | <b>MEDIOS DE TRANSPORTE</b>   | <b>30</b>  |
| 3.1       | EL VEHÍCULO ELÉCTRICO (EV)  | 30         |
| 3.1.1     | <i>El Sistema Eléctrico en España</i>                                       | 31         |
| 3.1.2     | <i>La electricidad en el transporte</i>                                     | 43         |
| 3.2       | VEHÍCULOS CON MOTORES DE COMBUSTIÓN   | 50         |
| 3.2.1     | <i>Compuestos tóxicos asociados a los vehículos ICE</i>                     | 51         |
| 3.2.2     | <i>Los vehículos ICE en España</i>  | 51         |
| 3.3       | COMPARACIÓN   | 66         |
| <b>4</b>  | <b>EL PARQUE DE TURISMOS ESPAÑOL</b>  | <b>73</b>  |
| 4.1       | SITUACIÓN ACTUAL  | 73         |
| 4.2       | PREVISIÓN DE EVOLUCIÓN DEL PARQUE   | 85         |
| 4.2.1     | <i>Escenario “Límite teórico”</i>   | 89         |
| 4.2.2     | <i>Escenario “No inclusión”</i>   | 90         |
| 4.2.3     | <i>Escenario “Mayor verosimilitud”</i>                                      | 91         |
| <b>5</b>  | <b>CONTAMINACIÓN EN EL TRANSPORTE.</b>                                      | <b>95</b>  |
| 5.1       | AJUSTE DEL MODELO   | 97         |
| 5.1.1     | <i>Gases de Efecto Invernadero</i>  | 98         |
| 5.1.2     | <i>Contaminantes Atmosféricos</i>   | 100        |
| 5.2       | PREVISIONES A FUTURO: AÑO 2030  | 103        |
| 5.2.1     | <i>Gases de Efecto Invernadero</i>  | 103        |
| 5.2.2     | <i>Contaminantes Atmosféricos</i>   | 106        |
| <b>6</b>  | <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>111</b> |
| 6.1       | MIX DE GENERACIÓN ELÉCTRICO   | 111        |
| 6.2       | MEDIOS DE TRANSPORTE  | 113        |
| 6.3       | EL PARQUE DE TURISMOS ESPAÑOL   | 119        |
| 6.4       | CONTAMINACIÓN EN EL TRANSPORTE  | 122        |
| 6.4.1     | <i>Gases de Efecto Invernadero</i>  | 122        |
| 6.4.2     | <i>Contaminantes Atmosféricos</i>   | 124        |
| <b>7</b>  | <b>FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b>                                      | <b>127</b> |
| <b>8</b>  | <b>ANEXO I. TABLAS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI. AÑO 2016</b>             | <b>128</b> |
| <b>9</b>  | <b>ANEXO II. TABLAS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE NO<sub>x</sub>. AÑO 2016</b> | <b>131</b> |
| <b>10</b> | <b>ANEXO III. TABLAS DE CÁLCULO DE EMISIONES GEI. AÑO 2030.</b>             | <b>134</b> |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 10.1      | ESCENARIO "LÍMITE TEÓRICO" .....  | 135        |
| 10.2      | ESCENARIO "NO INCLUSIÓN" .....  | 137        |
| 10.3      | ESCENARIO "MAYOR VEROSIMILITUD" .....   | 139        |
| <b>11</b> | <b>ANEXO V. TABLAS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE NO<sub>x</sub>. AÑO 2030.....</b> | <b>141</b> |
| 11.1      | ESCENARIO "LÍMITE TEÓRICO" .....  | 142        |
| 11.2      | ESCENARIO "NO INCLUSIÓN" .....  | 144        |
| 11.3      | ESCENARIO "MAYOR VEROSIMILITUD" .....   | 146        |
| <b>12</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>148</b> |



# 1 Introducción

## 1.1 Motivación

La contaminación supone un problema frente al cual los poderes gubernamentales están tomando diferentes y muy variadas medidas. El transporte, por representar un muy amplio porcentaje de esta, es un destacado protagonista en la búsqueda de reducir las emisiones de gases contaminantes y es que, según datos proporcionados por la International Energy Agency (IEA), supone alrededor del 25% del consumo mundial de energía final y, según la Comisión Europea (CE), en el año 2016 fue el causante del 33% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)<sup>1</sup> producidas en la Unión Europea (UE).

Dentro de este sector, el de pasajeros representa un 60% del consumo de energía, y la previsión es, según Energy Information Administration (EIA), que continúe creciendo a una tasa próxima al 1,5%, siendo el más destacado protagonista.

En el caso de España, objeto de estudio en este proyecto, según datos ofrecidos por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), el transporte tiene un menor peso relativo en las emisiones de GEI, aunque conserva su enorme relevancia. En concreto, el sector transporte representó en el año 2016 un valor algo superior al 25% del total de emisiones de GEI.

Dentro del sector transporte, en línea con lo expuesto por la Energy Information Administration (EIA), cabe destacar que la mayor parte de las emisiones son producidas por turismos, representando más del 60% de las emisiones del sector, lo que significa un 15% del total de las emisiones GEI del país.

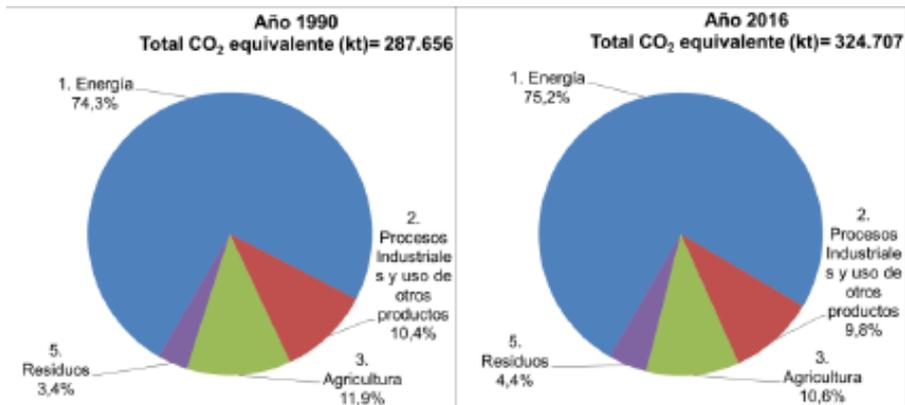
Este proyecto tratará de evaluar el impacto que la paulatina introducción del vehículo eléctrico en sustitución del vehículo con motor térmico en España tendrá sobre las emisiones de GEI. Como este proyecto se centra fundamentalmente en los turismos, los resultados obtenidos afectarán exclusivamente al 15% del total de las emisiones GEI de España; aunque permiten una estimación general de la importancia y consecuencias de la generalización de la electrificación de todo el transporte e invita a ampliar los estudios en este campo.

---

<sup>1</sup> Un Gas de Efecto Invernadero (GEI) es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Este proceso es la fundamental causa del efecto invernadero. Los principales GEI en la atmósfera son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido de nitrógeno y el ozono.

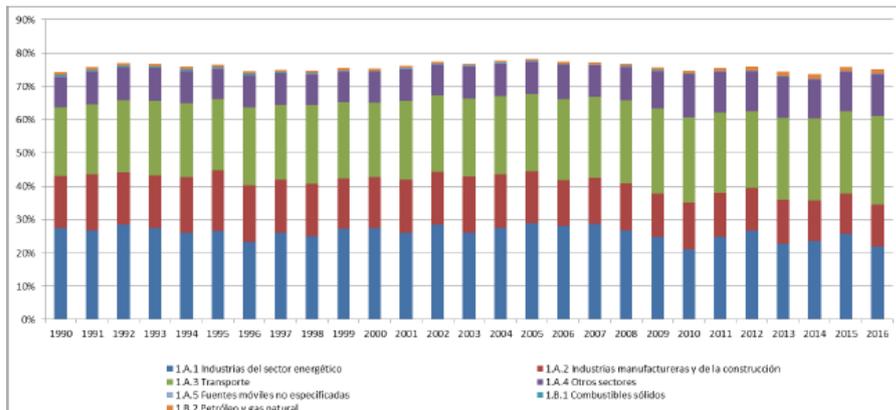


Ilustración 11. Peso relativo en las emisiones GEI por sectores. 1990 y 2016.



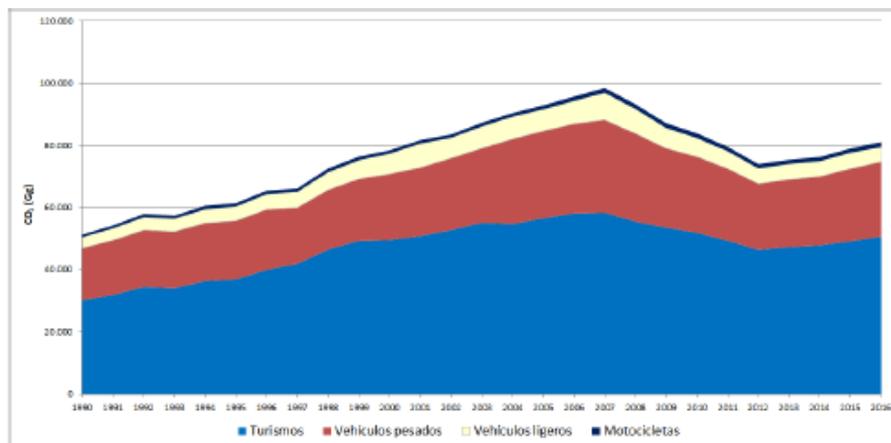
Fuente: “Inventario de Contaminantes Atmosféricos, 2016”, MAPAMA

Ilustración 12. Peso relativo de las diferentes fuentes de emisión de GEI dentro del sector "Energía". 1990-2016



Fuente: “Inventario de Contaminantes Atmosféricos, 2016”, MAPAMA

Ilustración 13. Emisiones GEI por fuentes de emisión dentro del sector "Transporte por carretera". 1990-2016

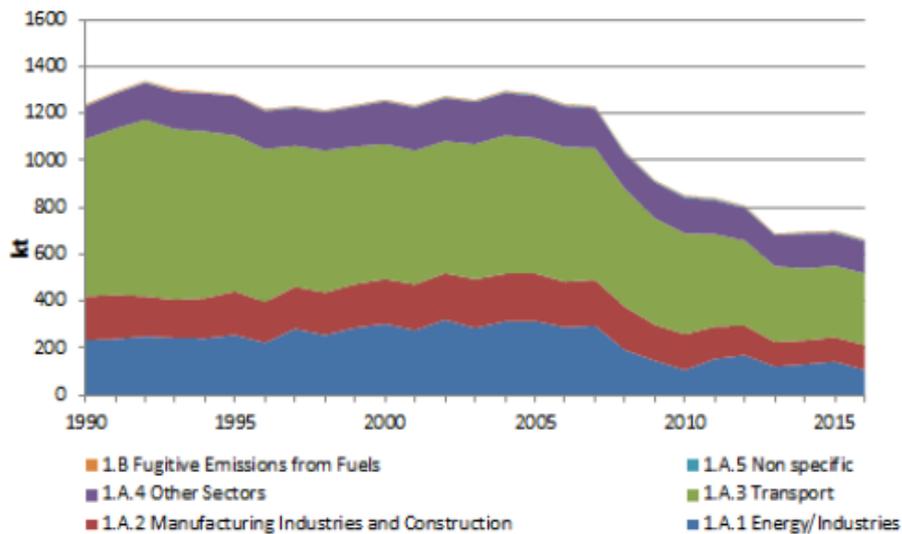


Fuente: “Inventario de Contaminantes Atmosféricos, 2016”, MAPAMA



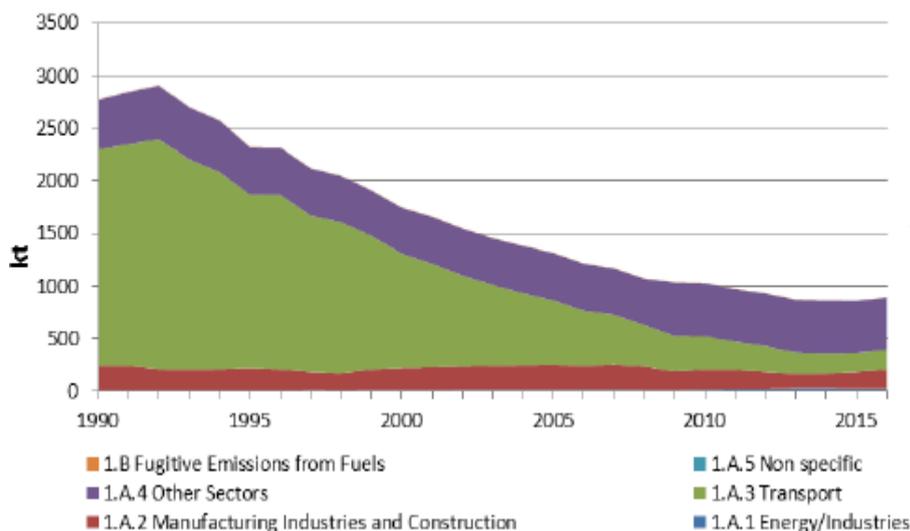
A parte de las emisiones de GEI, existen otros contaminantes que, aunque no tienen tanta relevancia en cuanto a impacto medioambiental global, suponen igualmente un quebradero de cabeza para los reguladores, en este caso como consecuencia de su impacto sobre la salud pública. Tal es el caso del monóxido de carbono (CO) o de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Ilustración 14. Evolución emisiones de NO<sub>x</sub> por sectores de actividad. 1990-2016



Fuente: "Inventario de Contaminantes Atmosféricos, 2016", MAPAMA

Ilustración 15. Evolución emisiones de CO por sectores de actividad. 1990-2016



Como se puede observar, durante los años 90 la mayor parte de las emisiones de estos contaminantes se debían al sector transporte. Sin



embargo, existe una divergencia en cuanto a la tendencia en las emisiones de estos dos contaminantes.

Mientras que las emisiones de CO han sido controladas, las emisiones de NO<sub>x</sub>, asociadas principalmente al funcionamiento de los motores diésel, pese a haber experimentado un descenso, continúan siendo muy importantes.

Cabe destacar la importancia de este último contaminante, pues es el causante de los conocidos protocolos anticontaminación desarrollado en ciudades como Madrid o Paris y que conllevan medidas extraordinarias como la reducción de la velocidad en las carreteras.

Este proyecto también tratará de evaluar el impacto que la paulatina introducción del vehículo eléctrico en sustitución del vehículo con motor térmico en España tendrá sobre las emisiones de NO<sub>x</sub>. En este caso, como las emisiones de NO<sub>x</sub> en las ciudades se deben casi exclusivamente a las emisiones de los vehículos diésel, el efecto sobre las emisiones totales de dicho contaminante será más evidente. En la ciudad de Madrid, según el “Inventario de emisiones de Contaminantes a la Atmósfera en el Municipio de Madrid” del año 2014, el tráfico rodado supuso en dicho año el 51,4% del total de emisiones de NO<sub>x</sub> del municipio.

Por otro lado, la dependencia energética de Europa debido a la escasez de recursos fósiles hace que económicamente tenga un gran déficit comercial exterior en cuanto a recursos energéticos. Los gastos derivados de la importación de recursos energéticos ascendían en el año 2014 a unos 400.000 millones de euros, copando aproximadamente un 20% de las importaciones totales que se realizan en la Unión.

La UE importa aproximadamente la mitad de la energía que consume (un 53% exactamente), siendo muy vulnerable ante sus suministradores, que por lo general son países con situaciones políticas inestables. En este 53% se incluye el 90% del petróleo consumido, el 66% del gas natural y un 42% de combustibles fósiles, entre los que se encuentra el carbón y que, a pesar de que estar reduciéndose, sigue teniendo un papel importante en el consumo energético.

Centrándonos en el caso de España, el porcentaje respecto al petróleo y el gas natural es aún mayor, siendo la dependencia del exterior prácticamente del 100%. Según datos facilitados por el IDAE, entre 2009 y 2013 la media de autoabastecimiento de productos petrolíferos y gas natural fue del 0,31 y del 0,14% respectivamente.

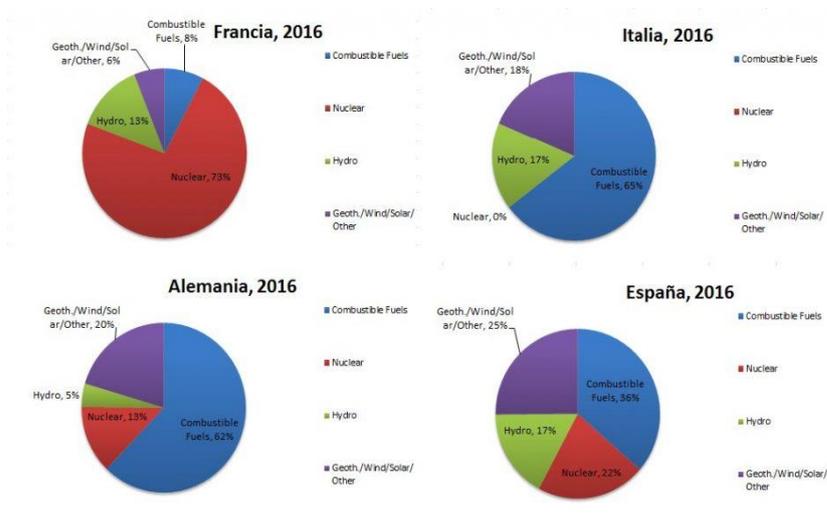
Este proyecto tratará de evaluar el potencial impacto que la introducción del vehículo eléctrico en sustitución del vehículo con motor térmico en España tendría sobre la dependencia energética de España.

La utilización del vehículo eléctrico supone un beneficio sustancial si se tiene únicamente en cuenta las emisiones locales generadas por el vehículo (las asociadas a su estricto funcionamiento en el lugar donde este funciona) y la reducción en los combustibles utilizados en los motores de los vehículos.

Sin embargo, hay que tener en consideración que la electricidad debe ser producida a través de un *mix* de generación que puede ser más o menos contaminante. Es por esto por lo que la implantación del vehículo eléctrico puede ser una solución más o menos eficaz al problema de la contaminación y de la dependencia energética, según el país y circunstancias en que nos encontremos y en función de las fuentes más o menos contaminantes de energía primaria empleadas para producir la energía eléctrica.

A modo ejemplo, se presenta un gráfico resumen de las diferencias en el *mix* de generación eléctrica de 4 países de la UE.

Gráfico 11. *Mix* de generación eléctrica de Francia, Italia, Alemania y España en 2016.



Fuente: Ipsom.

Como se puede observar, las diferencias en cuanto a las tecnologías utilizadas en la generación eléctrica son enormes. Alemania tiene una enorme dependencia de los combustibles fósiles (62%), por lo que sustituir el petróleo en el transporte por energía eléctrica tiene un menor efecto en el problema de dependencia energética y de contaminación. Sin embargo, en Francia el gran peso de la generación recae sobre la



energía nuclear, que apenas produce emisiones de GEI, pero que no es renovable y su uso es muy controvertido, generando otras controversias.

## 1.2 Enfoque y metodología

Se realizará un modelo que permitirá prever las emisiones totales del sector de los turismos, por ser el mercado objetivo del vehículo eléctrico a más corto plazo, y las variaciones que se sufrirían en función de la penetración del coche eléctrico en el parque total de automóviles.

Se utilizan como fechas clave el año 2016, por ser el último año de los que se tienen datos oficiales, y el año 2030, coincidiendo con el año señalado desde la Comisión Europea para alcanzar ciertos objetivos de reducción de las emisiones de GEI y penetración de energía procedente de fuentes renovables sobre la energía final.

Para ello, se utilizarán las emisiones medias por kilómetro de cada tecnología, así como el kilometraje medio de cada vehículo y el número total de vehículos que componen el parque en cada momento. Con el objetivo de alcanzar unos resultados ajustados a la realidad, se estudiarán las variables mencionadas según diferentes factores, tales como la antigüedad del vehículo o el tipo de combustible utilizado.

Dichos datos han sido reunidos a partir de muchas y muy variadas fuentes con el objetivo de alcanzar unas cifras realistas, que en muchos casos nada tienen que ver con los datos oficiales, realizando un gran esfuerzo para mantener la coherencia entre las mismas.

Adicionalmente, como consecuencia de la falta de información sobre ciertos datos requeridos por el modelo, se han realizado estudios a partir de los datos disponibles, de los que se han obtenido conclusiones de una **relevancia comparable a la del objetivo final** del proyecto, como se explica más adelante. Tal es el caso de la diferencia en el kilometraje anual realizado entre los turismos diésel y gasolina o la forma en la que se producen las bajas de los turismos según su antigüedad. También es importante destacar la gran dificultad para obtener datos sobre el kilometraje anual de los turismos según su antigüedad, teniendo que recurrir a datos expuestos por el gobierno del Reino Unido recogidos en el equivalente británico a la ITV española. Sería deseable que en España se obligara a recopilar estos datos, lo que sería de gran interés y provecho.

Las variables utilizadas, así como la relación entre ellas **para cada año** calculado, se muestran a continuación de forma gráfica. Se expone, a modo ilustrativo, el ejemplo de cálculo de los turismos diésel para el año 2016.



|        | Antigüedad | Vehículos en el parque |   | Kilometraje anual (km) |   | Emisiones por kilómetro (g/100km) |   | Total emisiones (kt)        |
|--------|------------|------------------------|---|------------------------|---|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| Diésel | Nuevo      | 678496                 |   | 24596                  |   | 162,5                             |   | 2713                        |
|        | 1          | 648336                 |   | 23607                  |   | 162,5                             |   | 2488                        |
|        | 2          | 544821                 |   | 22618                  |   | 164,5                             |   | 2028                        |
|        | .          |                        | X |                        | X |                                   | = |                             |
|        | .          |                        |   |                        |   |                                   |   |                             |
|        | 19         | 192092                 |   | 6114                   |   | 176,6                             |   | 207,4                       |
|        | 20 o más   | 537975                 |   | 3547                   |   | 177,7                             |   | 339,1                       |
|        |            |                        |   |                        |   |                                   |   | $\Sigma_{diésel} = 33661,9$ |

|          | Antigüedad | Vehículos en el parque |   | Kilometraje anual (km) |   | Emisiones por kilómetro (g/100km) |   | Total emisiones (kt)        |
|----------|------------|------------------------|---|------------------------|---|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| Gasolina | Nuevo      |                        |   |                        |   |                                   |   |                             |
|          | 1          |                        |   |                        |   |                                   |   |                             |
|          | 2          |                        |   |                        |   |                                   |   |                             |
|          | .          |                        | X |                        | X |                                   | = |                             |
|          | .          |                        |   |                        |   |                                   |   |                             |
|          | 19         |                        |   |                        |   |                                   |   |                             |
| 20 o más |            |                        |   |                        |   |                                   |   |                             |
|          |            |                        |   |                        |   |                                   |   | $\Sigma_{gasolina} = \dots$ |

|           | Antigüedad | Vehículos en el parque |   | Kilometraje anual (km) |   | Emisiones por kilómetro (g/100km) |   | Total emisiones (kt)         |
|-----------|------------|------------------------|---|------------------------|---|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Eléctrico | Nuevo      |                        |   |                        |   |                                   |   |                              |
|           | 1          |                        |   |                        |   |                                   |   |                              |
|           | 2          |                        |   |                        |   |                                   |   |                              |
|           | .          |                        | X |                        | X |                                   | = |                              |
|           | .          |                        |   |                        |   |                                   |   |                              |
|           | 19         |                        |   |                        |   |                                   |   |                              |
| 20 o más  |            |                        |   |                        |   |                                   |   |                              |
|           |            |                        |   |                        |   |                                   |   | $\Sigma_{eléctrico} = \dots$ |

|                 |  |
|-----------------|--|
| Total emisiones | $\Sigma_{eléctrico} + \Sigma_{gasolina} + \Sigma_{diésel}$ |
|-----------------|--|



En forma de ecuación, el cálculo de emisiones **para un año concreto** se realiza a partir de la siguiente ecuación que relaciona dichas variables.

$E_{xij}$  = Emisiones contaminante  $x$ , turismo con combustible  $i$ , antigüedad  $j$

$K_{ij}$  = Kilometraje medio de un turismo con combustible  $i$  y antigüedad  $j$

$V_{ij}$  = Numero de turismos con combustible  $i$  y antigüedad  $j$

$n$  = tipos de combustible {gasolina, diésel, eléctrico}

$m$  = antigüedad {nuevo, 1, ..., más de 20}

$ET_x$  = Emisiones totales contaminante  $x$  { $CO_2$ ,  $NO_x$ }

$$ET_x = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m E_{xij} * K_{ij} * V_{ij}$$

Como se puede observar, para el cálculo de las emisiones de cada tecnología es necesario conocer con precisión tres variables para cada año:

- El número de vehículos que compone el parque según su antigüedad. No consume lo mismo ni contamina lo mismo un vehículo de 5 años que de 10 años. Además, no consume lo mismo ni contamina lo mismo un vehículo de 5 años en el 2016 que en el 2030.
  - Dentro de este apartado es muy importante conocer cómo van a evolucionar las matriculaciones futuras de turismos y el porcentaje de estos que van a ser eléctricos. Para esto último, se utilizará un modelo basado en una función sigmoide, como se explicará más adelante.
  - También es fundamental conocer el índice de bajas de los vehículos en función de su antigüedad para poder eliminar dichos vehículos del cálculo de contaminación y consumo.
- Los km/año recorridos en función de la antigüedad. Por ejemplo, los vehículos nuevos tienden a ser usados más que los antiguos. Estos datos no están disponibles en España por lo que ha sido necesario usar datos del Reino Unido como se explicará más adelante. También es necesario conocer la diferencia en kilometraje anual realizado entre las diferentes tecnologías, pues no se usa de la misma forma un turismo diésel de 5 años que un turismo gasolina de la misma antigüedad.



- Las emisiones por km en función de la antigüedad. Como se explica más adelante, para obtener datos fiables de ciertos contaminantes de los vehículos con motor térmico no se ha podido utilizar ni la normativa europea ni los datos ofrecidos por las marcas. Se ha tenido que utilizar datos procedentes de empresas privadas que realizan la medición de dichos contaminantes en ciclos reales de conducción, así como valores oficiales corregidos por la diferencia entre estos y la realidad.
  - Es igualmente importante la previsión o hipótesis que se haga del mix eléctrico español a futuro ya que las emisiones del vehículo eléctrico dependen precisamente de la composición y explotación del parque de generación eléctrica.

Entre los objetivos intermedios establecidos en este estudio para conseguir datos fiables y realistas para las tres variables del modelo se encuentran:

1. Estudio de la **normativa de emisiones** más relevante. Se realiza una breve descripción de la normativa europea a cerca de las emisiones, tanto de gases de efecto invernadero como de contaminantes tóxicos (los conocidos como EURO Standards). Así mismo, se estudian las transposiciones de la norma europea a la legislación española, en el caso de ser necesario. Adicionalmente se presenta, a modo ejemplo, el protocolo anticontaminación desarrollado en la ciudad de Madrid.
2. **Estudio de las tecnologías** más utilizadas en la actualidad en los turismos (gasolina y diésel) y del vehículo eléctrico, con el objetivo de determinar los residuos producidos en cada caso y determinación de cuáles hay que cuantificar. En el caso del vehículo eléctrico, es necesario estudiar tanto la tecnología propia de este tipo de vehículos (véase energía consumida por kilómetro recorrido), como las fuentes de generación de electricidad, que determinarán las emisiones generadas. Adicionalmente, se estudian los rendimientos de los procesos que tienen lugar entre la generación y la carga de baterías, pues determinarán la electricidad que debe producirse realmente.

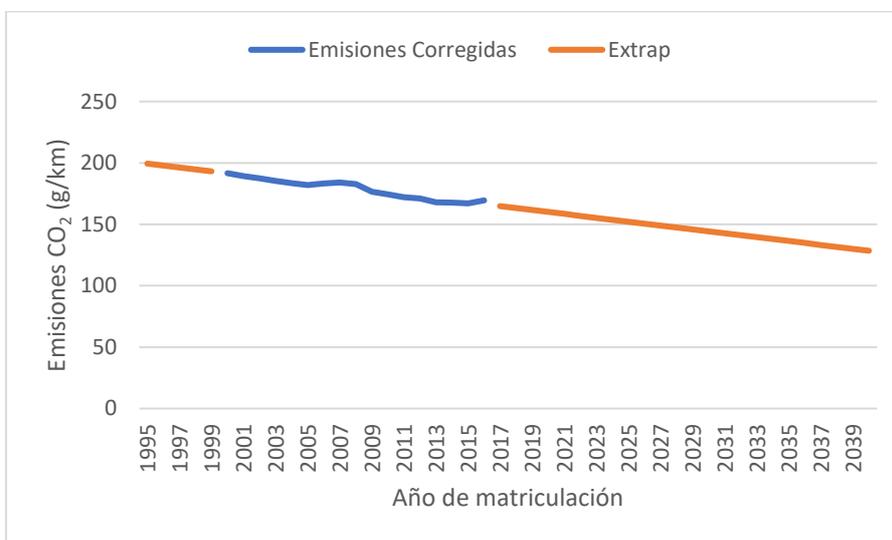
El objetivo de esta sección es determinar las emisiones reales por kilómetro de las diferentes tecnologías en la actualidad, así como una estimación de las posibles emisiones a medio plazo (hasta el año 2030). Es importante remarcar, tal y como se ha señalado con anterioridad, que dichos datos son fruto de una



amplia recopilación de fuentes, pues existe una gran divergencia entre los datos oficiales y los reales de cada contaminante, como el  $\text{NO}_x$  o el  $\text{CO}_2$ .

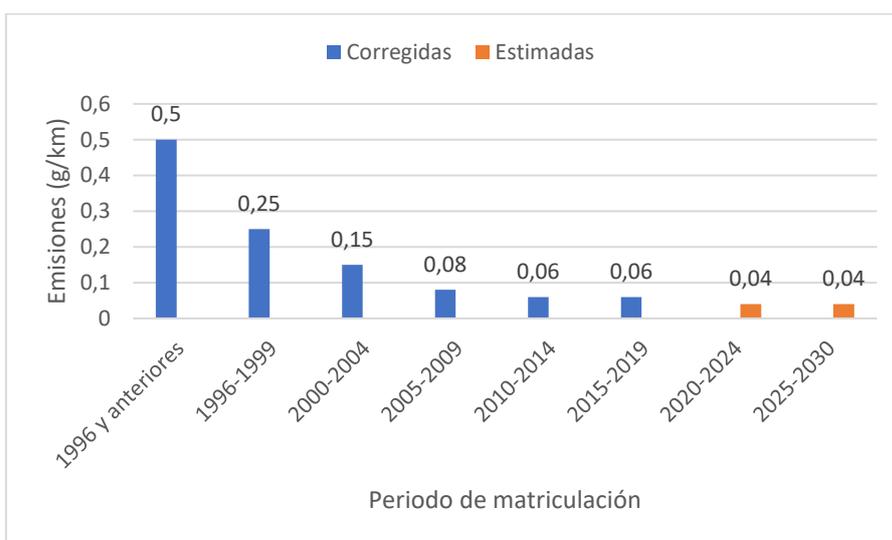
También conviene destacar que las emisiones producidas no solo dependen del tipo de combustible del vehículo, sino también de la antigüedad del mismo, pues una mayor antigüedad se traduce en una menor eficiencia. A continuación, se presentan, a modo resumen, algunos de los resultados alcanzados.

Gráfico 12. Evolución emisiones  $\text{CO}_2$  turismos gasolina.



Fuente: Elaboración propia.

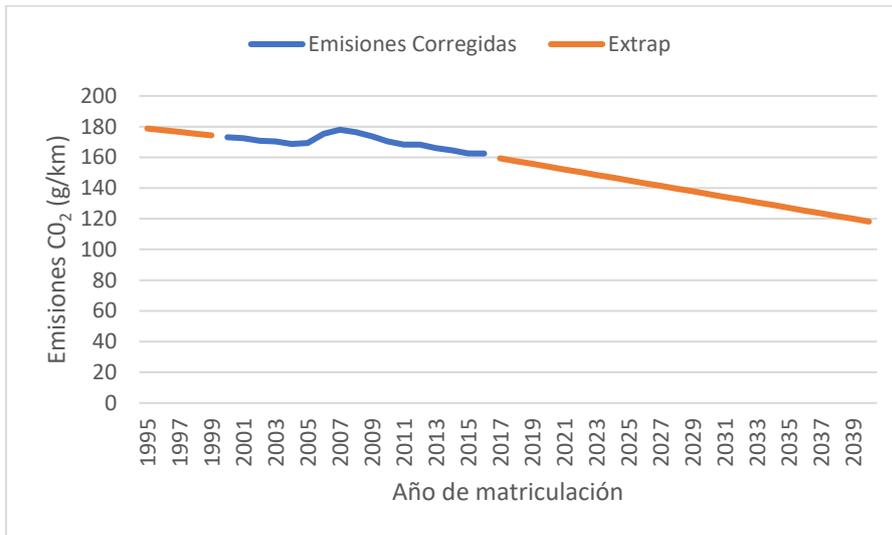
Gráfico 13. Emisiones de  $\text{NO}_x$  de los turismos gasolina.



Fuente: Elaboración propia.

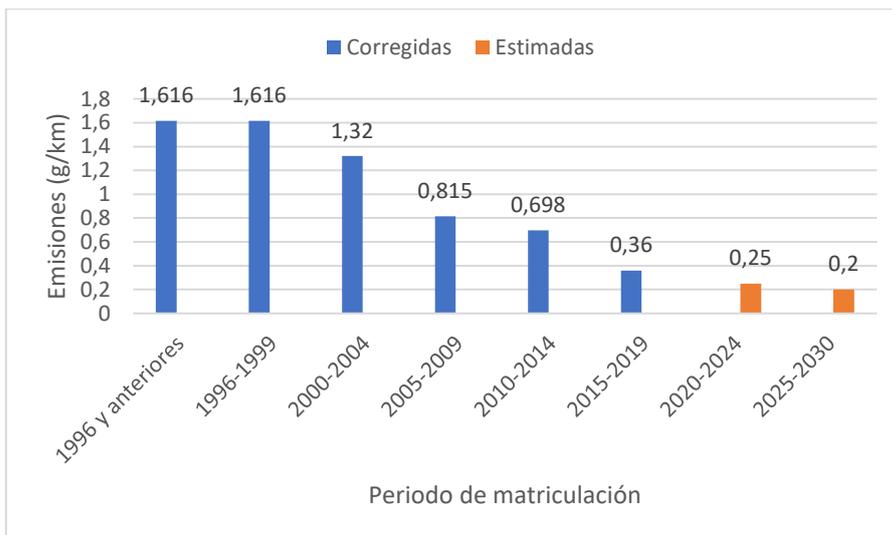


Gráfico 14. Evolución emisiones CO<sub>2</sub> turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia.

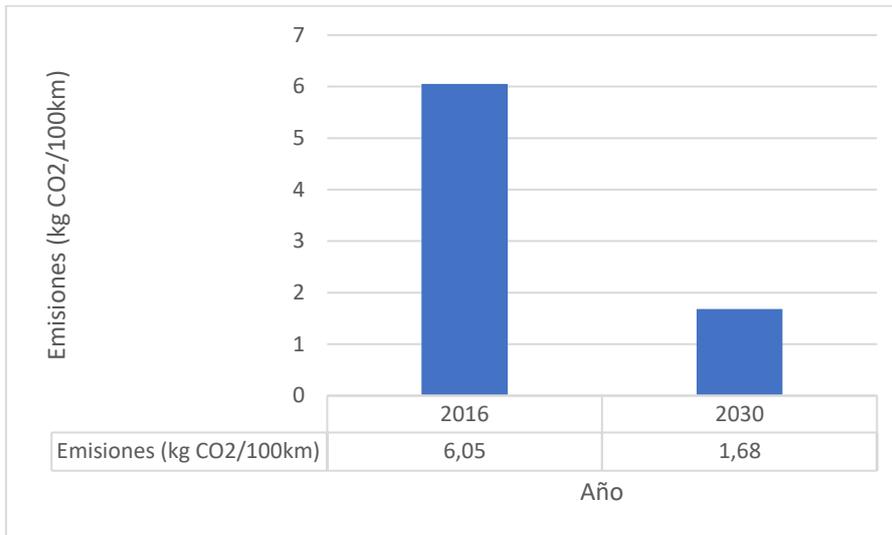
Gráfico 15. Emisiones de NO<sub>x</sub> corregidas de los turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia.



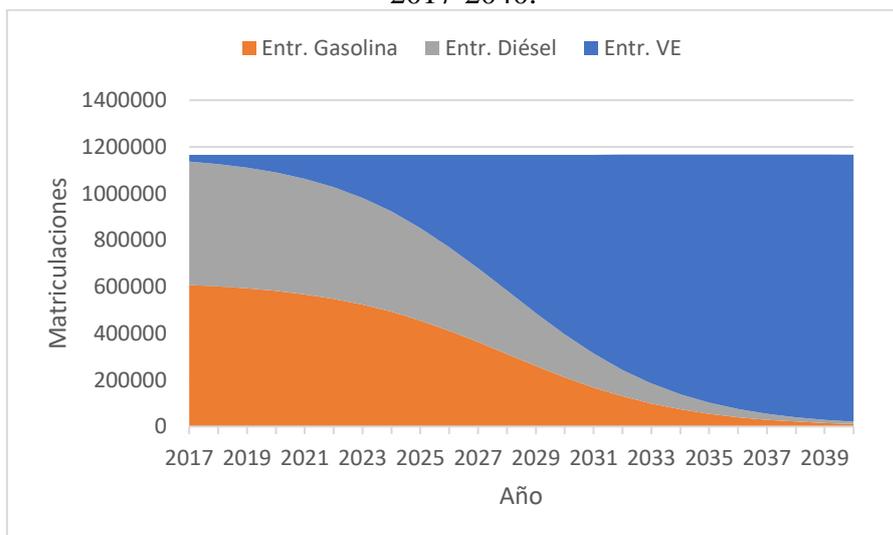
Gráfico 16. Evolución emisiones GEI vehículo eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

3. **Análisis del parque de turismos en España.** Esta sección está dedicada a un estudio pormenorizado del parque de turismos en España que permita alcanzar conclusiones sobre la posible evolución del mismo en el futuro. Así mismo, se exponen diferentes estudios externos con la intención de contrastar y complementar los resultados aquí alcanzados. Se ha decidido realizar la simulación de incorporación de vehículo eléctrico mediante una sigmoide ajustada a los escenarios más verosímiles de los expuestos en los mencionados estudios.

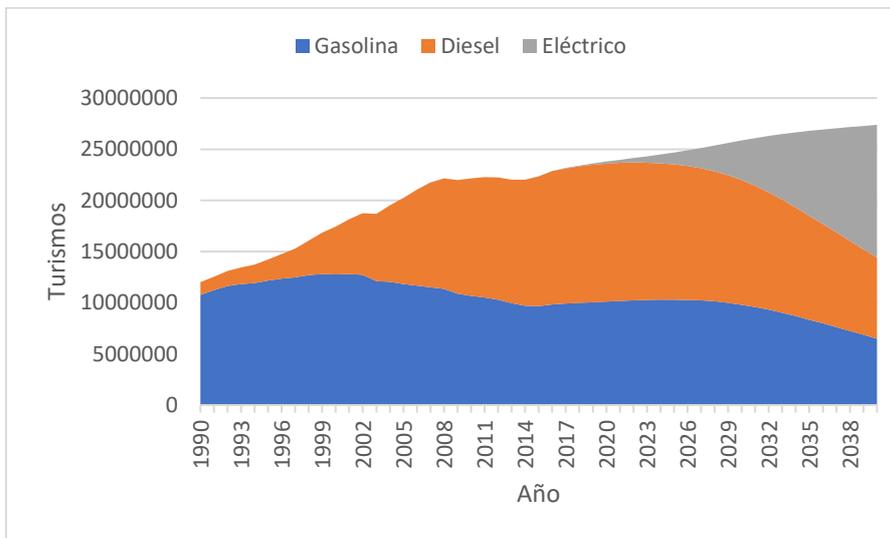
Ilustración 16. Matriculaciones escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.



Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 17. Parque de turismos. Escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.



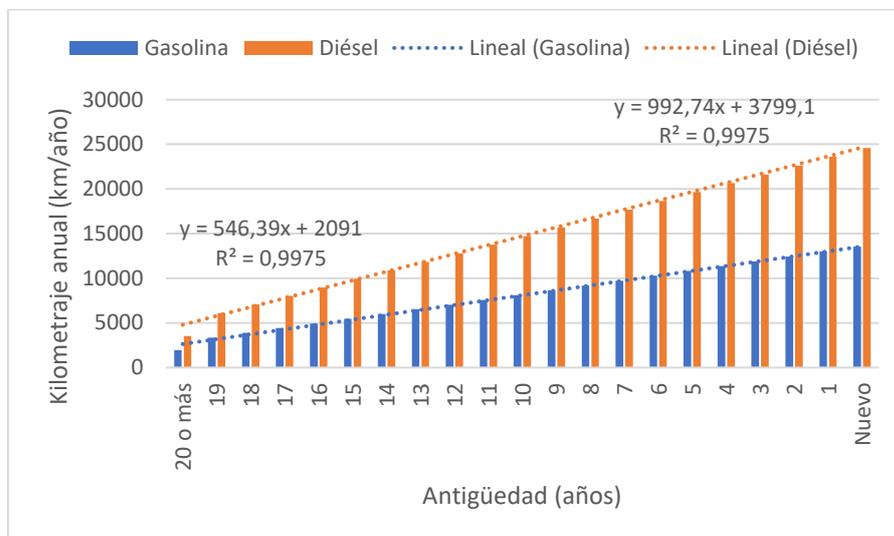
Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los objetivos de esta sección se encuentra también la determinación del kilometraje anual por vehículo en función del tipo de combustible y de la antigüedad del mismo.

Este es uno de los puntos de mayor relevancia dentro del estudio y de los que menos datos oficiales se dispone.

Tal y como se ha explicado anteriormente, en España no se publican anualmente los datos de kilometraje de los turismos del parque según la antigüedad de estos, motivo por el que se ha tenido que recurrir a los datos ofrecidos desde el Reino Unido. Sin embargo, tampoco el Reino Unido ofrece datos que diferencien según el combustible utilizado, de modo que en este estudio se han hecho estimaciones de carácter económico sobre las posibles diferencias.

Gráfico 17. Kilometraje medio anual por tipo de combustible y antigüedad.



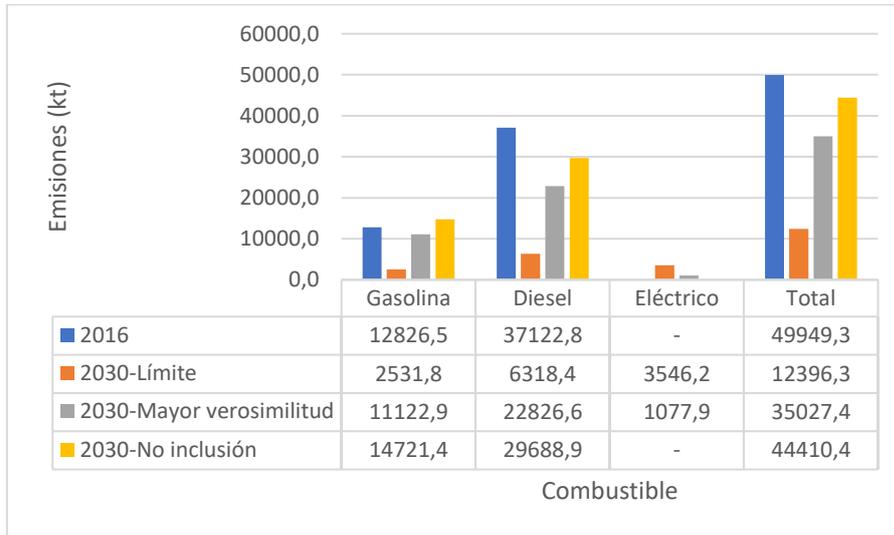
Fuente: Elaboración propia.

4. **Puesta en marcha del modelo** una vez se dispone de las variables necesarias. También se realiza una exposición de los informes emitidos desde el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) a través del Sistema Español de Inventario (SEI).

El objetivo de este capítulo es utilizar sendos informes para **ajustar el modelo expuesto** con anterioridad, presumiéndoles una elevada fiabilidad. De este modo se utilizarán como referencia, sirviendo de “patrón” con el que medir la precisión del modelo utilizado en este estudio. Una vez ajustado, se calcularán las emisiones en los diferentes escenarios previstos para el año 2030 cuyos resultados a modo de resumen se presentan a continuación.

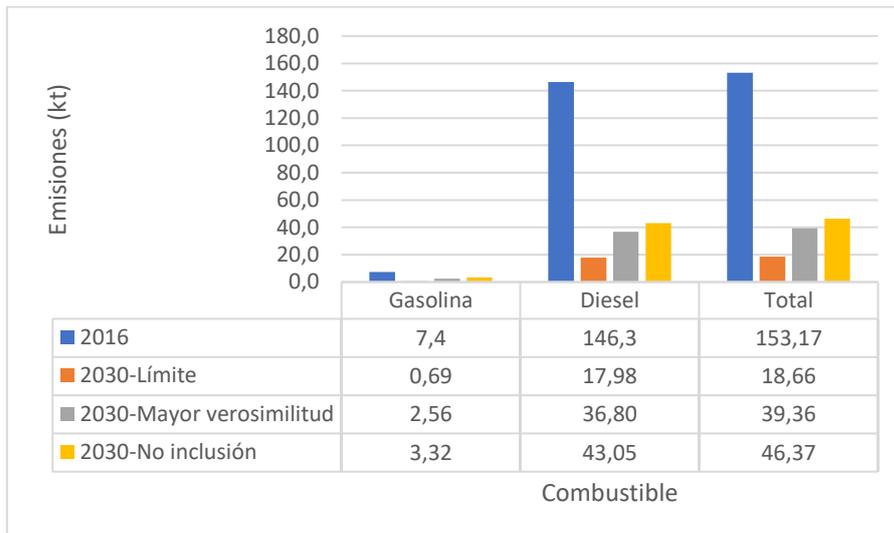


Gráfico 18. Emisiones de GEI en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19. Emisiones de NO<sub>x</sub> en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia.



## 2 Normativa de emisiones

Europa, y en particular España, presenta un problema en términos de contaminación y dependencia energética. Por este motivo existe una preocupación en el continente desde hace ya varias décadas por reducir las emisiones, normalmente asociadas al combustible utilizado.

El sector del transporte significa, según el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) [1], aproximadamente un tercio del CO<sub>2</sub> producido en España anualmente, siendo por tanto un sector de interés mayúsculo a la hora de buscar reducir la emisión de contaminantes y de gases de efecto invernadero (GEI). Esta preocupación se traduce en la creación de diferentes regulaciones que son de gran interés en este estudio. A nivel europeo se pueden diferenciar dos tipos de regulaciones:

- a) Reglamentos: Es un acto legislativo de alcance general. Al igual que la ley, establece una norma, impone una obligación o acuerdo de los derechos. Puede imponer todas las modalidades de aplicación y de ejecución que se consideren útiles o necesarias. Es directamente aplicable en todos los Estados miembros, convirtiendo en inaplicables todas las disposiciones nacionales que le sean contrarias y no teniendo que estar transpuesto a la normativa nacional.
- b) Directivas: No es de alcance general, obligando únicamente a aquellos destinatarios a los que va dirigida. Fija los objetivos a alcanzar, pero no los medios de conseguirlos. Los Estados tienen la obligación de transponer las directivas, pero pueden escoger la norma que consideren más adecuada para conseguir los objetivos marcados.

Es por este motivo que conviene analizar estas políticas primero a nivel supraestatal/europeo y posteriormente centrarnos en España como país de aplicación de esta legislación.

En primer lugar, resulta interesante analizar el conjunto de regulaciones para mejorar la calidad de aire aplicadas desde instancias europeas en los últimos 10 años. En la siguiente tabla se recogen las medidas adoptadas que afectan directamente al transporte. Posteriormente, se analizan individualmente las medidas de mayor interés para este estudio, haciendo hincapié en las relacionadas con la normativa “EURO Standards”, que fija los valores máximos de contaminantes tóxicos emitidos por cada tipo de vehículo. También se analizará la directiva acerca del desarrollo de combustibles alternativos (DAFI) y que pone de manifiesto la enorme preocupación sobre el problema de



dependencia energética, tanto por motivos económicos como de seguridad.

Tabla 1. Resumen de la principal legislación europea relevante relativa al transporte por carretera.

| Documento  | Año  | Objeto  |
|--|------|---|
| Reglamento CE 715/2007 sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6)   | 2007 | Establece los límites de emisión Euro 5 y Euro 6 para vehículos ligeros, así como las fechas para la entrada en vigor de los mismos.  |
| Directiva 2008/50/CE sobre la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia para Europa   | 2008 | Entre otros, definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.                     |
| Reglamento CE 692/2008 sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6)   | 2008 | Modifica los límites de emisión del Reglamento CE 715/2007.   |
| Reglamento CE 443/2009 por el que se establecen normas de comportamiento en emisiones de los vehículos nuevos para reducir las emisiones de CO <sub>2</sub> de los vehículos ligeros   | 2009 | Fija en 130 g de CO <sub>2</sub> /km el promedio de emisiones de CO <sub>2</sub> de los turismos nuevos, mediante el perfeccionamiento de la tecnología de los motores de los vehículos.                  |
| Reglamento CE 510/2011 por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los vehículos comerciales ligeros nuevos como parte del enfoque integrado de la Unión para reducir las emisiones de CO <sub>2</sub> de los vehículos ligeros | 2011 | Fija en 175 g de CO <sub>2</sub> /km el promedio de las emisiones de CO <sub>2</sub> de los vehículos comerciales ligeros nuevos (VANS), mediante el perfeccionamiento de la tecnología de los vehículos. |
| Reglamento CE 253/2014 por el que se modifica el Reglamento (UE) 510/2011 a fin de establecer las normas para alcanzar el objetivo de 2020 de reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> de los vehículos comerciales ligeros nuevos                          | 2014 | Fija en 147 g de CO <sub>2</sub> /km el promedio de emisiones de CO <sub>2</sub> de los vehículos comerciales ligeros nuevos (VANS).  |
| Reglamento CE 333/2014 que modifica el Reglamento (CE) 443/2009 a fin de definir las modalidades para alcanzar el objetivo de 2020 de reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> de los turismos nuevos   | 2014 | Fija un objetivo, aplicable a partir de 2020, de 95 g de CO <sub>2</sub> /km de emisiones medias para el parque de turismos nuevos.   |



|   |      |  |
|---|------|--|
| Directiva 2014/94/UE sobre la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos  | 2014 | Establece un marco común de medidas para la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos en la Unión a fin de minimizar la dependencia de los transportes del petróleo y mitigar el impacto medioambiental del transporte. |
| Reglamento 2016/427 por el que se modifica el Reglamento CE 692/2008 en lo que concierne a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 6) | 2016 | Establece la determinación de emisiones en condiciones reales de conducción  |

Fuente: Propia a partir de CE [2] y el documento “Energías alternativas para el transporte de pasajeros”, Instituto Vasco de Competitividad [3].

## 2.1 Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure o DAFI

Aprobada en el año 2014, la Directiva 2014/94/UE se propone impulsar el desarrollo de combustibles alternativos que disminuyan la dependencia del petróleo del conjunto de la UE. Tal y como se ha mencionado previamente, al ser una directiva requiere de una transposición a la normativa nacional. En el caso de España se ha traducido en el Marco de Acción Nacional (MAN), aprobado en Consejo de Ministros en el año 2016.

En base a estas premisas, la directiva determina que se deberá garantizar un número adecuado de puntos de recarga para vehículo eléctrico en el año 2020.

## 2.2 Normativa de emisiones de CO<sub>2</sub>

Las emisiones generadas por los vehículos con motores de combustión interna (ICE<sup>2</sup> en adelante) se dividen en CO<sub>2</sub>, por ser aquel dentro de los emitidos con potencial para incidir sobre el calentamiento global (los conocidos Gases de Efecto Invernadero GEI), y los contaminantes tóxicos para la salud. Cada uno de estos grupos se regulan mediante normativas separadas.

En este apartado, se analizará la evolución en la normativa diseñada a nivel europeo referente a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 2.2.1 Turismos.

En un primer momento, los límites de emisiones de CO<sub>2</sub> se alcanzaban a través de acuerdos entre la UE y la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA). En esta línea, se anunció en el año 1998 un acuerdo que buscaba limitar las emisiones medias de CO<sub>2</sub> de los nuevos turismos a 140g/km para el año 2008, lo que significaba reducir las

<sup>2</sup> ICE es el acrónimo de Internal Combustion Engine.



emisiones en un 25%. Este acuerdo formaba parte de la estrategia europea de reducción de las emisiones hasta los 120 g/km en el año 2012. Esta forma de proceder no funcionó correctamente y los legisladores modificaron el modo de atacar el problema, comenzando a utilizar Reglamentos como medio de conseguir los mencionados objetivos.

En el Reglamento CE 443/2009 se fija en 130 g de CO<sub>2</sub>/km el promedio de emisiones de los turismos nuevos de todos los fabricantes, mediante el perfeccionamiento de la tecnología de los motores de los vehículos y a alcanzar en el año 2015. El resultado de la medida fue mejor de lo esperado, consiguiendo que disminuyera desde los 160 g/km en el año 2006 hasta 132 g/km en el año 2012, llegando a la meta 3 años antes de lo previsto.

En vista del efecto de esta normativa, se formula el Reglamento CE 333/2014 que, modificando el Reglamento antes citado, establece un nuevo límite de 95 g/km para el año 2020.

Es importante destacar que el cumplimiento de los mencionados Reglamentos se mide mediante el modelo de conducción NEDC (New European Driving Cycle). Dicho test, diseñado en los años 80, se basa en una primera prueba de carga en circuito, en el que se obtienen la resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura y pérdidas mecánicas del coche, y una prueba posterior en laboratorio en la que se simulan diferentes condiciones de funcionamiento del vehículo con el objeto de calcular las emisiones producidas.

Este sistema de pruebas ha sufrido duras críticas debido a la incapacidad para simular condiciones reales de funcionamiento, lo que da como resultado unas emisiones medidas durante el test que, según el estudio “FROM LABORATORY TO ROAD: A 2015 update of official and “real-world” fuel consumption and CO<sub>2</sub> values for Passenger cars in Europe” del ICCT<sup>3</sup> [4], fueran en 2014 un 40% inferiores a las reales. Otro problema asociado a esta prueba es que, al realizarse en laboratorio bajo unas condiciones estipuladas, previamente conocidas y que no simulan la realidad de la conducción, fomenta la creación de instrumentos que alteren las emisiones de los vehículos bajo las condiciones de la prueba, de modo que se minimicen<sup>4</sup>. En esta línea se destapa en el año 2017 el escándalo conocido como “Dieselgate”, en el que varios fabricantes incluyeron en sus modelos un software que detectaba el momento en el que el vehículo estaba siendo sometido a

---

<sup>3</sup> ICCT es el acrónimo de International Council on Clean Transportation.

<sup>4</sup> Este tipo de instrumentos se denominan “Defeat Device”

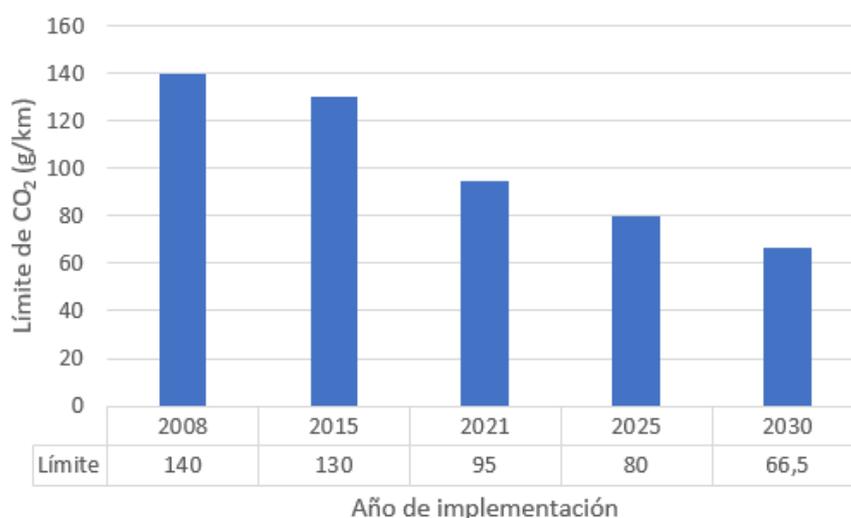


pruebas de emisiones oficiales y entonces cambiaba los controles del motor para minimizar las emisiones durante la prueba.

Como resultado, la Comisión Europea (CE) presentó una propuesta legislativa en la que se estableció el cambio del modelo de conducción en los test, surgiendo el Worldwide Harmonized Light Test Procedure (WLTP), que fue introducido en septiembre de dicho año.

Junto al anuncio del cambio en los métodos de evaluación de las emisiones, la CE propuso nuevos estándares para la emisión de CO<sub>2</sub> para los años siguientes a 2020. Las reducciones a los límites existentes, propuestas para los años 2025 y 2030, expresados en valores relativos, son de un 15 y un 30% respectivamente. Esto significaría un límite de 80 g/km en 2025 y de 66.5 g/km en 2030 en las condiciones del ciclo NEDC.

Gráfico 20. Evolución en el límite de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los turismos nuevos en la UE-28.



Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: El valor del año 2008 se alcanzó mediante un acuerdo y no era vinculante.

Nota 2: Los valores de los años 2025 y 2030 son una propuesta legislativa.

### 2.2.2 Vehículos comerciales ligeros

La normativa aplicada en el caso de los vehículos comerciales ligeros nuevos (furgonetas y camionetas) es similar, en cuanto a la forma, a la normativa aplicada a los turismos.

En el Reglamento CE 510/2011 se fija en 175 g de CO<sub>2</sub>/km el promedio de emisiones de los vehículos comerciales ligeros nuevos “mediante el perfeccionamiento de la tecnología de los vehículos” y a alcanzar en el año 2017. Al igual que en el caso de los turismos, la medida fue un

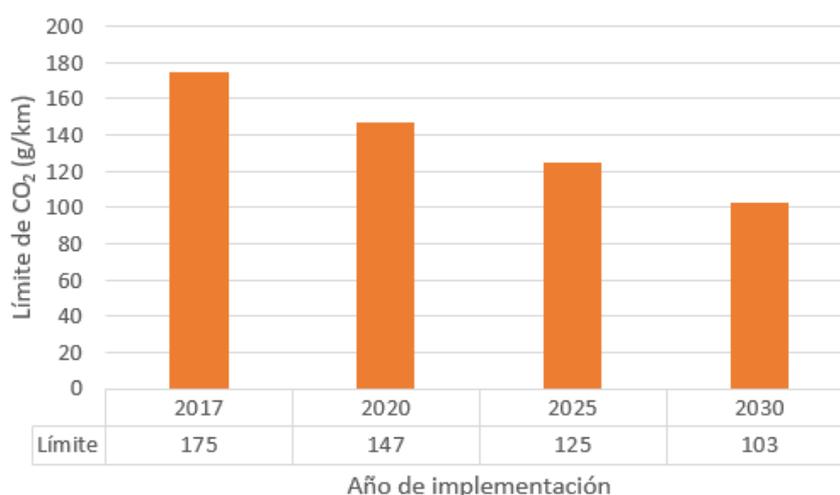


éxito, alcanzando una media de emisiones de 163.7 g de CO<sub>2</sub>/km en el año 2017.

Es por este motivo que se formula el Reglamento CE 253/2014, por el que se modifica el Reglamento anterior y se establece un nuevo límite de 147 g de CO<sub>2</sub>/km para el año 2020, lo que supone una reducción de un 19% respecto a las emisiones medias del año 2012.

Tal y como se mencionó en el apartado de turismos, en noviembre de 2017 la CE anunció una propuesta legislativa con la que se busca reducir las emisiones tanto de turismos como de vehículos comerciales ligeros en un 15% para el año 2025 y en un 30% para el año 2030. De este modo, las emisiones máximas de CO<sub>2</sub> quedarían limitadas en 125 g de CO<sub>2</sub>/km en 2025 y en 103 g de CO<sub>2</sub>/km en 2030.

Gráfico 21. Evolución de las emisiones máximas de CO<sub>2</sub> de los vehículos comerciales ligeros en la UE-28



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores de los años 2025 y 2030 son una propuesta legislativa.

### 2.2.3 Vehículos pesados

De la cantidad total de GEI producidos por el transporte por carretera, los camiones, autobuses y autocares son responsables de la cuarta parte<sup>5</sup>. Es por este motivo que no pueden ser obviados, y su regulación tiene una gran importancia. Desde principios de los noventa, ciertas emisiones de contaminantes tóxicos se controlan mediante normativas que se han ido endureciendo paulatinamente (“EURO Standards” que

<sup>5</sup> Según datos facilitados por la CE.



veremos en el siguiente apartado), pero esto no se realiza con el CO<sub>2</sub> debido a la falta de conocimientos o herramientas de control fiables.

Mientras que los coches se producen en masa y con unas características similares, los vehículos pesados se adaptan a las necesidades y requerimientos de los transportistas, de modo que cada vehículo es diferente, dificultando la medición de las emisiones.

Con el objetivo de superar estas dificultades se ha desarrollado una herramienta de simulación llamada Vehicle Energy Consumption Calculation Tool (VECTO), que cuenta con el apoyo de los fabricantes y que está diseñada para calcular las emisiones en función de las especificaciones de los vehículos. La principal ventaja de esta herramienta reside en que consigue sortear las costosas pruebas en carretera y a las que todos los fabricantes se oponían.

En palabras de la CE: “Seguimiento, notificación y verificación son las prioridades a corto plazo para cerrar las lagunas de conocimientos y crear una referencia fiable. A medio plazo, la Comisión evaluará medidas adicionales; por ejemplo, la definición de límites de CO<sub>2</sub> obligatorios para los vehículos pesados nuevos o la introducción de mecanismos de mercado.”

El 20 de noviembre de 2017 se abrió una consulta que ofrece a los ciudadanos la oportunidad de expresar sus puntos de vista sobre las posibles medidas de la UE para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. La Comisión lleva a cabo esta consulta para estar debidamente informada por la opinión pública con motivo de la preparación de un posible futuro acto legislativo en el ámbito de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos pesados.

En resumen, hoy en día no existe una regulación sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos pesados, pero las autoridades están trabajando en ello y se espera tenerla en el corto plazo.

## 2.3 EURO Standards

Al igual que se regulan las emisiones de CO<sub>2</sub>, existe desde 1992 una legislación destinada a limitar las emisiones de contaminantes tóxicos para automóviles de pasajeros, vehículos comerciales ligeros y vehículos de uso pesado. Son las conocidas como Euro 1, 2, 3, 4, 5 y 6 para vehículos comerciales ligeros y turismos y Euro I, II, III, IV, V y VI para vehículos pesados. Cada avance en la norma, llevado a cabo, por lo general, cada 4 años, ha supuesto una reducción en los límites para la emisión de los contaminantes regulados: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Partículas



(PM<sup>6</sup>). Destacar que hasta el año 2000, HC y NO<sub>x</sub> se establecían en un valor común para a partir de ese año evaluarse de forma separada.

Dentro de cada regulación, los contaminantes específicos a reducir, el método de evaluación y los límites para el cumplimiento varían para las diferentes clases de vehículos y combustibles utilizados, diferenciando turismos y vehículos ligeros diésel y gasolina de los vehículos pesados. Asimismo, dentro de los vehículos de mercancías ligeros se realiza una distinción en función de su masa. De esta manera, dentro de esta categoría, formalmente conocida como N1, que se caracteriza por dedicarse al transporte de bienes y por tener un Peso Bruto Vehicular (PBV) inferior a 3,5 toneladas, se encuentran las subcategorías N1-I, N1-II y N1-III.

Tabla 2. Subcategorías Vehículos Comerciales Ligeros

| Clase | Euro 1-2                | Euro 3 y posteriores    |
|-------|-------------------------|-------------------------|
| I     | PBV ≤ 1250 kg           | PBV ≤ 1305 kg           |
| II    | 1250 kg < PBV ≤ 1700 kg | 1305 kg < PBV ≤ 1760 kg |
| III   | 1700 kg < PVB           | 1760 kg < PVB           |

Fuente: Elaboración propia a partir de CE.

Por su parte, la regulación de emisiones de vehículos pesados de motor diésel, aquellos dedicados al transporte de mercancías que exceden los 3500 kg de PBV, si bien evalúa los mismos contaminantes que para el resto de vehículos diésel, los procedimientos de prueba que se utilizan y la forma de medirlos son diferentes, por lo que no son comparables.

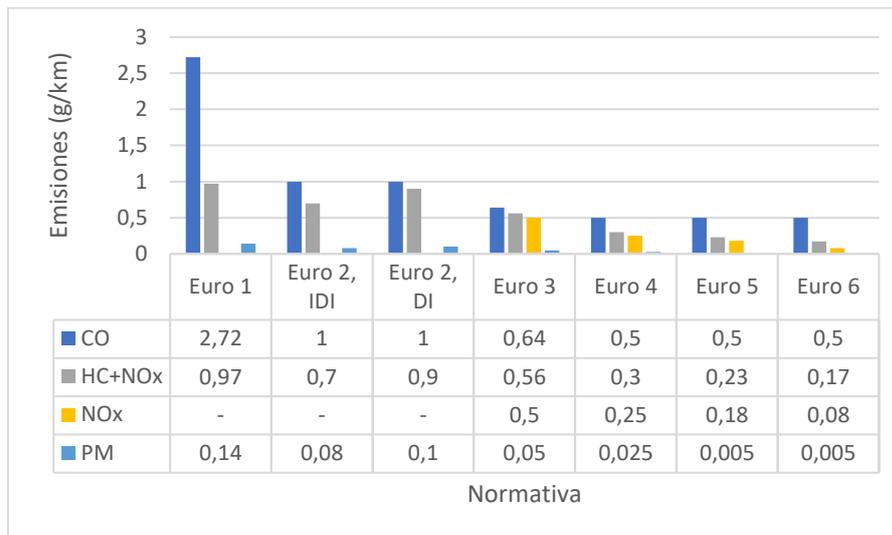
A modo ilustrativo, mientras que para los vehículos comerciales ligeros y los turismos los límites de emisiones son expresados en g/km, en el caso de los vehículos pesados están expresados en g/kWh de energía producida por el motor.

---

<sup>6</sup> PM es el acrónimo inglés de Particulate Matter.

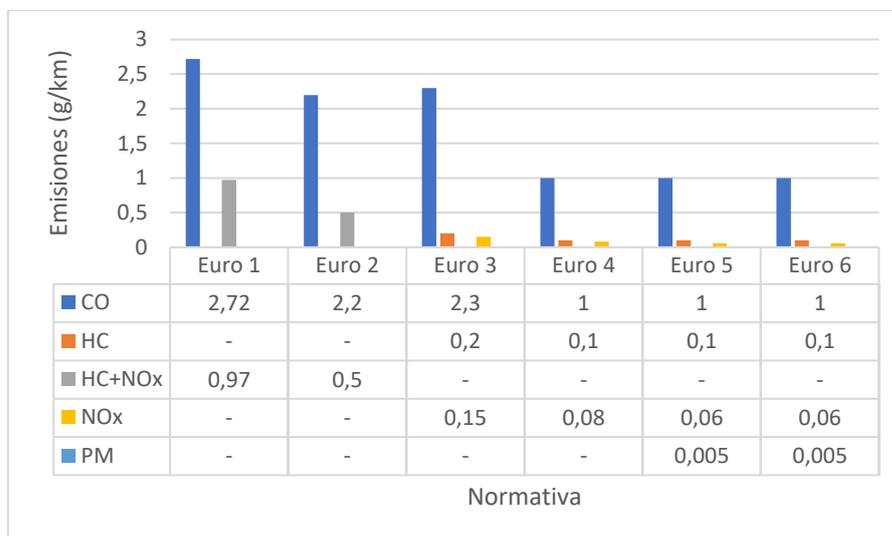


Gráfico 22. Euro Standards para turismos diésel.



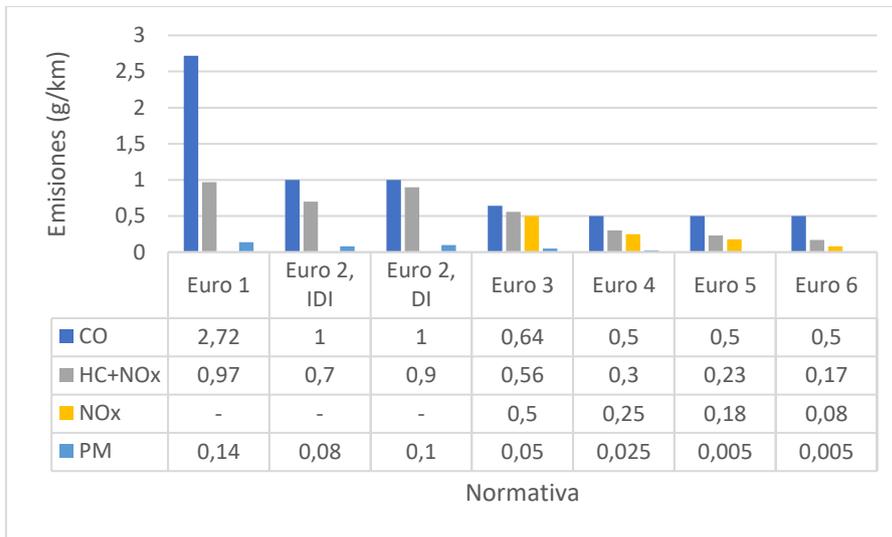
Fuente: Elaboración propia a partir de Dieselnat [5].

Gráfico 23. Euro Standards para turismos gasolina.



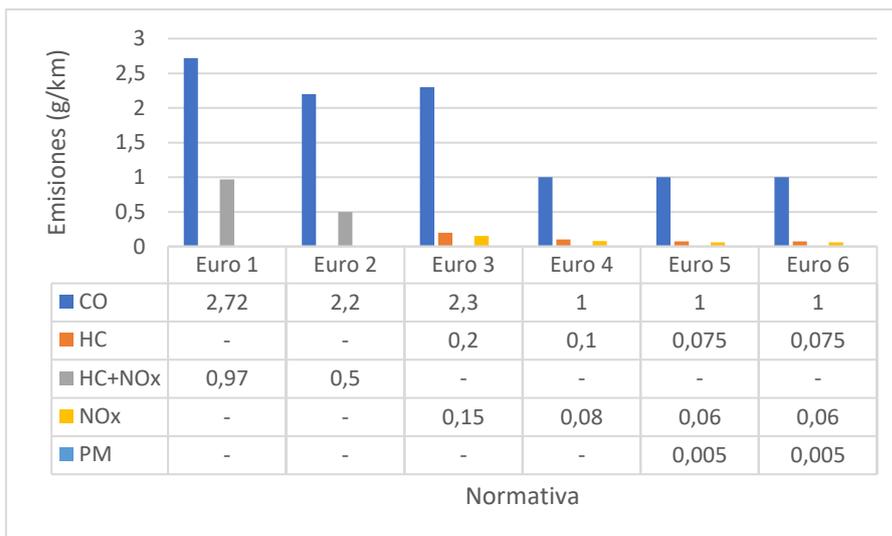
Fuente: Elaboración propia a partir de Dieselnat.

Gráfico 24. Euro Standards para vehículos N1-I diésel.



Fuente: Elaboración propia a partir de Dieseln.net.

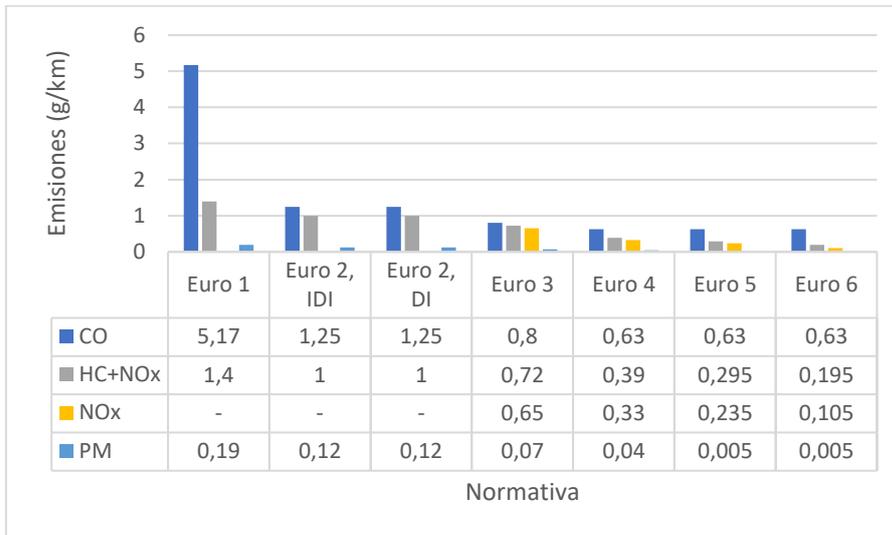
Gráfico 25. Euro Standards para vehículos N1-I gasolina.



Fuente: Elaboración propia a partir de Dieseln.net.

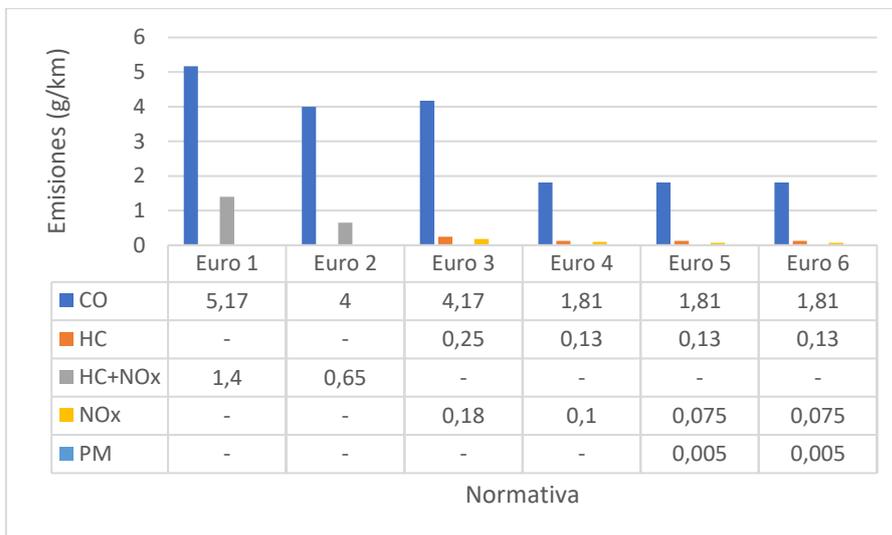


Gráfico 26. Euro Standards para vehículos N1-II diésel.



Fuente: Elaboración propia a partir de Dieselnat.

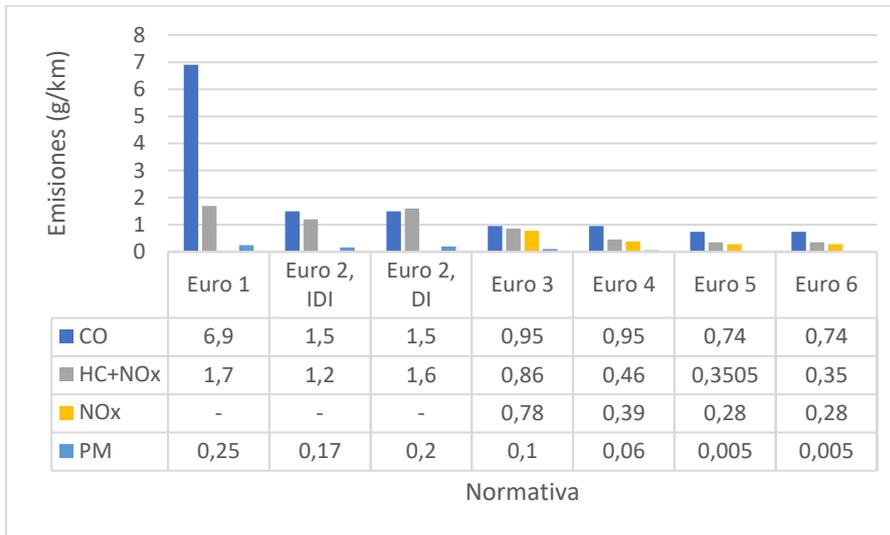
Gráfico 27. Euro Standards para vehículos N1-II gasolina.



Fuente: Elaboración propia a partir de Dieselnat.

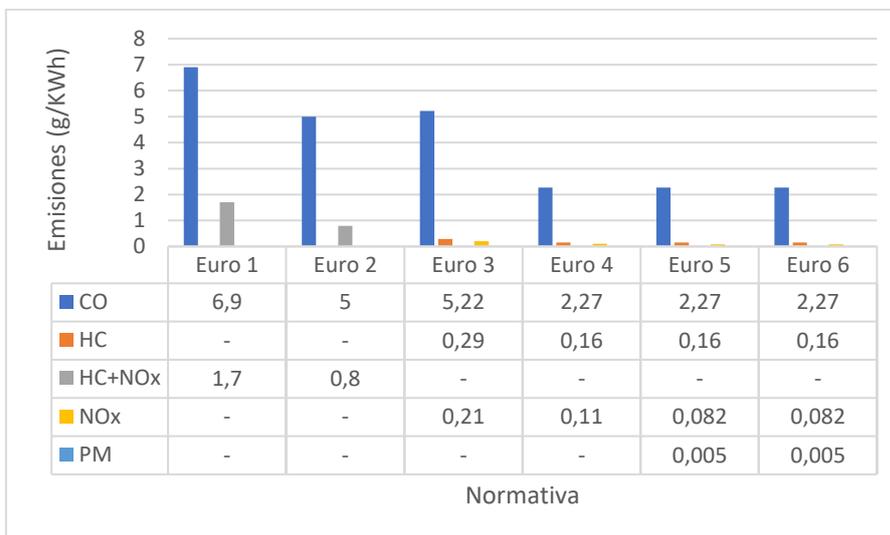


Gráfico 28. Euro Standards para vehículos N1-III diésel.



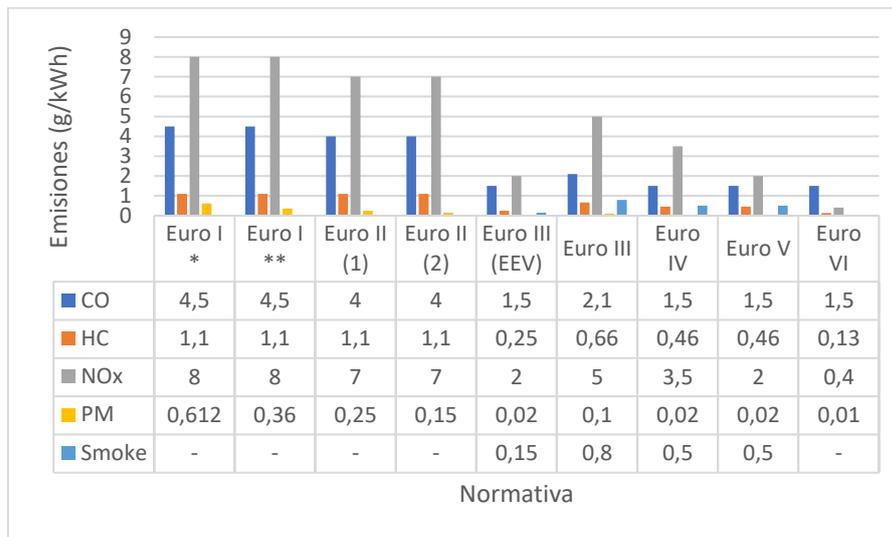
Fuente: Elaboración propia a partir de Dieseln.net.

Gráfico 29. Euro Standards para vehículos N1-III gasolina.



Fuente: Elaboración propia a partir de Dieseln.net.

Gráfico 30. Euro Standards para vehículos pesados (ESC).



Fuente: Elaboración propia a partir de Dieselnets y Lubrizol[6].

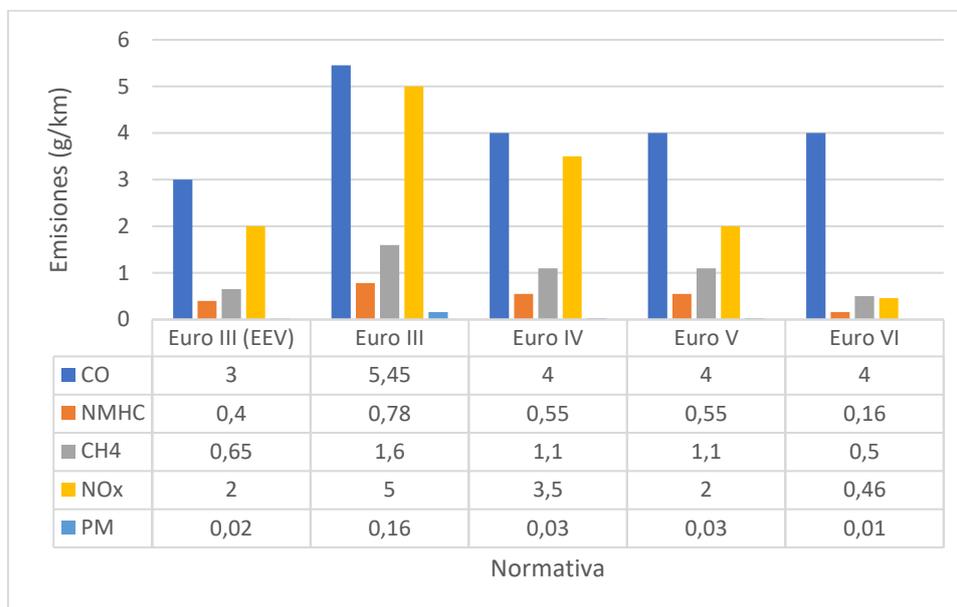
Nota 1: \* en Euro I hace referencia a que se aplicó en un primer momento, hasta octubre de 1998, momento en el que queda derogada por \*\*.

Nota 2: En Euro III hubo una regulación especial para EEV<sup>7</sup>.

Nota 3: El humo se mide en 1/m.

Nota 4: Las partículas PM (Particulate Matter) se mide en unidades/km.

Gráfico 31. Euro Standards para vehículos pesados (ETC).



Fuente: Elaboración propia a partir de Dieselnets.

Nota 1: En Euro III hubo una regulación especial para EEV.

Nota 2: Las partículas PM (Particulate Matter) se mide en unidades/km.

<sup>7</sup> El acrónimo EEV hace referencia a Vehículo ecológico avanzado (Enhanced Environmentally friendly Vehicle en inglés).



## 2.4 Protocolo para episodios de alta contaminación en la ciudad de Madrid

Adicionalmente a la normativa europea más importante, se presenta brevemente el protocolo para episodios de alta contaminación desarrollado por el ayuntamiento de Madrid y que está en vigor desde febrero de 2016. Es de gran interés para este estudio, pues expone la gran importancia de las emisiones de  $\text{NO}_x$  respecto al resto de contaminantes.

Según el sitio web del ayuntamiento de Madrid [7], el protocolo está “centrado en evitar que los niveles de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) superen límites tóxicos para la salud”.

La activación del protocolo depende de dos factores: los niveles de  $\text{NO}_2$  en el aire y las previsiones meteorológicas. En primer lugar, se miden los niveles del contaminante y, si se superan los límites establecidos, se mira la previsión de la Agencia Española de Meteorología. En caso de que las condiciones previstas por la agencia no sean las favorables para reducir estos niveles se activa el protocolo, que se compone de 4 escenarios diferentes en función del nivel de acumulación de  $\text{NO}_2$ . Dichos niveles de  $\text{NO}_2$  son:

- Preaviso: cuando en dos estaciones cualesquiera de una misma zona se superan los 180 microgramos/ $\text{m}^3$  durante dos horas consecutivas.
- Aviso: cuando en dos estaciones cualesquiera de una misma zona se superan los 200 microgramos/ $\text{m}^3$  durante dos horas consecutivas.
- Alerta: cuando en tres estaciones cualesquiera de una misma zona (o dos si se trata de la zona 4) se superan los 400 microgramos/ $\text{m}^3$  durante tres horas consecutivas.

Entre las medidas contempladas por el protocolo se encuentran desde la reducción de la velocidad a 70 km/h en la M30 y accesos hasta la restricción de la circulación de taxis libres, excepto Ecotaxis y Eurotaxi, en el interior de la almendra central (área interior de la M30).



### 3 Medios de transporte

Los productos petrolíferos han dominado y dominan en el sector del transporte. El motivo de su hegemonía reside en las ventajas que aportan en autonomía y al precio de adquisición de los mismos respecto a los de los combustibles alternativos, cuyo desarrollo ha comenzado hace relativamente poco y aún son, por lo general, tecnologías poco maduras.

Dentro los combustibles derivados del petróleo, es el gasóleo el combustible más utilizado como consecuencia del menor gasto de combustible generado en este tipo de vehículos y su consiguiente ahorro económico.

Sin embargo, a pesar de continuar dominando el mercado, nuevas tecnologías están comenzado a desarrollarse y con esto las preguntas sobre sus beneficios y el punto temporal en el que se vuelvan realmente competitivas.

En este capítulo se realizará un estudio pormenorizado sobre los vehículos con motores de combustión interna (ICE) convencionales, diésel y gasolina, y del vehículo eléctrico (VE) con la intención de resolver estas dudas.

Llegados a este punto, es de interés el recalcar la existencia de combustibles alternativos, tales como el vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV<sup>8</sup>), el de gas natural comprimido (GNC) o el de gases licuados del petróleo (GLP). Sin embargo, estas tecnologías quedarán fuera del alcance de este estudio.

#### 3.1 El Vehículo Eléctrico (EV)

Se entiende por vehículo eléctrico (EV<sup>9</sup>) no únicamente a los vehículos eléctricos de batería (BEV<sup>10</sup>), sino también a los vehículos híbridos enchufables (PHEV). La principal diferencia entre ambos tipos reside en que, mientras que el primer tipo utiliza únicamente la energía eléctrica obtenida a través de la red y almacenada en una batería, los PHEV compaginan la propulsión proporcionada por la electricidad con la aportada desde un motor de combustión interna.

Este estudio se centrará en los vehículos eléctricos de batería (BEV), puesto que son los únicos que no presentan emisiones locales (aquellas

---

<sup>8</sup> PHEV es el acrónimo de Plug-in Hybrid Electric Vehicle.

<sup>9</sup> EV es el acrónimo de Electric Vehicle.

<sup>10</sup> BEV es el acrónimo de Battery Electric Vehicle.



asociadas a su estricto funcionamiento en el lugar dónde se está desarrollando el trabajo).

Para el estudio de este medio de transporte es importante centrarse tanto en la eficiencia de los propios vehículos como en el medio de obtención de energía eléctrica que estos van a consumir, el sistema de generación eléctrico.

### **3.1.1 El Sistema Eléctrico en España**

#### **3.1.1.1 Situación actual**

La demanda nacional de energía eléctrica ascendió en el año 2016, según datos proporcionados por REE [8], a 265 TWh, lo que significó un incremento del 0,7% respecto a la demanda de 2015.

Con relación a los picos de demanda, es reseñable que por primera vez la punta de máxima potencia instantánea en el sistema peninsular se registró en el periodo de verano, registrándose una punta de 40,48 GW. Cabe destacar que dicho pico queda alejado del máximo histórico, registrado en diciembre de 2007, con un valor de 45,45 GW.

Respecto a la cobertura de la demanda, el 97,0% de la demanda peninsular se cubrió con producción interna y el 3,0% restante con energía importada de otros países. Es importante remarcar que esta situación de importación neta de generación eléctrica no es habitual en el sistema eléctrico español, pues no se producía desde el año 2003.

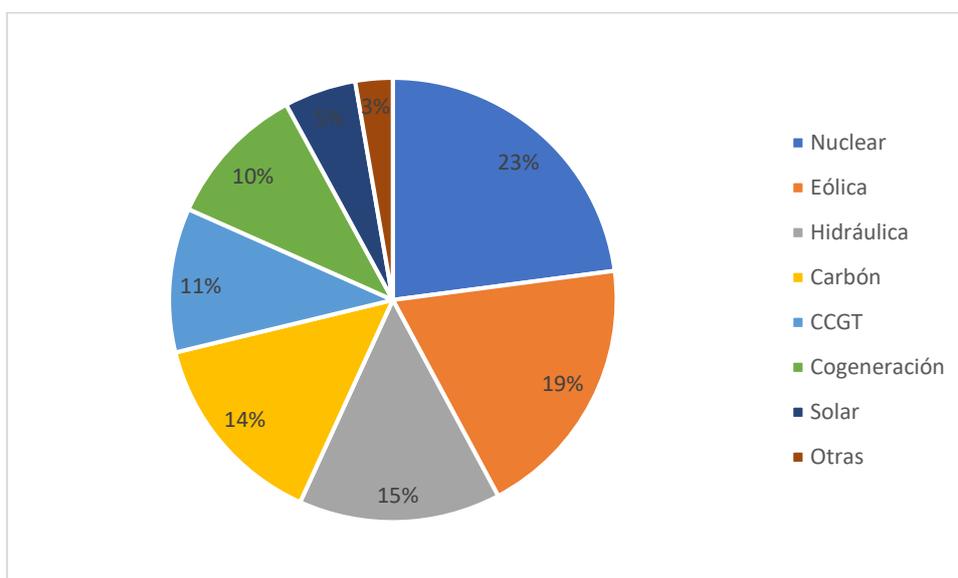
La capacidad instalada del parque generador se situó en el año 2016 en 105,3 GW, descendiendo, tras una larga senda de crecimiento, en un 0'8% respecto a la capacidad del año anterior como consecuencia del cierre de cinco instalaciones de carbón que sumaban conjuntamente 932,2 MW. Estos cierres son parte de un proceso de descarbonización que persigue cumplir con los objetivos de política energética dados desde la UE, expuestos en el capítulo de “Normativa de Emisiones”. Sin embargo, no se puede asegurar que el futuro del carbón sea irrelevante, al menos en el corto plazo. Según el Ministro de Energía, Turismo y Agenda Digital en declaraciones recogidas en noviembre de 2017 [9]: “El Gobierno cree que necesitamos mantener el carbón dentro de nuestro *mix* de generación”

En cuanto a la generación eléctrica, las energías renovables ampliaron su cuota en el conjunto de la generación, superando por primera vez el 40% de producción, con un incremento del 3,9% (de un 36,9% en 2015 a un 40,8% en 2016). Este aumento en la producción renovable fue

absorbido por el señalado descenso en la producción con carbón, que se redujo en un 30,9% respecto al año anterior.

Por tecnologías, la producción de electricidad peninsular de 2016 se generó en primer lugar con nuclear con un 22,9% (21,8% en 2015), seguida de la eólica con el 19,3% (19,0% en 2015) y de la hidráulica con un 14,6% (11,2% en 2015). El carbón descendió hasta el 14,4% (20,3% en 2015), mientras que el restante 28,8% de la generación se repartió entre los ciclos combinados (10,5%), cogeneración (10,4%), solar (5,2%) y otras (residuos y otras renovables 2,7%), valores similares a los del año anterior.

Gráfico 32. Producción de electricidad en España, 2016.



Fuente: Propia a partir de REE.

Es de interés en este estudio el conocer el precio de la electricidad. Según REE, durante el año 2016 el precio medio final de la energía en el mercado eléctrico mayorista se situó en 48,4 €/MWh, un 23,0% por debajo del precio del año precedente y el más bajo desde el año 2010, propiciado por la gran producción hidráulica.

El precio pagado por el pequeño consumidor<sup>11</sup> ha sido inferior al del año anterior en un 15,0%. El precio más alto se registró en diciembre, 130,23 €/MWh, mientras que el más bajo se produjo en abril, 86,84 €/MWh. En este estudio, con el objetivo de hacer cálculos conservadores, se tomará el mayor precio de mercado 0,13 €/kWh.

En el caso de la generación de energía eléctrica, el interés en términos de contaminación está en conocer las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>

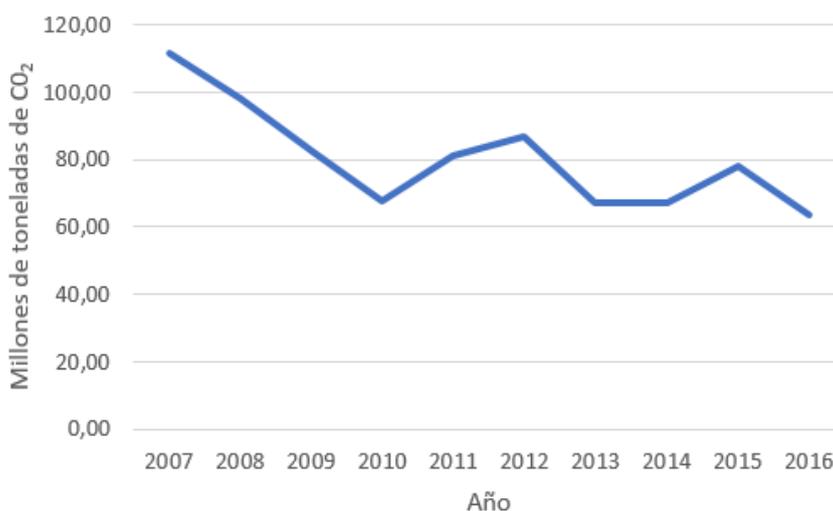
<sup>11</sup> Las empresas trabajan en un régimen de precios especial.



asociadas (en término agregado en vez de disgregado en contaminantes, tal y como se tratará en el caso de los vehículos con motores de combustión interna (ICE)), ya que al estar alejados de núcleos urbanos el impacto sobre la salud queda muy diluido, siendo el principal problema el impacto sobre el medio ambiente global.

En este sentido, las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente derivadas de la generación eléctrica en España se situaron en 2016 en la cifra más baja de los últimos diez años, debido principalmente al notable descenso en la generación con carbón previamente mencionado. Concretamente, el nivel de emisiones se situó en 63,5 millones de toneladas, valor un 18,3% inferior al registro de 2015 y un 43,1% menor que el de 2007. Estas emisiones representan, según el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) [1], el 20% del total de las emisiones de GEI que se produjeron en España en el año 2016.

Gráfico 33. Evolución emisiones en CO<sub>2</sub> equivalente asociadas a la generación de energía eléctrica en España.



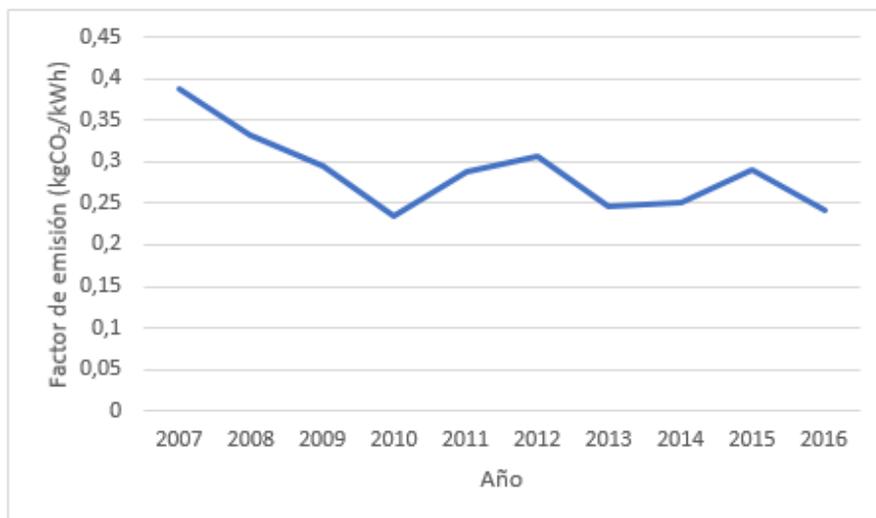
Fuente: Propia a partir de REE

Juntando los datos de producción de electricidad y los de emisiones asociadas a la producción de dicha electricidad podemos obtener los datos de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción de 1 kWh, conocido como factor de emisión<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> El factor de emisión suele medirse en tCO<sub>2</sub>/MWh, pero al ser equivalente a kgCO<sub>2</sub>/kWh se usará esta segunda unidad por servir mejor a los fines del estudio.



Gráfico 34.Evolución del factor de emisión.



Fuente: Propia a partir de REE.

El factor de emisión para el año 2016 fue de 0,242 kgCO<sub>2</sub>/kWh. Como se puede observar, al mantenerse prácticamente constante la demanda (y por tanto generación) de energía eléctrica en los últimos años, la evolución del factor de emisión sigue una tendencia muy similar a la que sigue el montante total de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la generación.

Se aprecia un claro descenso en las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta el año 2010 debido a la instalación de fuentes de energía renovable (RES<sup>13</sup>), seguido por un estancamiento, aunque se puedan producir oscilaciones en función de la entrada de renovables en dicho año.

Por último, es destacable señalar que, según el informe “Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050” elaborado por Monitor Deloitte [10], el rendimiento del *mix* de generación actual se sitúa en el 68%.

### 3.1.1.2 Previsiones a futuro

Con el objetivo de obtener una visión lo más amplia y fiable sobre el rumbo del sector, en este estudio se analizarán 2 de los informes de mayor relevancia en la actualidad: El realizado por la Comisión de Expertos de Transición Energética [11], a petición directa del Gobierno de España, y el elaborado desde Monitor Deloitte [12].

La evolución a futuro de la demanda de energía final, que condicionará la evolución y desarrollo del sector de generación de energía eléctrica,

<sup>13</sup> RES es el acrónimo de Renewable Energy Source.



está sujeta, según “Monitor Deloitte”, al desarrollo de una serie de tendencias, que pueden agruparse en torno a 5 dimensiones: sociales, tecnológicas, económicas, medioambientales y políticas. De este modo, se puede asegurar que el futuro resulta ampliamente incierto.

En base a este criterio, el informe distingue cuatro posibles escenarios en función del nivel de electrificación y de la eficiencia energética: continuista, reducción convencional, electrificar la economía y alta eficiencia eléctrica.

Debido a que este estudio se centra en la introducción del vehículo eléctrico, con la intención de evaluar el impacto de su penetración tanto a nivel medioambiental como económico, y a que los escenarios continuista y reducción convencional no valoran esta posibilidad, dichos escenarios quedan automáticamente descartados.

Por su parte, el Comité de Expertos presenta diferentes escenarios en función de los niveles de electrificación y eficiencia, junto a distintos niveles de interconexión y costes.

Los escenarios planteados por la Comisión se centran en lo establecido en el “Ten Year Network Development Plan” elaborado por ENTSOE<sup>14</sup> [13]: el escenario Generación Distribuida (DG) y el escenario Transición Sostenible (ST).

Tanto Monitor Deloitte como el Comité de Expertos utilizan como años clave 2030 y 2050, coincidiendo con los años marcados por la CE para lograr diferentes hitos en la reducción de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, eficiencia energética y de penetración de energía renovable en el consumo final.

---

<sup>14</sup> ENTSOE es el acrónimo de European Network of Transmission System Operators for Electricity y es la asociación europea de los gestores de transporte de electricidad.



Tabla 3. Objetivos medioambientales de la Unión Europea respecto a los valores del año 2005.

| Objetivo                                   | Año 2030        | Año 2050          |
|--|-----------------|-------------------|
| Emisiones GEI                              | -26% (1) (2)    | Entre -80% y -95% |
| Penetración renovables sobre energía final | Entre 27% y 35% | No aplica         |
| Eficiencia energética                      | Entre 27% y 40% | No aplica         |

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión Europea.

Nota 1: El porcentaje hace referencia a los sectores no englobados en el European Trading Scheme (ETS): transporte excepto aviación, edificación, residuos y agricultura.

Nota 2: Este objetivo es especial para España. El objetivo total de la UE es la reducción en un 30% de las emisiones de los sectores no ETS y en un 43% de los sectores ETS.

Monitor Deloitte concluye que todas las tecnologías de generación convencional instaladas son necesarias para hacer frente a las incertidumbres y asegurar una transición eficiente. Adicionalmente, a pesar de la incertidumbre en torno al carbón, Monitor Deloitte prevé el cierre de todo el carbón nacional como consecuencia de la actual falta de inversiones que permitan ampliar su vida más allá del año 2020.

Este punto es compartido por el informe del Comité de Expertos, que en tanto en el escenario DG como ST se plantea como una tecnología residual. De hecho, en un escenario alternativo en el que precio por tonelada de CO<sub>2</sub> fuera muy bajo y, por tanto, se produjera el mantenimiento de carbón, se señala que el aumento en las emisiones de GEI aumentarían en más de 30 Mt en comparación con los escenarios DG y ST.

Al ser el precio de las emisiones de CO<sub>2</sub> una variable controlada, el escenario de precios bajos que generase el mantenimiento del carbón y en consecuencia un aumento de emisiones que fuese en contra de los objetivos de la UE en materia de reducción de emisiones no se va a tener en cuenta.

En línea con ambos informes, este estudio considera el cierre del carbón nacional a partir del año 2020 y del importado a partir de 2030.

Este cierre implicaría la necesidad de invertir en 2 GW de nuevas centrales térmicas en el horizonte 2025. Adicionalmente, el cierre de las centrales de carbón importado para el año 2030 incrementaría las



necesidades de respaldo en 8 GW adicionales a los 2 GW necesarios en 2025.

Con estos 10 GW de respaldo adicional se pretende establecer un índice de cobertura<sup>15</sup> de 1,1.

Monitor Deloitte asegura que, con el objetivo de lograr reducir las emisiones, dichas centrales térmicas de respaldo deben ser centrales de gas de ciclo combinado (CCGT<sup>16</sup>).

El motivo por el que estos 10 GW de respaldo adicional requeridos en 2030 se ha supuesto de centrales térmicas es por su capacidad de dotar de estabilidad al sistema eléctrico, es decir, para mantener la frecuencia y la tensión dentro de los parámetros adecuados. Actualmente se estima que se necesitan entre 10 y 15 GW de generación síncrona convencional para asegurar la estabilidad del sistema eléctrico y la previsión es que, a causa de la mayor penetración de energías renovables no gestionables, este valor crecerá en el futuro.

Bien es cierto que hay ciertas tecnologías que podrían aportar esta estabilidad sin ser contaminantes, como la hidráulica. Este es el caso propuesto desde el Comité de Expertos.

Sin embargo, debido a la exposición que esta solución presentaría frente a la climatología, el mencionado informe elaborado por Monitor Deloitte opta por no considerarla y este estudio tampoco lo hará. Por otra parte, considerar energía hidráulica de nueva construcción tampoco sería técnicamente viable, pues el recurso está explotado en su práctica totalidad.

Cabe destacar que tanto Monitor Deloitte como el Comité de Expertos en los escenarios centrales de su análisis (DG y ST) no consideraran el cierre de las centrales nucleares.

Según el mencionado informe de Monitor Deloitte, la no extensión de su vida operativa podría suponer un incremento significativo en el coste de operación de la generación y unas necesidades de inversión en nuevas centrales de respaldo de 8 GW adicionales a los necesarios por el previsible cierre de las centrales de carbón previamente mencionadas. Además, ayudaría a cumplir los objetivos medioambientales a medio y largo plazo, estimándose que evitaría la emisión de 370 MteqCO<sub>2</sub> hasta el año 2050, algo más que la emisión de todo el país en 1 año.

---

<sup>15</sup> El índice de cobertura se calcula como la potencia firme instalada entre la demanda horaria pico. Como potencia firme se entiende aquella que puede ser controlada por el operador.

<sup>16</sup> CCGT es el acrónimo de Combined Cycle Gas Turbine.



En este sentido, el Comité de Expertos asegura que el cierre anticipado de las centrales nucleares tendría 2 consecuencias. En primer lugar, provocaría un aumento en los costes de generación. Por otro lado, en línea con lo mencionado por Monitor Deloitte, asegura que las emisiones de CO<sub>2</sub> serían unos 15Mt anuales superiores a los escenarios de referencia (aproximadamente se doblarían) para años con hidraulicidad media. Suponiendo que todos los años tuvieran esta situación meteorológica, se emitirían 525 MteqCO<sub>2</sub> entre 2015 y 2050.

A continuación, se presenta un resumen de los escenarios principales desarrollados por ambos informes.

En primer lugar, se presenta una tabla donde se recogen las características de los principales escenarios desarrollados por el Comité de Expertos.

Tabla 4. Resumen escenarios Comité de Expertos. Año 2030.

|   | VALORES DE REFERENCIA<br>(HIDRAULICIDAD MEDIA) |                |
|---|--|----------------|
|   | DG 2030  | ST 2030        |
| <b>Demanda (TWh)</b>                        | 296  | 285            |
| <b>Capacidad total instalada (MW)</b>       | <b>149.439</b>                                 | <b>143.737</b> |
| Nuclear                                     | 7.117  | 7.117          |
| Carbón                                      | 847  | 4.660          |
| Ciclo combinado                             | 24.560   | 24.560         |
| Hidráulica (+bombeo)                        | 23.050   | 23.050         |
| Eólica                                      | 31.000   | 31.000         |
| Fotovoltaica                                | 47.150   | 40.000         |
| Termosolar                                  | 2.300  | 2.300          |
| Resto renovables                            | 2.550  | 2.550          |
| Cogeneración y otros                        | 8.500  | 8.500          |
| Baterías                                    | 2.358  | 0              |
| <b>% RES / Generación</b>                   | 62%  | 67%            |
| <b>% RES / energía final estimada</b>       | 29,7%  | 28,4%          |
| <b>% vertidos energía renovable</b>         | 2,70%  | 2,39%          |
| <b>Emisiones kt CO<sub>2</sub></b>          | 12.593   | 16.264         |
| <b>Coste variable de generación (€/MWh)</b> | 52,0   | 32,7           |

Fuente: “Análisis y propuestas para la descarbonización”, Comisión de Expertos de Transición Energética.

Como se puede observar, las emisiones relacionadas con la producción de energía eléctrica son de 12,5 MteqCO<sub>2</sub> en 2030 para el escenario DG y de 16,3 MteqCO<sub>2</sub> en 2030 para el escenario ST.

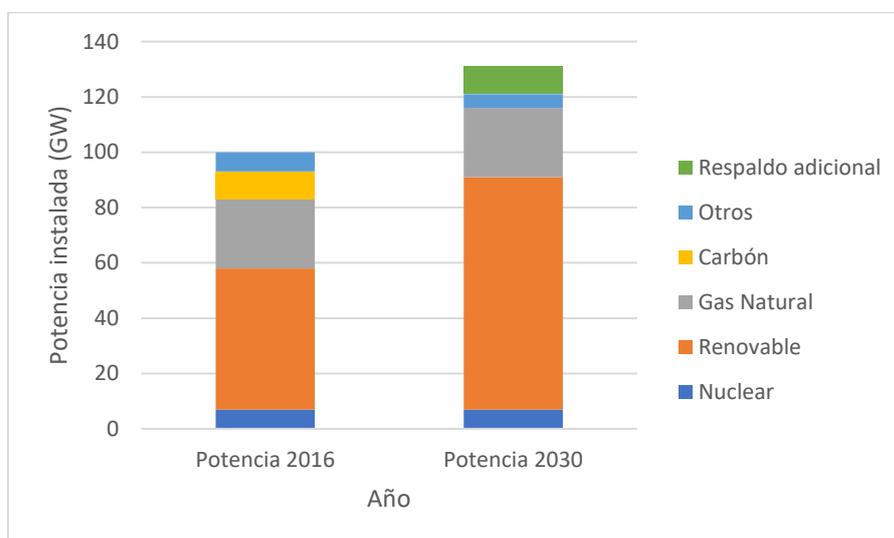


Hay que tener en cuenta que el coste variable de generación, aunque si influye, no es igual al coste final pagado por el usuario.

Por su parte, Monitor Deloitte, además de la necesidad de respaldo adicional y en línea con lo expuesto por el Comité de Expertos, asegura que se requerirán entre 35 y 40 GW<sup>17</sup> de nueva potencia renovable en el medio plazo, 2030, con el objetivo de cumplir con el 27% de peso de renovables en la demanda final en dicho año y poder suministrar el incremento de demanda anual de energía, que estima aumentará desde los 250 TWh actuales a 329 TWh en dicho año. De los 3 escenarios analizados en mayor profundidad (los 2 desarrollados por el Comité de Expertos y el de Monitor Deloitte), este es el que mayor crecimiento de la demanda prevé.

Además, estima que esta nueva instalación de energía renovable debe repartirse en un 60-40% y un 80-20% entre eólica y solar fotovoltaica respectivamente con la intención de conseguir una mayor diversificación temporal de la producción que permita reducir los vertidos brutos de electricidad.

Gráfico 35. Evolución del parque de generación. Monitor Deloitte. Año 2030.



Fuente: “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” por Monitor Deloitte.

Nota 1: El respaldo adicional se considera CCGT.

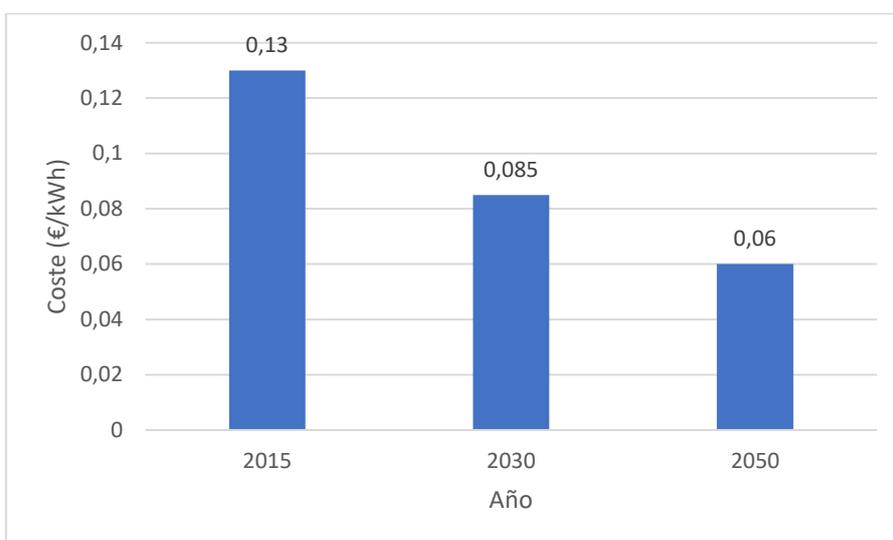
<sup>17</sup> 35 GW en el escenario de alta eficiencia energética y 40 GW en el escenario de electrificar la economía.



La tarifa eléctrica para usuarios finales en 2030, según el mencionado estudio, sería un 30-35% inferior a la media actual, mientras que en 2050 dicha reducción será casi del 50-55%. Este descenso de los precios se debería principalmente a:

- Al aumentar la demanda eléctrica, los costes fijos CAPEX<sup>18</sup> pasan a diluirse entre un mayor número de consumidores.
- Desaparición del déficit de tarifa y de las plantas de generación en régimen especial.

Gráfico 36. Evolución tarifa eléctrica para usuario final. Monitor Deloitte



Fuente: “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” por Monitor Deloitte.

Debido a que el informe elaborado por el Comité de Experto expone costes variables de generación, pero no coste final para el usuario, este estudio usará los datos de coste final expuestos por Monitor Deloitte.

El informe de Monitor Deloitte no expone ninguna estimación en cuanto a emisiones del parque expuesto para el año 2030, de modo que se procede a su cálculo.

A la hora de calcular las emisiones asociadas a la producción de energía eléctrica hay que destacar que, al cerrarse las centrales térmicas de carbón, la única fuente de emisiones que permanece en el *mix* de generación son las plantas CCGT.

Según el estudio de Monitor Deloitte, la previsión de horas de funcionamiento de estas plantas como respaldo de la generación renovable se situará en 2150 horas en 2030, 1350 horas en 2035 y 650 horas en 2040. Realizando un cálculo conservador en el que se supone

<sup>18</sup> CAPEX hace referencia a los costes de inversión. Del inglés Capital Expenditures.



que la tecnología de las plantas CCGT se mantiene como en la actualidad, se puede calcular las emisiones asociadas a dicho funcionamiento mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Estimación emisiones CO<sub>2</sub>

$$CO_2 \text{ estimado} = \text{horas estimadas} * \frac{CO_2 \text{ actualidad}}{\text{horas actualidad}}$$

El CO<sub>2</sub> equivalente generado en el año 2016 por el funcionamiento de plantas CCGT fue, según datos proporcionados por REE, de 12,07 MteqCO<sub>2</sub>. En ese mismo año, la producción de electricidad asociada a plantas CCGT fue de 29.260 GWh, por lo que teniendo en cuenta que la capacidad instalada de CCGT es de 24.948 MW obtenemos un total de 1172,9 horas de funcionamiento. Como curiosidad, esto supone un factor de planta<sup>19</sup> del 13,38%, lo que deja ver el bajo nivel de utilización de este tipo de centrales en la actualidad.

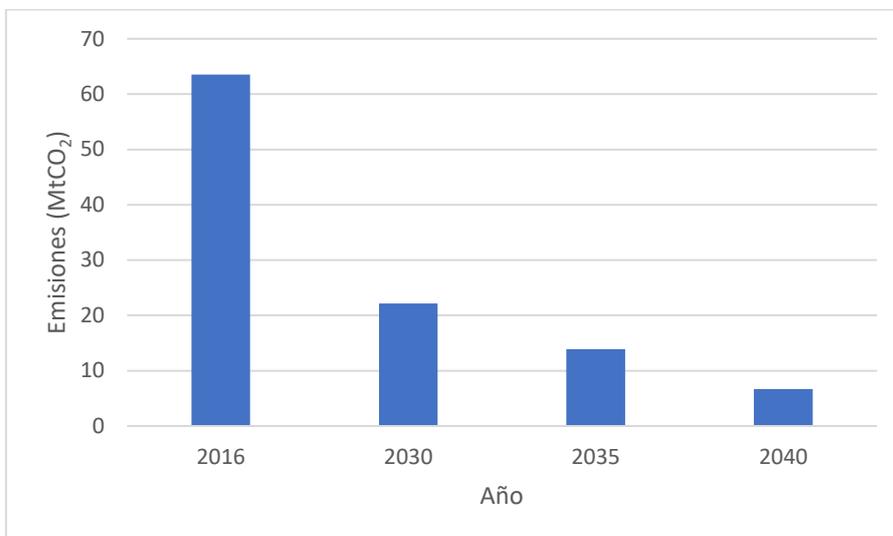
Aplicando estos valores en la Ecuación 1. Estimación emisiones CO<sub>2</sub>, obtenemos unas emisiones relacionadas con la producción de energía eléctrica de 22,13 MteqCO<sub>2</sub> en 2030, 13,89 MteqCO<sub>2</sub> en 2035 y 6,69 MteqCO<sub>2</sub> en 2040.

---

<sup>19</sup> El factor de planta (también llamado factor de capacidad neto o factor de carga) de una central eléctrica es el cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un período (generalmente anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período, conforme a los valores nominales de las placas de identificación de los equipos.



Gráfico 37. Evolución en las emisiones asociadas a la producción de electricidad en los escenarios de Monitor Deloitte.

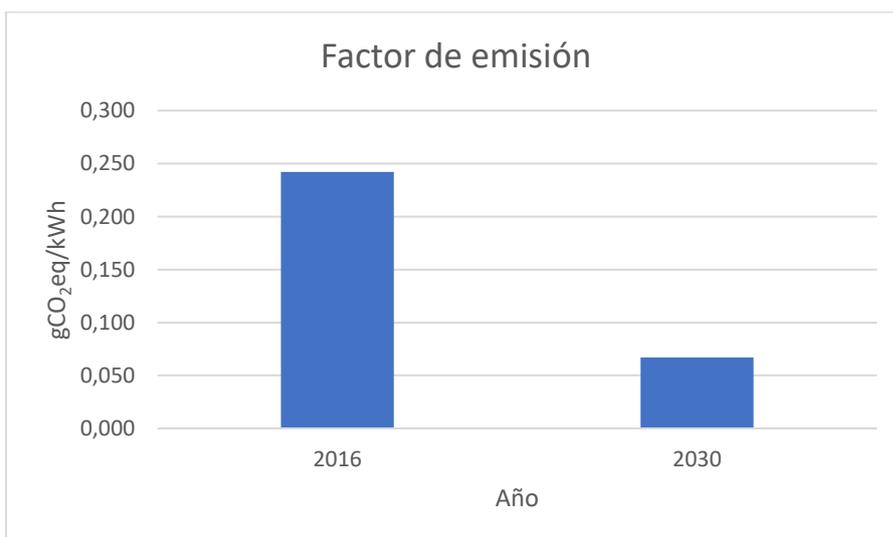


Fuente: Propia a partir de “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” por Monitor Deloitte.

En este estudio se utilizarán los datos de emisiones calculadas para el parque expuesto en el informe de Monitor Deloitte, pues son las mayores de los 3 escenarios estudiados, en un intento de realizar cálculos más conservadores.

A partir de los datos de emisiones totales generadas y de la estimación de demanda en el año 2030 (329 TWh) se puede obtener el factor de emisión, resultando ser de 0,067 kgCO<sub>2</sub>/kWh.

Gráfico 38. Comparación del factor de emisión.



Fuente: Propia a partir de “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” por Monitor Deloitte.

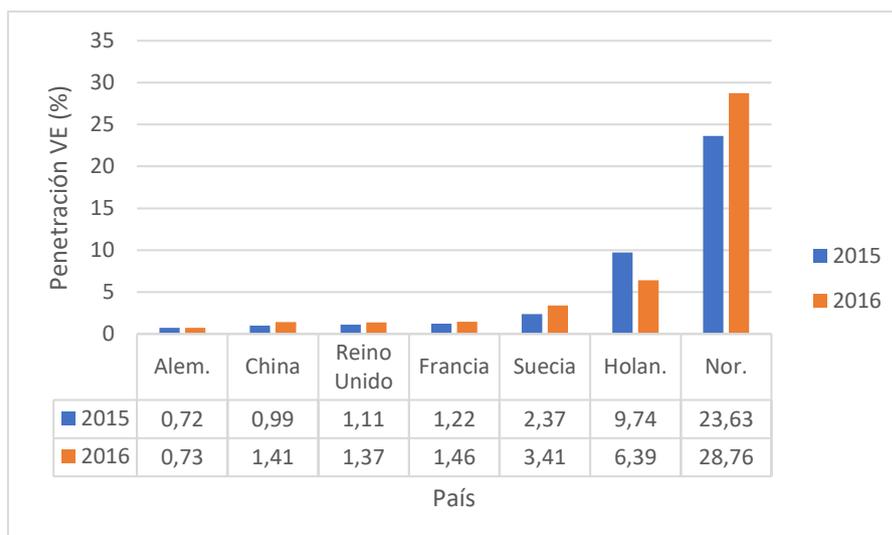


### 3.1.2 La electricidad en el transporte

Este capítulo se centrará en el estudio de la panorámica actual del vehículo eléctrico VE con la intención de conseguir adoptar un perfil medio que pueda representar significativamente las características de este tipo de vehículos, superando las limitaciones dadas por un tamaño muestral reducido y muy focalizado en un parte del mercado, el de vehículos ligeros con menos de 3500kg de peso bruto.

Actualmente, el vehículo eléctrico vive una situación de crecimiento global en la que, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA) [14], desde el año 2015, se ha logrado superar la cifra de un millón de vehículos vendidos. En el año 2016, hubo 6 países que lograron superar la barrera del 1% de penetración de vehículo eléctrico en las ventas. Por orden, estos 6 países fueron Noruega (28,76%), Holanda (6,39%), Suecia (3,41%), Francia (1,46%), Reino Unido (1,41%) y China (1,37%). Alemania con un 0,73% se quedó a las puertas de lograrlo. España no ha logrado un nivel de penetración tal que nos permita considerar que la muestra de vehículos eléctricos vendidos sea representativa, de modo que se elegirá aquel que, de los mencionados, presente mayores similitudes con España y se extrapolarán los resultados obtenidos. De estos países, por tamaño y cercanía geográfica se utilizará Francia.

Gráfico 39. Porcentaje de ventas de VE en los países con mayor penetración.



Fuente: Propia a partir de IEA.

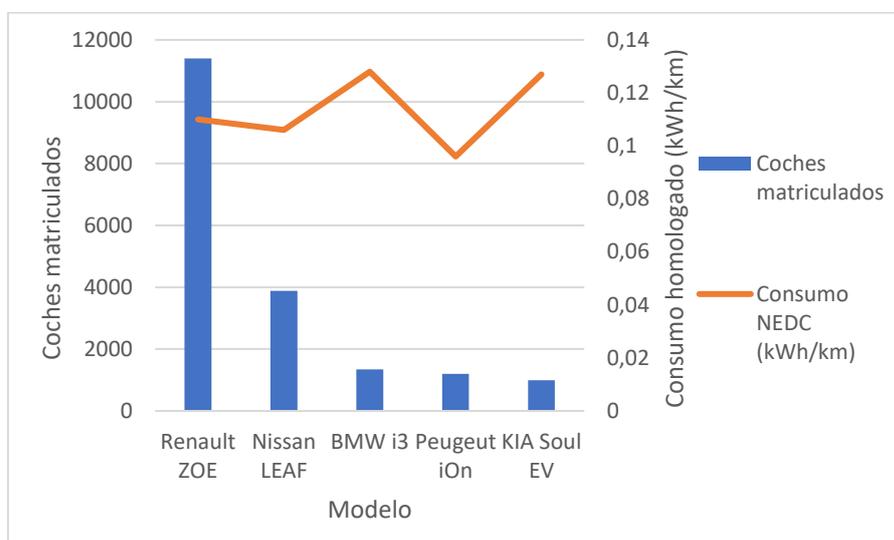
Tal y como se ha mencionado anteriormente, en el mercado europeo la venta de vehículos eléctricos de batería BEV se focaliza en el mercado de vehículos pequeños. Cabe destacar que, mientras que en ciertos



países como Holanda o Suecia las ventas están muy repartidas entre diferentes modelos, en Francia los dos vehículos más vendidos, el Nissan LEAF y el Renault ZOE, acumulan un porcentaje muy elevado de las ventas totales.

Analizando las ventas de VE que se produjeron en Francia en el año 2016 vemos como Renault se encuentra liderando el ranking con su modelo ZOE, seguido por el Nissan LEAF y el BMW i3. Analizando los 6 modelos más vendidos, que constituyen 18826 ventas de las 21751 ventas totales (un 86,5%), se puede hacer una buena estimación del VE medio.

Gráfico 40. Ventas por modelos y consumo homologado.



Fuente: Propia a partir de las páginas web de los fabricantes [15][16][17][18][19].

El consumo homologado es calculado a partir de la autonomía obtenida para el ciclo de prueba NEDC y la capacidad teórica de la batería expuesta por el fabricante. Es importante señalar que las cifras que aquí se presentan son relativas al último modelo del que se tienen datos.

El consumo medio ponderado por el número de ventas de estos 5 vehículos es de 0,11 kWh/km. Sin embargo, debido a la poca fiabilidad de las pruebas NEDC, se ha realizado un análisis de las diferencias entre los consumos homologados por dicho ciclo y los reales, dados por algunos fabricantes, o los expuestos por diferentes medios. Conforme a estas premisas, se analiza el comportamiento real del Renault ZOE, por ser el vehículo más vendido. El consumo homologado del Renault ZOE se sitúa en 0,11 kWh/km.

- Movilidadeléctrica.com [20]: Expone que el consumo en autovía, a una velocidad media de 100km/h, del Renault ZOE



llega a los 0,2 kWh/km, siendo capaz de recorrer unos 200km frente a los 400km homologados por el ciclo NEDC.

- Renault [15][21]: El propio fabricante expone en su página web que la autonomía media en recorrido mixto es en verano de 300 km y de 200 km en invierno. Según el fabricante, esta diferencia se debe a los diferentes consumos que se producen al circular en condiciones ambientales adversas, como la calefacción durante el invierno.
- Revista “Autopista” [22][23][24]: Por carreteras secundarias, a velocidades relativamente bajas (42,1 km/h de media), aseguran haber podido alcanzar los 309 km recorridos con una única carga. Sin embargo, por autopistas, manteniendo una velocidad cercana a los 90 km/h, la distancia que fue posible recorrer descendió hasta los 230 km. También observaron cómo cuando la velocidad media aumentaba hasta los 120km/h, el consumo ascendía hasta 0,22 kWh/km, reduciendo la distancia recorrida a 190km.

Los datos de las tres fuentes parecen coincidir, por lo que este estudio les supondrá una elevada fiabilidad. También se visita el sitio web “micocheelectrico.com” [25] para contrastar información.

Arbitrariamente, con la intención de lograr un consumo medio en recorrido mixto<sup>20</sup>, en este estudio se ha establecido un factor de corrección del consumo obtenido para el vehículo eléctrico medio de 1,5. Se establece, por tanto, que el consumo medio de un VE es de 0,165 kWh/km.

Cabe destacar que el gran descenso en la autonomía del VE en autovía se debe a la incapacidad de aprovechar los sistemas de recuperación de energía en las frenadas, pues la velocidad es constante.

Sin embargo, para hacer el cálculo correcto se deben considerar las pérdidas energéticas producidas en el transporte/distribución de la electricidad, así como en los cargadores de las baterías. Recordar que, al estar trabajando con el gasto de electricidad por kilómetro recorrido medido a través de test, los rendimientos en la descarga de la batería, motor eléctrico y sistemas mecánicos de transmisión de potencia ya han sido tenidos en cuenta.

El rendimiento del proceso de carga de las baterías juega un papel transcendental desde el punto de vista del cliente, pues éste paga por la energía consumida por el cargador. Esta energía, que incorpora la

---

<sup>20</sup> Se entiende por recorrido mixto aquel que incluye circuito urbano, de carretera y autovía.



electricidad que finalmente le llega al vehículo, también incluye las pérdidas por calentamiento que se producen en el proceso de carga, tanto en el propio cargador como en la batería. Conocer la eficiencia en el proceso de carga es, por tanto, doblemente importante. Por un lado, afecta al rendimiento global del proceso y por otro afecta directamente al coste del usuario final.

Según el estudio “Efficiency Test Method for Electric Vehicle Chargers”, Technical University of Denmark [26], que analiza los rendimientos en la carga de la batería de los modelos Renault ZOE, Nissan LEAF y Peugeot iOn, los rendimientos oscilan entre un 49 y un 63% para el caso del ZOE, 70 y 90% en el LEAF y entre un 69 y un 79% en el caso del Peugeot iOn. La variabilidad de estos rendimientos se debe a que utiliza diferentes métodos de evaluación, así como diferentes potencias de carga. Sin embargo, es importante destacar que todos los rendimientos se obtienen mediante pruebas empíricas que incluyen de forma conjunta el rendimiento en el cargador y en el proceso de carga de la batería. Es decir, se mide la relación entre la energía que finalmente acumula la batería y la que le llega al cargador.

Tabla 5. Eficiencia en la carga de baterías. Universidad de Dinamarca.

| EV   | Modo carga    | Potencia | Método 1 | Método 2 | Método 3 |
|------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| iOn  | 10 A - 1 fase | 2,3 kW   | 77%      | 70%      | 79%      |
| iOn  | 16 A - 1 fase | 3,7 kW   | 75%      | 69%      | 77%      |
| LEAF | 10 A - 1 fase | 2,3 kW   | 74%      | 85%      |          |
| LEAF | 16 A - 1 fase | 3,7 kW   | 70%      | 90%      |          |
| Zoe  | 10 A - 1 fase | 2,3 kW   | 49%      |          |          |
| Zoe  | 16 A - 3 fase | 11 kW    | 64%      |          |          |
| Zoe  | 32 A - 3 fase | 22 kW    | 65%      |          |          |
| Zoe  | 63 A - 3 fase | 43 kW    | 63%      |          |          |

Fuente: Technical University of Denmark.

Según otro estudio, esta vez desarrollado por la Universidad de Stanford [27], los rendimientos en la carga y descarga de las baterías varían entre un 66% y un 92% en función de la tecnología que utilizan.

Tabla 6. Eficiencia en la carga y descarga de baterías. Universidad de Stanford.

| Batería | Eficiencia |
|---------|------------|
| Li-ion  | 80% - 90%  |
| Pb-Acid | 50% - 92%  |
| NiMH    | 66%        |

Fuente: University of Stanford.



A diferencia del estudio realizado por la “University of Denmark”, en estos rendimientos no se incorpora la eficiencia de los cargadores utilizados, de modo que hay que añadirlos. La eficiencia global del proceso vendrá dada por la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Cálculo de la eficiencia global.

$$\eta_{global} = \eta_{batería} * \eta_{cargador}$$

El propio estudio de Stanford da un rendimiento del 97% en los cargadores. A partir de estos datos se calcula la eficiencia global en el proceso de carga a través de *Ecuación 2. Cálculo de la eficiencia global.*, presentándose en la siguiente tabla.

Tabla 7. Eficiencia global carga baterías. Universidad de Stanford.

| Batería | Eficiencia Batería | Eficiencia Cargador | Eficiencia Global |
|---------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Li-ion  | 80% - 90%          | 97%                 | 77.6%-87.3%       |
| Pb-Acid | 50% - 92%          | 97%                 | 48.5%-89.24%      |
| NiMH    | 66%                | 97%                 | 64.02%            |

Fuente: Propia a partir de University of Stanford.

Los valores obtenidos a partir de la Universidad de Stanford son compartidos por Renault, por lo que en este estudio se va a considerar que tienen una alta fiabilidad.

Según Renault, las baterías más utilizadas en la actualidad en los vehículos eléctricos son las de Li-ion debido a su alta eficiencia. Además, en su página web aseguran que el nuevo modelo de Renault ZOE incorpora baterías de última generación con este tipo de tecnología, que mejoran los resultados de eficiencia de las baterías que incorporaba el anterior modelo que, presumiblemente fue el utilizado por el estudio de la University of Denmark. Es por este motivo que, en este estudio se tomará como dato de eficiencia en la carga de baterías el arrojado por el estudio de la Universidad de Stanford en el caso de baterías Li-ion. Como el rango de posibles valores que se ofrecen no es demasiado grande, y con la intención de realizar cálculos conservadores, se tomará el extremo inferior. La eficiencia en la carga de baterías se estima, por tanto, en un 78%.

Es importante señalar que la carga de baterías no mantiene un rendimiento constante durante todo el proceso [28], variando en función del nivel de carga de la misma. En un primer momento, aproximadamente hasta el 80% de carga, se alcanzan rendimientos muy elevados, cercanos al 90%. Sin embargo, una vez superada esta barrera el rendimiento cae hasta valores próximos al 60%.



Como curiosidad se expone la posibilidad de realizar cargas parciales de las baterías, hasta un 80%, para poder aprovechar el alto rendimiento que se experimenta inicialmente. Sin embargo, es importante señalar que mediante este tipo de prácticas se acorta la vida de las baterías, por lo que sería interesante analizar el punto óptimo de carga.

El segundo rendimiento que se necesita para poder calcular el consumo de energía en barras de central es el del transporte y distribución de la electricidad. Según la IEA [29], las pérdidas en este paso alcanzaron en el año 2014 el 9,59%. Según Iberdrola [30], en el año 2011, las pérdidas de la energía circulada por las redes de Iberdrola Distribución Eléctrica alcanzaron el 8,07% de total.

En este estudio se supondrá que la recarga de VE se realiza en baja tensión, por lo que el rendimiento combinado de transporte y distribución será menor al rendimiento medio expuesto por la IEA e Iberdrola, que realizan la media incorporando consumidores en MT, donde se evitan las pérdidas en las acometidas. En base a estas cifras, en este estudio se considerará una eficiencia en transporte/distribución del 85%.

El rendimiento conjunto en la carga de baterías y transporte y distribución es, por tanto, aproximadamente del 66%. De este modo, si un vehículo eléctrico medio consume 0,165 kWh/km de su batería, una central debería producir 0,25 kWh/km. Teniendo en cuenta que el factor de emisión en el año 2016 fue de 0,242 kgCO<sub>2</sub>/kWh, se obtiene que un vehículo eléctrico tuvo, en el año 2016, asociadas unas emisiones de 6,05 kgCO<sub>2</sub>/100km. Es importante remarcar que las emisiones relacionadas al funcionamiento de un vehículo eléctrico no son fijas, pues varían en función del *mix* de generación, tal y como se ha comentado previamente y que se tendrá en cuenta en los cálculos de este proyecto.

Otro dato de interés consiste en calcular el coste de operación para el usuario. Para este cálculo hay que considerar la energía por la que paga el usuario, es decir, la que llega al cargador<sup>21</sup>. Para ello se utiliza el rendimiento en la carga de baterías, obteniendo un resultado de 0,21kWh pagados/km. Teniendo en cuenta, tal y como se ha calculado y en el capítulo anterior, que el coste de la energía en el mercado minorista fue de 0,13 €/kWh en el año 2016, el coste asociado al funcionamiento del vehículo para el usuario final fue de 2,73 €/100km. Actualmente, realizando la carga del vehículo en horas valle se estima

---

<sup>21</sup> Las pérdidas en transporte y distribución son asumidas por sus respectivos operadores.



una posible reducción del precio de recarga en un 40%. Sin embargo, en este estudio no se contemplará esta opción. Esta hipótesis ha sido tomada debido tanto a que se supone que una entrada masiva de vehículo eléctrico provocaría que los valles fueran menos pronunciados, haciendo que el precio de la electricidad dejara de sufrir una discriminación horaria tan fuerte como a que no está clara la posibilidad de los usuarios de cargar únicamente en hora valle.

Al igual que se han realizado los cálculos de emisiones y costes para el año 2016, resulta interesante hacer lo mismo para el año 2030, a partir de las previsiones expuestas en el capítulo anterior. Para ello, con la intención de realizar cálculos conservadores se supondrá que la tecnología<sup>22</sup> de los vehículos eléctricos permanece constante.

Siguiendo la expuesta metodología se obtiene, para el año 2030, unas previsiones de emisiones de 1,675 kgCO<sub>2</sub>/100km (recordar que se obtuvo un factor de emisión de 0,067 kgCO<sub>2</sub>/kWh) y un coste para el usuario final entre un 30 y un 35% inferior al obtenido en el año 2016, es decir aproximadamente 1,8 €/100km.

Una vez conocido el precio de operación del vehículo eléctrico, es de interés conocer el precio de adquisición del mismo. Para ello, se calcula el precio medio de los vehículos analizados. Los precios de cada vehículo se han obtenido de los sitios web oficiales de cada fabricante, eligiendo en todos los casos la opción de menor coste dentro de cada modelo.

Tabla 8. Precio de los diferentes vehículos eléctricos analizados.

| Marca   | Modelo  | Precio      |
|---------|---------|-------------|
| Renault | ZOE     | 21.630,00 € |
| Nissan  | LEAF    | 29.800,00 € |
| BMW     | i3      | 38.200,00 € |
| Peugeot | iOn     | 23.500,00 € |
| KIA     | Soul EV | 23.900,00 € |
| MEDIO   | MEDIO   | 27.406,00 € |

Fuente: Elaboración propia a partir de las páginas web de las diferentes marcas.

Como se puede observar, el precio medio de los vehículos eléctricos analizados es de 27406 €.

<sup>22</sup> Tecnología del EV hace referencia tanto al consumo propio del vehículo como a los rendimientos asociados.



## 3.2 Vehículos con motores de combustión

Desde una perspectiva de sectores de actividad, el transporte fue en el año 2016, según datos del MAPAMA [1], el sector con mayor volumen de emisiones, significando el 25% del total. De los 80 MteqCO<sub>2</sub> emitidos, el 94% fueron producidas por el transporte terrestre de pasajeros y de mercancías. Particularmente, el transporte de pasajeros, de mayor interés en este estudio, emitió 52 MteqCO<sub>2</sub>, el 66% del total del sector transporte. En concreto, la forma más común de transporte de pasajeros y también la más contaminante es el coche particular.

Según el Ministerio de Fomento [31], de los aproximadamente 52.5000 millones de pasajeros-km realizados en el año 2014 por medios de pasajeros terrestres, el 86% se efectuaron mediante coches particulares, causando el 94% del total de las emisiones GEI atribuibles al transporte de personas. Aparte del efecto sobre el medio ambiente global de las emisiones, también se generan a nivel local una serie de elementos tóxicos para el ser humano, tales como NO<sub>x</sub>, CO y partículas PM, reguladas mediante los “Euro Standards” explicados en el capítulo “Normativa de Emisiones”.

El principal problema en la actualidad en cuanto a las emisiones generadas por el sector transporte radica en que las emisiones se producen en grandes centros urbanos a nivel de suelo, exponiendo a los efectos tóxicos a un gran número de personas. Como dato, el 35% de las emisiones de elementos contaminantes se realiza en el 5% de la superficie y afecta directamente al 60% de la población española, provocando, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 3 millones de muertes prematuras en todo el mundo en el año 2012.

Esto ha llevado a algunas ciudades a crear un protocolo de calidad del aire. En el caso concreto de Madrid, dicho protocolo, explicado en la sección “Normativa de Emisiones” y en vigor desde febrero de 2016, está centrado en evitar que los niveles de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) superen límites tóxicos para la salud. Entre las medidas contempladas por el protocolo se encuentran desde la reducción de la velocidad a 70 km/h en la M30 y accesos hasta la restricción de la circulación de taxis libres, excepto Ecotaxis y Eurotaxis, en el interior de la almendra central (área interior de la M30).

Es por estos motivos interés de este estudio, y en ello se centrará este capítulo, el conocer los niveles de emisión de los diferentes contaminantes emitidos por cada tipo de vehículo que utilice motores de combustión interna y no únicamente el efecto medioambiental a



nivel agregado de los mismos, tal y como se ha realizado en el caso de las emisiones asociadas al funcionamiento del vehículo eléctrico.

### 3.2.1 Compuestos tóxicos asociados a los vehículos ICE

En primer lugar, se presentan los diferentes contaminantes y los efectos que los mismos tienen sobre la salud. Para ello, este estudio se basará en la nota de prensa “Calidad del aire ambiente (exterior) y salud” emitida por la OMS [32].

- Partículas: Las partículas más perjudiciales para la salud son las de 10 micrones de diámetro, o menos ( $\leq PM_{10}$ ), que pueden penetrar y alojarse en el interior profundo de los pulmones. La exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón.
- Ozono ( $O_3$ ): No es un contaminante directo del transporte, sino que se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), que sí son emitidos por los vehículos. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares.
- Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ): Estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada al  $NO_2$ . La disminución del desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de  $NO_2$  registradas (u observadas) actualmente en ciudades europeas y norteamericanas.
- Dióxido de azufre ( $SO_2$ ): Puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de  $SO_2$  son más elevados.

### 3.2.2 Los vehículos ICE en España

Tal y como se mencionó en el estudio del vehículo eléctrico, el mercado de este tipo de vehículos está muy focalizado en una parte del mercado, el de vehículos ligeros con menos de 3500kg de peso bruto. Para poder



realizar una comparación de ambas tecnologías lo más justa posible, se buscará un turismo medio con unas características similares. Para ello se elegirán, de entre los turismos más comunes en España, los 5 con mayor número de unidades vendidas que cumplan con dichas características para posteriormente realizar un coche representativo a través de una media de los diferentes modelos, tal y como se realizó en el caso del vehículo eléctrico.

Los 5 turismos más vendidos en España en el año 2017 fueron, por orden, el Seat León (35237 unidades), el Seat Ibiza (33802 unidades), Renault Megane (32148 unidades), Renault Clio (28873 unidades) y Nissan Qashqai (28756 unidades). Sin embargo, debido a que el Nissan Qashqai pertenece a la gama de los SUV<sup>23</sup>, de mayor tamaño, se descarta en este estudio, utilizándose el Volkswagen Golf en su lugar, que ocupa la sexta posición con 28527 unidades vendidas. En todos los casos se tomarán los datos del modelo más nuevo de los que se dispongan.

Debido a los problemas presentados por las pruebas homologadas por la Unión Europea en su NEDC, y que son fácilmente apreciables en el ensayo llevado a cabo por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España expuesto en el informe “Informe sobre el proceso de ensayo llevado a cabo en España para la verificación de las emisiones de vehículos en uso.” [33], donde se observa cómo algunos modelos producen unas emisiones de NO<sub>x</sub> en condiciones reales de funcionamiento 12 veces superiores a las establecidas por la normativa, este estudio se basará en los datos proporcionados por la empresa “Equa Index” [34].

La empresa asegura que sus pruebas no están financiadas por ninguna parte interesada, ya sean fabricantes, asociaciones de consumidores o agencias gubernamentales. Los datos son tomados a través de un sistema portátil de medición de emisiones que va embarcado en el vehículo y que ha sido desarrollado por sus propios especialistas.

La publicación de los resultados se realiza mediante índices que califican el nivel de emisiones de dióxido de carbono (Equa CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (Equa CO) y óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> (Equa Aq), además del consumo de combustible.

---

<sup>23</sup> SUV es el acrónimo de Sport Utility Vehicle, en castellano conocido como todoterreno ligero.



Tabla 9. Explicación de las valoraciones “Equa Aq” (NO<sub>x</sub>)

| Rating         | Límite Inferior | Límite Superior | Significado   |
|----------------|-----------------|-----------------|---|
| A+             | 0.00            | 0.06            | Cumple la normativa EURO 5/6 para gasolina  |
| A              | 0.06            | 0.08            | Cumple Euro 6 para diésel.<br>Cumple Euro 4 para gasolina.  |
| B              | 0.08            | 0.12            | Cumple Euro 6 bajo un factor de conformidad 1,5 en Condiciones Reales de Conducción.  |
| C              | 0.12            | 0.18            | Cumple Euro 5 para diésel (similar a cumplir Euro 6 bajo un factor de conformidad 2,1 en Condiciones Reales de Conducción). |
| D              | 0.18            | 0.25            | Cumple Euro 4 para diésel.  |
| E              | 0.25            | 0.50            | Cumple Euro 3 para diésel.  |
| F              | 0.50            | 0.75            | No comparable a Euro Standard: Similar a 6-8 veces el límite Euro 6.  |
| G              | 0.75            | 1.00            | No comparable a Euro Standard: Similar a 8-12 veces el límite Euro 6.   |
| H              | 1.00            | Ninguno         | No comparable a Euro Standard: Similar a +12 veces el límite Euro 6.  |
| Unidades: g/km |                 |                 |   |

Fuente: EQUA Index - Independent real-world driving data. Traducción propia.



Tabla 10. Explicación de las valoraciones “EQUA CO<sub>2</sub>”

| Rating | Límite Inferior (g/km) | Límite Superior (g/km) |
|--------|------------------------|------------------------|
| A++    | –                      | 75                     |
| A+     | 75                     | 100                    |
| A      | 100                    | 125                    |
| B      | 125                    | 150                    |
| C      | 150                    | 175                    |
| D      | 175                    | 200                    |
| E      | 200                    | 225                    |
| F      | 225                    | 250                    |
| G      | 250                    | 275                    |
| H      | 275                    | –                      |

Fuente: EQUA Index - Independent real-world driving data. Traducción propia.

Tabla 11. Explicación de las valoraciones “EQUA CO”

| Rating | Límite Inferior | Límite Superior | Explicación   |
|--------|-----------------|-----------------|---|
| A++    | 0.00            | 0.125           | Euro 4-6 diésel   |
| A+     | 0.125           | 0.25            | Euro 4-6 diésel   |
| A      | 0.25            | 0.50            | Euro 4-6 diésel   |
| B      | 0.50            | 0.64            | Euro 3 diésel   |
| C      | 0.64            | 1.00            | Euro 2 diésel, Euro 4-6 gasolina 60% más del límite actual, ~x3 límite actual |
| D      | 1.00            | 1.60            | Límite diésel   |
| E      | 1.60            | 2.20            | Euro 2 gasolina   |
| F      | 2.20            | 2.72            | Euro 1 diésel, Euro 1 gasolina  |
| G      | 2.72            | 5.44            | Hasta 2 veces los límites Euro 1  |
| H      | 5.44            | –               | Más del doble de los límites Euro 1   |

Unidades: g/km

Fuente: EQUA Index - Independent real-world driving data. Traducción propia.



Para la equivalencia de los índices a los diferentes consumos/emisiones se tomará el valor medio del tramo marcado.

### 3.2.2.1 Gasolina

Los resultados obtenidos para los turismos gasolina analizados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12. Ratings EQUA obtenidos para los turismos gasolina.

| Marca      | Modelo | Unidades Vendidas | Año  | Equa AQ | Equa CO <sub>2</sub> | Equa CO | Equa 100 |
|------------|--------|-------------------|------|---------|----------------------|---------|----------|
| Seat       | León   | 35327             | 2016 | A       | C                    | A+      | 38,4     |
| Seat       | Ibiza  | 33802             | 2016 | A+      | C                    | A++     | 40,7     |
| Renault    | Megane | 32148             | 2016 | C       | D                    | A++     | 34,6     |
| Renault    | Clio   | 28873             | 2013 | A+      | D                    | A++     | 38,2     |
| Volkswagen | Golf   | 28527             | 2018 | A+      | D                    | A++     | 37,6     |

Fuente: Propia a partir de EQUA Index - Independent real-world driving data.

Nota: El resultado EQUA 100 se expresa en Millas por galón (imperial) de combustible.

Tabla 13. Cifras de emisiones y consumo turismos gasolina.

| Marca      | Modelo | Unidades Vendidas | Año   | CO <sub>2</sub> (g/km) | CO (g/km) | NO <sub>x</sub> (g/km) | Consumo |
|------------|--------|-------------------|-------|------------------------|-----------|------------------------|---------|
| Seat       | León   | 35327             | 2016  | 162,5                  | 0,1875    | 0,07                   | 7,36    |
| Seat       | Ibiza  | 33802             | 2016  | 162,5                  | 0,0625    | 0,03                   | 6,94    |
| Renault    | Megane | 32148             | 2016  | 187,5                  | 0,0625    | 0,15                   | 8,16    |
| Renault    | Clio   | 28873             | 2013  | 187,5                  | 0,0625    | 0,03                   | 7,39    |
| Volkswagen | Golf   | 28527             | 2018  | 187,5                  | 0,0625    | 0,03                   | 7,51    |
| MEDIO      | MEDIO  | MEDIO             | MEDIO | 177,5                  | 0,0875    | 0,062                  | 7,47    |

Fuente: Propia a partir de EQUA Index - Independent real-world driving data.

Nota: Consumo se mide en litros/100km.

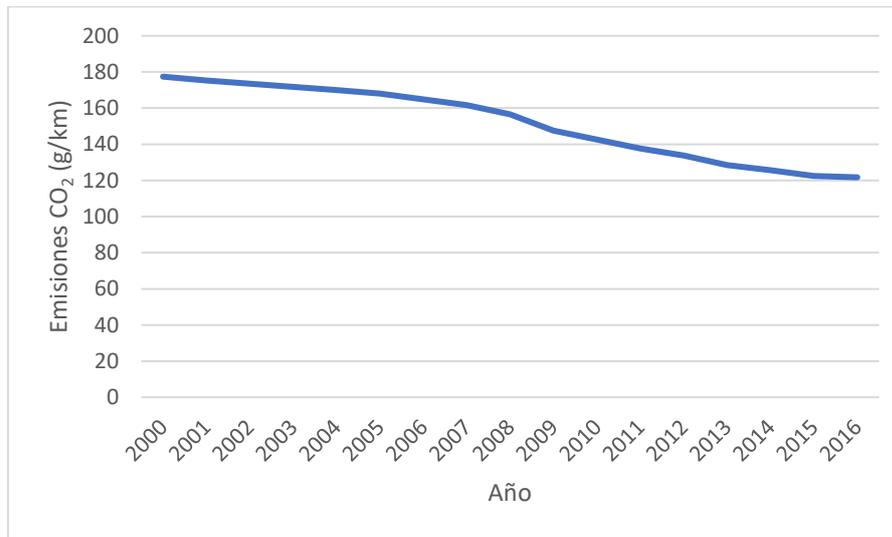
Vistas las emisiones reales de los turismos gasolina matriculados en la actualidad, es de interés de este estudio el conocer las emisiones de los turismos de mayor antigüedad.

Equa Index no dispone de datos suficientes de turismos antiguos, por lo que se realizarán estimaciones de las emisiones reales a partir de los datos de emisiones medidas en ciclo NEDC y las desviaciones obtenidas en los turismos actuales respecto a las obtenidas en dicho ciclo de homologación. Adicionalmente, se recurrirá a bibliografía específica en el tema con la intención de contrastar los resultados obtenidos y dar mayor fiabilidad a estas estimaciones.

Las emisiones medias de CO<sub>2</sub> de los nuevos turismos, disgregadas por tipo de combustible, son medidas anualmente bajo el ciclo NEDC por la European Environmental Agency (EEA) [36].



Gráfico 41. Emisiones medias de CO<sub>2</sub> de turismos gasolina nuevos. Medidas bajo ciclo NEDC.



Fuente: Propia a partir de EEA.

Las emisiones medias de CO<sub>2</sub> de los turismos gasolina en el año 2016 medidas bajo el ciclo NEDC fueron de 121,7 g/km. Sin embargo, en este estudio se ha visto que las emisiones medias del turismo gasolina fueron de 177,5 g/km, lo que supone una diferencia ligeramente superior al 45%.

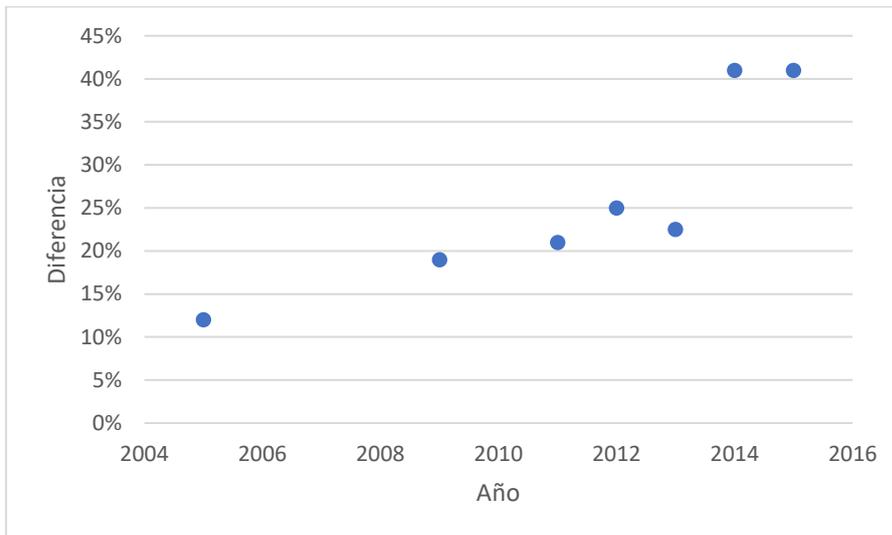
Según el informe “Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions” [36], las diferencias encontradas se suelen situar entre el 30 y el 40%, alcanzando más del 50% en algunos casos. Otro informe, “Road Tested: Comparative Overview Of Real-World Versus Type-Approval NO<sub>x</sub> And CO<sub>2</sub> Emissions From Diesel Cars In Europe” [37] asegura haber encontrado diferencias similares.

Estos informes avalan los resultados obtenidos en este estudio, de modo que se le concederá una elevada fiabilidad.

Este mismo estudio señala que las diferencias encontradas han ido aumentando a lo largo del tiempo conforme los fabricantes han ido conociendo mejor cómo aprovechar los defectos del ciclo NEDC, pasando de un 12% en el año 2005 hasta el mencionado 40% actual.



Gráfico 42. Diferencia entre los valores regulados y los reales.  
2005-2015

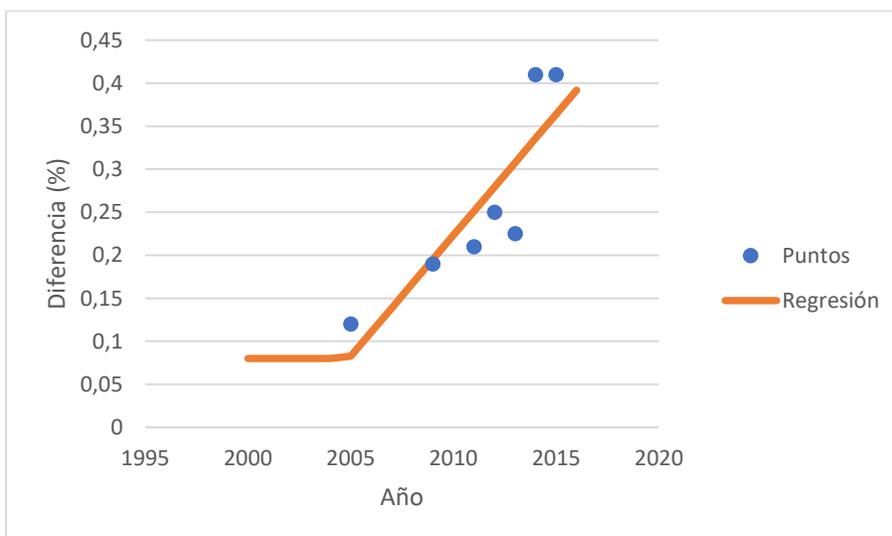


Fuente: Propia a partir de “Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions”

A partir de los datos aquí presentados se realiza un análisis de regresión lineal, para poder así tener un valor para la diferencia existente en cada año que se acomode a los puntos dados. La metodología seguida se expone en el Anexo I.

El coeficiente de determinación  $R^2$  obtenido es cercano a 0,75. Se supone que la diferencia anterior al año 2005 es constante.

Gráfico 43. Diferencia entre los valores regulados y los reales.  
Análisis de regresión. 2000-2015

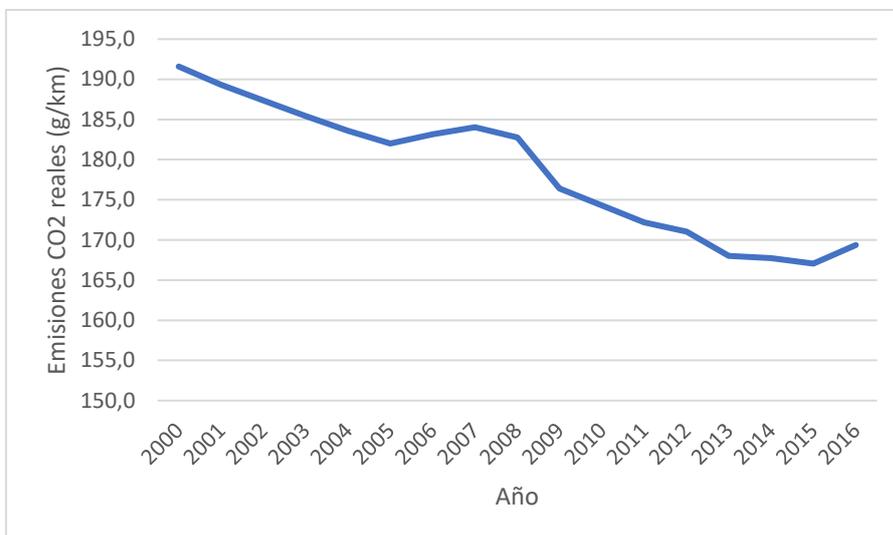


Fuente: Elaboración propia.



En base a estos datos, se presentan las estimaciones de emisiones reales de CO<sub>2</sub> para los diferentes años.

Gráfico 44. Emisiones medias de CO<sub>2</sub> de turismos gasolina corregidas por la diferencia estimada.

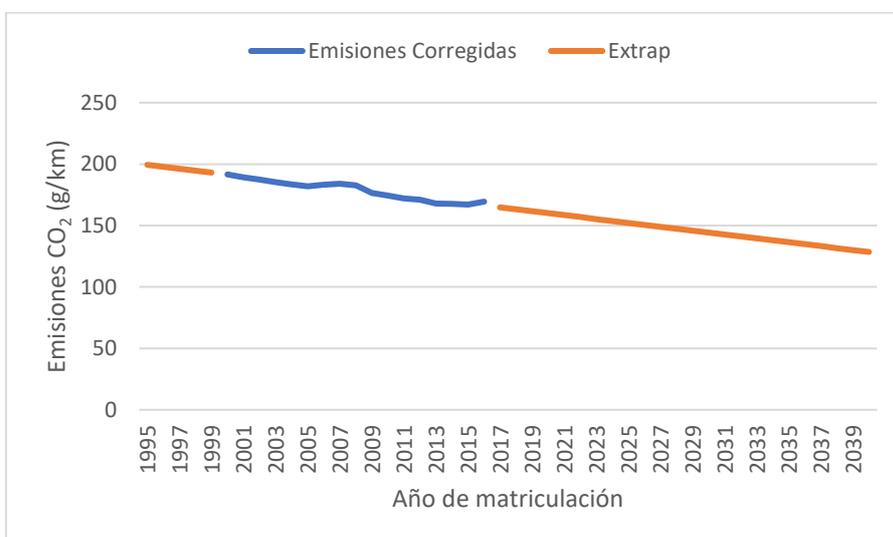


Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, las emisiones corregidas de CO<sub>2</sub> para el año 2016 son cercanas a 170 g/km, similares a las emisiones del turismo medio analizado en “Equa Index”, para el que se obtuvieron unas emisiones medias de 177,5 g/km.

A continuación, se presenta una estimación de la evolución en las emisiones de CO<sub>2</sub> realizadas por turismos gasolina, pues es un dato fundamental para estimar la incidencia de la entrada del vehículo eléctrico en el futuro.

Gráfico 45. Evolución emisiones CO<sub>2</sub> turismos gasolina.



Fuente: Elaboración propia.

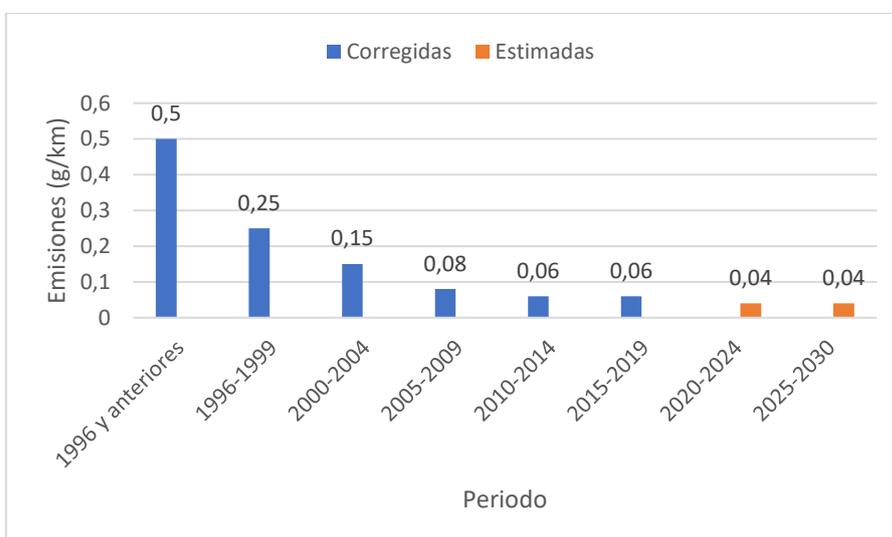


Por su parte, tanto las emisiones de NO<sub>x</sub> como de CO se ajustan a la normativa actual explicada en la sección “Normativa de Emisiones”.

Es remarcable el control que se ejerce sobre las emisiones de CO. Mientras que el límite impuesto por Euro 6 se sitúa en 1 g/km, las emisiones del vehículo medio estudiado se situaron en 0,0875 g/km, menos de una décima parte. Sin embargo, las emisiones de NO<sub>x</sub> se sitúan en el límite marcada por la normativa, 0,06 g/km, de modo que se estima que la normativa es una buena estimación de este tipo de emisiones.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> de cada turismo en función del periodo de matriculación se exponen a continuación. Se incluye una previsión de las emisiones de NO<sub>x</sub> a futuro.

Gráfico 46. Emisiones de NO<sub>x</sub> de los turismos gasolina.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que los valores se han estimado a partir de la tendencia seguida por la norma, considerando que las emisiones continuarán cumpliendo con ella.

Otro dato de interés es el coste para el usuario final. En el año 2016, el coste medio de 1 litro de gasolina fue, según datos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo [38], de 1,295 €/litro de gasolina sin plomo-98 y de 1,171 €/litro de gasolina sin plomo-95. Realizando la media aritmética entre ambos precios, obtenemos que 1 litro medio de gasolina cuesta 1,23 €. Si un turismo medio consume 7,47 litros/100km, el coste de recorrer 100km para el usuario final es de 9,21 €/100km.

Cabe destacar que tanto el precio de la gasolina como del diésel en el año 2016 tocaron mínimos.



Resulta interesante conocer el precio del turismo de gasolina que se ha tomado como representativo. Para ello, se realiza la media de los precios de los diferentes modelos tenidos en cuenta a la hora de considerar este turismo medio, al igual que se realizó el caso del vehículo eléctrico.

Los precios de cada vehículo se han obtenido de los sitios web oficiales de cada fabricante [15][39][40], eligiendo en todos los casos la opción de menor coste dentro de cada modelo.

Tabla 14. Precios de los turismos gasolina analizados.

| Marca      | Modelo | Precio      |
|------------|--------|-------------|
| Seat       | León   | 16.000,00 € |
| Seat       | Ibiza  | 11.800,00 € |
| Renault    | Megane | 15.300,00 € |
| Renault    | Clio   | 12.900,00 € |
| Volkswagen | Golf   | 20.400,00 € |
| MEDIO      | MEDIO  | 15.280,00 € |

Fuente: Elaboración propia a partir de las páginas web de las diferentes marcas.

Como se puede observar, el precio medio de los turismos gasolina analizados es de 15280 €.

### 3.2.2.2 Diésel

Los resultados obtenidos para los turismos diésel analizados se muestran en la siguiente tabla. No se encontraron datos acerca del SEAT Ibiza diésel, por lo que se ha utilizado el Dacia Sandero (séptimo en la lista de matriculaciones).

Tabla 15. Ratings EQUA obtenidos para los turismos gasolina.

| Marca      | Modelo  | Unidades Vendidas | Año  | Equa AQ | Equa CO <sub>2</sub> | Equa CO | Equa 100 |
|------------|---------|-------------------|------|---------|----------------------|---------|----------|
| Seat       | León    | 35327             | 2013 | E       | C                    | A++     | 48,2     |
| Dacia      | Sandero | 26794             | 2014 | G       | B                    | A++     | 56,5     |
| Renault    | Megane  | 32148             | 2016 | G       | B                    | A++     | 53,4     |
| Renault    | Clio    | 28873             | 2013 | F       | B                    | A++     | 54       |
| Volkswagen | Golf    | 28527             | 2017 | B       | F                    | A++     | 46,8     |

Fuente: Propia a partir de EQUA Index - Independent real-world driving data.

Nota: El resultado EQUA 100 se expresa en Millas por galón (imperial) de combustible.



Tabla 16. Cifras de emisiones y consumo turismos diésel.

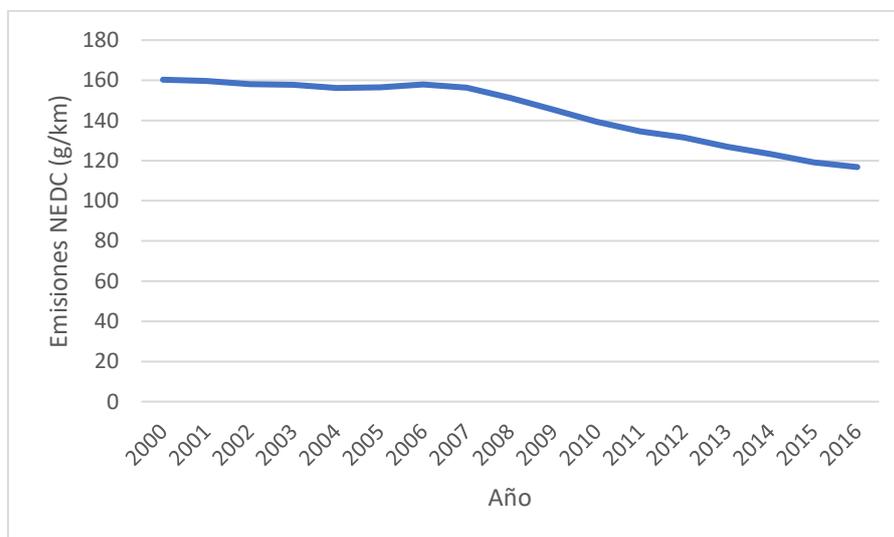
| Marca      | Modelo  | Unidades Vendidas | Año   | CO <sub>2</sub> (g/km) | CO (g/km) | NO <sub>x</sub> (g/km) | Consumo |
|------------|---------|-------------------|-------|------------------------|-----------|------------------------|---------|
| Seat       | León    | 35327             | 2016  | 162,5                  | 0,0625    | 0,375                  | 5,86    |
| Dacia      | Sandero | 26794             | 2014  | 137,5                  | 0,0625    | 0,875                  | 5,00    |
| Renault    | Megane  | 32148             | 2016  | 137,5                  | 0,0625    | 0,875                  | 5,29    |
| Renault    | Clio    | 28873             | 2013  | 137,5                  | 0,0625    | 0,625                  | 5,23    |
| Volkswagen | Golf    | 28527             | 2018  | 237,5                  | 0,0625    | 0,1                    | 6,04    |
| MEDIO      | MEDIO   | MEDIO             | MEDIO | 162,5                  | 0,0625    | 0,57                   | 5,48    |

Fuente: Propia a partir de EQUA Index - Independent real-world driving data.

Nota: Consumo se mide en litros/100km.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el caso de los turismos de gasolina, se estiman las emisiones de los turismos con mayor antigüedad. Los resultados obtenidos, así como los datos a partir de los cuales se obtienen, se presentan a continuación.

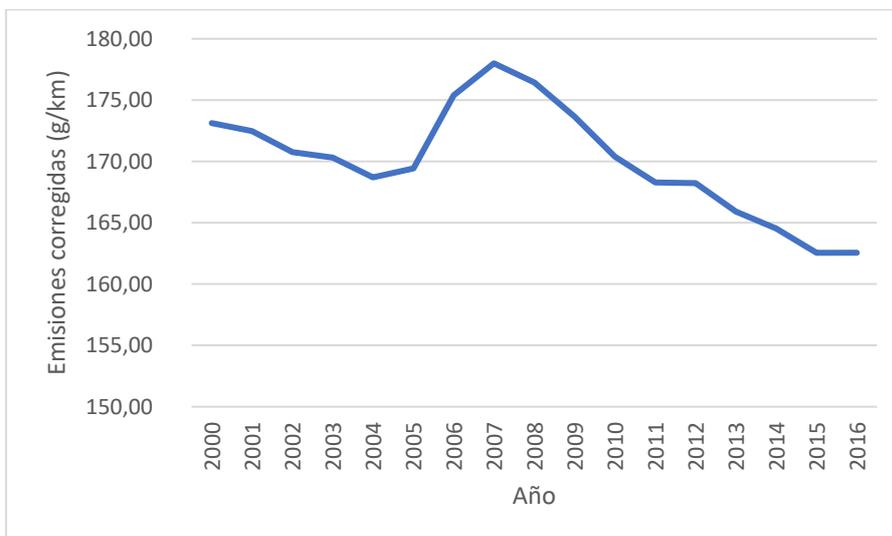
Gráfico 47. Emisiones medias de CO<sub>2</sub> de turismos diésel nuevos. Medidas bajo ciclo NEDC.



Fuente: Propia a partir de EEA.



Gráfico 48. Emisiones medias de CO<sub>2</sub> de turismos diésel nuevos corregidas por la diferencia estimada.

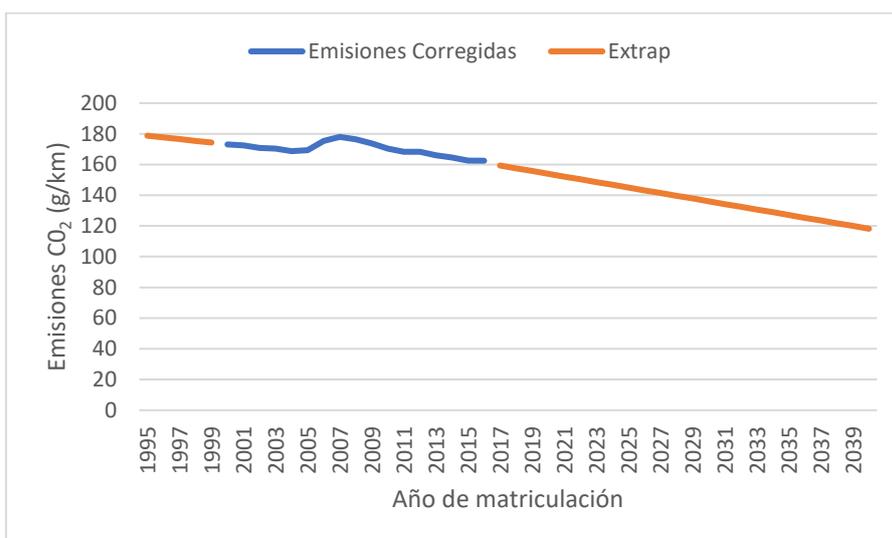


Fuente: Elaboración propia.

Al igual que sucedía en el caso de los turismos gasolina, las emisiones del turismo medio evaluado mediante “Equa Index” y las emisiones ofrecidas por la EEA corregidas para el año 2016 son muy similares. De hecho, en el caso de los turismos diésel, son iguales entre sí, valiendo 162,5 g/km.

A continuación, se presenta una estimación de la evolución en las emisiones de CO<sub>2</sub> realizadas por turismos diésel.

Gráfico 49. Evolución emisiones CO<sub>2</sub> turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia.

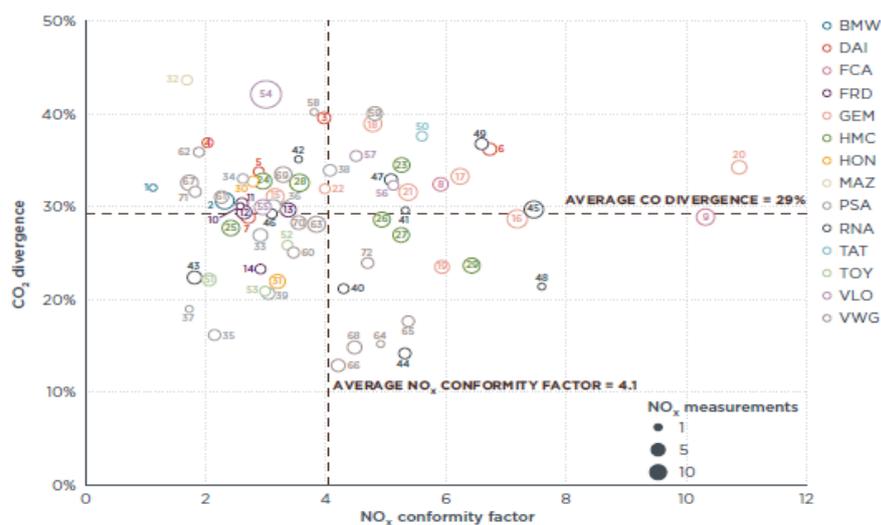
A diferencia del caso de los turismos gasolina, mientras que el CO si se mantiene por debajo de los límites establecidos, el NO<sub>x</sub> emitido por los vehículos diésel es muy superior.

Al igual que sucedía en el caso de los turismos gasolina, destaca lo limitadas que se encuentran las emisiones de CO. En este caso, mientras que el límite impuesto por Euro 6 se sitúa en 1 g/km, las emisiones del vehículo medio estudiado se situaron en 0,0675 g/km.

El turismo medio que se ha calculado en este estudio emite, en condiciones reales, un 612,5% más NO<sub>x</sub> del permitido en la norma Euro 6 y medido en el ciclo NEDC. Ante estos hechos, se recurre a bibliografía específica para conseguir los datos de emisiones reales de los turismos diésel más antiguos.

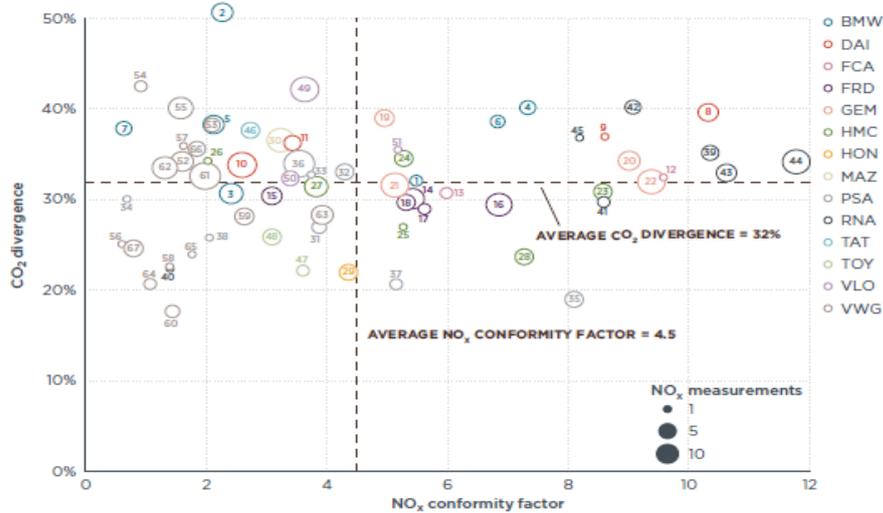
El estudio “Road Tested: Comparative Overview Of Real-World Versus Type-Approval NO<sub>x</sub> And CO<sub>2</sub> Emissions From Diesel Cars In Europe” [37] realiza una comparación entre las emisiones realizadas por vehículos regulados por la norma Euro 5 y Euro 6. Según dicho estudio, el factor medio de conformidad en Euro 5 se situó en 4,1 veces, mientras que para Euro 6 se situó en 4,5 veces.

Ilustración 18. Desviaciones NO<sub>x</sub> respecto de la normativa Euro 5.



Fuente: “Road Tested: Comparative Overview Of Real-World Versus Type-Approval NO<sub>x</sub> And CO<sub>2</sub> Emissions From Diesel Cars In Europe”

Ilustración 19. Desviaciones NO<sub>x</sub> respecto de la normativa Euro 6.



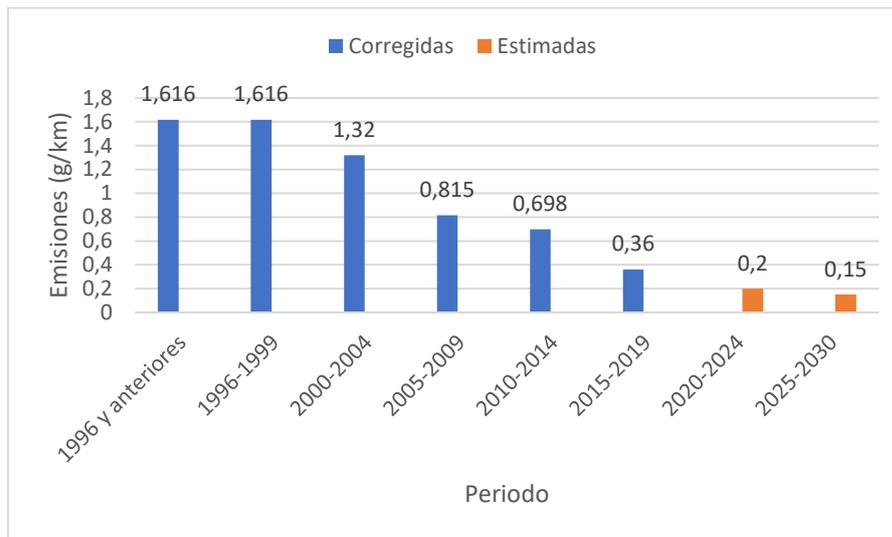
Fuente: “Road Tested: Comparative Overview Of Real-World Versus Type-Approval NO<sub>x</sub> And CO<sub>2</sub> Emissions From Diesel Cars In Europe”

Parece existir una divergencia similar a la producida en el caso del CO<sub>2</sub>, pero significativamente más pronunciada. Tal y como señalaba el estudio sobre las divergencias en las emisiones de CO<sub>2</sub>, las diferencias encontradas han ido aumentando a lo largo del tiempo conforme los fabricantes han ido conociendo mejor cómo aprovechar los defectos del ciclo NEDC, pasando de un 12% en el año 2005 hasta el mencionado 40% actual, aproximadamente 3,3 veces más.

Siguiendo estas premisas, se decide imponer un factor de corrección de 4,5 en las emisiones de NO<sub>x</sub> para la normativa Euro 6 y de un factor 1,4 para la normativa Euro 1. A las normativas intermedias se aplicará un factor de corrección fruto de interpolar los valores anteriores.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> para cada etapa se presentan a continuación. Se incluye una previsión de las emisiones de NO<sub>x</sub> a futuro.

Gráfico 50. Emisiones de NO<sub>x</sub> corregidas de los turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que las estimaciones se han realizado a partir de la tendencia seguida por los valores corregidos.

Al igual que se ha realizado en el caso de los turismos gasolina y del vehículo eléctrico, es de interés conocer el coste para el usuario final. En el año 2016, el coste medio de 1 litro de gasóleo A+ fue, según datos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, de 1,108 €/litro. Si un turismo medio consume 5,48 litros/100km, el coste de recorrer 100km para el usuario final es de 6,07 €/100km.

Como ya se ha mencionado anteriormente, tanto el precio de la gasolina como del diésel en el año 2016 tocó mínimos.

Como en el caso de los turismos de gasolina y eléctricos, se muestran los precios de adquisición de los diferentes modelos de turismos diésel analizados.

Los precios de cada vehículo se han obtenido de los sitios web oficiales los fabricantes [15][39][40][41], eligiendo en todos los casos la opción de menor coste dentro de cada modelo.

Al realizar la media en el coste de los vehículos diésel se elimina el Dacia Sandero por ser un valor extremo y no representativo.



Tabla 17. Precios de los turismos diésel analizados  
(No incluido Dacia Sandero).

| Marca      | Modelo  | Precio      |
|------------|---------|-------------|
| Seat       | León    | 18.000,00 € |
| Dacia      | Sandero | 9.100,00 €  |
| Renault    | Megane  | 16.500,00 € |
| Renault    | Clio    | 12.400,00 € |
| Volkswagen | Golf    | 23.600,00 € |
| MEDIO      | MEDIO   | 17.625,00 € |

Fuente: Elaboración propia a partir de las páginas web de las diferentes marcas.

El precio del turismo diésel medio analizado es de 17625 €.

### 3.3 Comparación

Una vez vistos los diferentes tipos de turismos de forma individualizada, resulta interesante compararlos, para que se pueda observar las ventajas y los inconvenientes de cada uno de ellos.

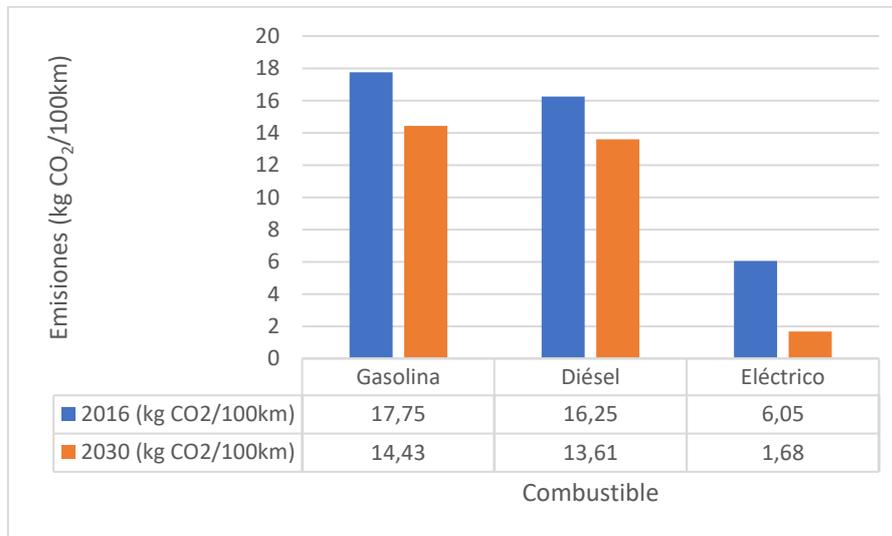
Las comparaciones realizadas para el año 2016 utilizan las características del turismo medio obtenido de cada tipo de tecnología a través de los datos obtenidos de “Equa Index”. Para el año 2030, estas comparaciones responden a las previsiones realizadas, expuestas en las secciones dedicadas a cada tecnología.

En primer lugar, se procede a evaluar la diferencia en cuanto a emisiones producidas por cada 100km recorridos.

Como se ha mencionado anteriormente, las emisiones de los vehículos eléctricos varían en función del *mix* de generación utilizado. El caso que aquí se presenta utiliza los datos del *mix* de generación analizados en el capítulo dedicado al “Sistema Eléctrico en España: Situación Actual”, referente al año 2016.



Gráfico 51. Emisiones GEI por tipo de combustible.  
Años 2016 y 2030.



Fuente: Elaboración propia.

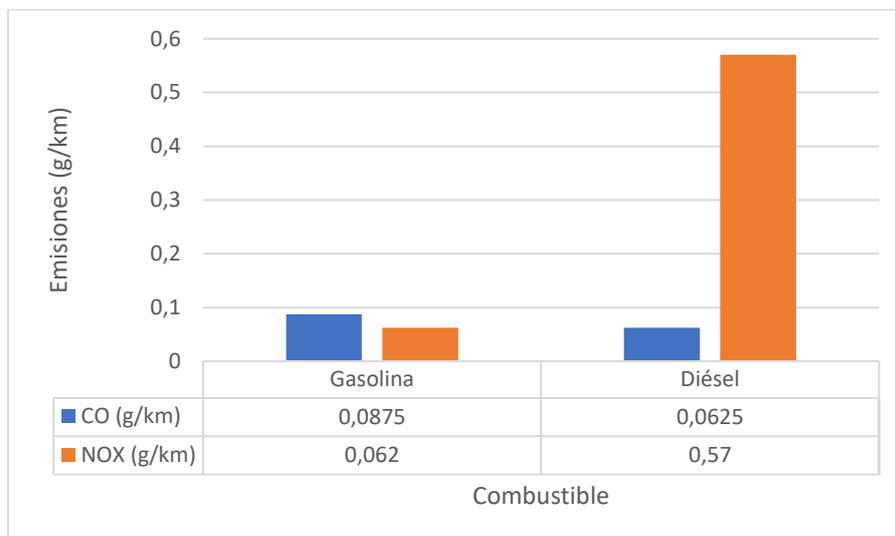
Como se puede observar, en el año 2016, las emisiones de GEI generadas por el funcionamiento de vehículos ICE son aproximadamente 3 veces al asociado al funcionamiento del vehículo eléctrico.

Para el año 2030 se produce una reducción de las emisiones GEI de todas las tecnologías, siendo más acentuado el caso del vehículo eléctrico gracias a la penetración de energías no contaminantes en el *mix* de generación eléctrico.

Sin embargo, la mayor diferencia entre los vehículos ICE y eléctrico reside en las emisiones de contaminantes tóxicos para la salud pues, tal y como se explicó previamente, los vehículos ICE generan las emisiones en el lugar donde funcionan, que por lo general son zonas urbanas con una alta densidad de población, mientras que las emisiones generadas por los vehículos eléctricos se producen en zonas alejadas (allá donde se genere la energía eléctrica) y con más medios para su control, por lo que los impactos sobre la salud humana son mucho menores. De este modo, se pueden despreciar los efectos nocivos sobre la salud en las zonas pobladas causados por las emisiones de contaminantes tóxicos debidas a los vehículos eléctricos. Se presenta, a efectos ilustrativos, las diferencias en las emisiones de CO y NO<sub>x</sub> entre turismos diésel y gasolina.



Gráfico 52. Emisiones contaminantes tóxicos vehículos ICE.  
Año 2016



Fuente: Elaboración propia.

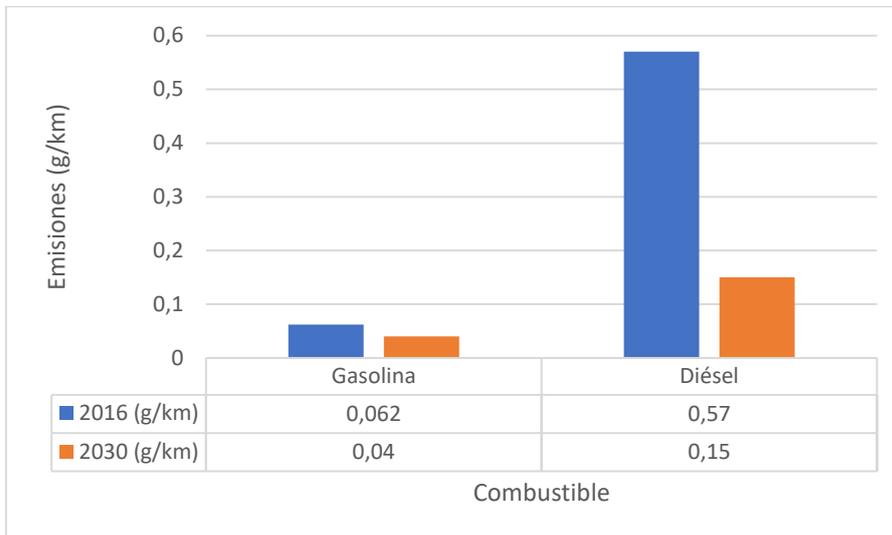
Mientras que las emisiones de monóxido de carbono son similares para ambos tipos de motor, los turismos con motor diésel emiten aproximadamente 10 veces más óxidos de nitrógeno que los que utilizan motores gasolina.

El motivo principal que explica esta diferencia es que, mientras que en un motor de gasolina la mezcla debe ser estequiométrica, el diésel no requiere que la mezcla de aire sea tan precisa para inflamarse. De hecho, un motor diésel aspira todo el aire que puede, trabajando siempre con una mezcla pobre debido al exceso de aire que, por otro lado, es el motivo por el que consumen menos combustible.

Adicionalmente se presentan las diferencias previstas para el año 2030 para el NO<sub>x</sub>. Se añade igualmente la comparación con los niveles de 2016.



Gráfico 53. Emisiones NO<sub>x</sub> por tipo de combustible.  
Años 2016 y 2030.



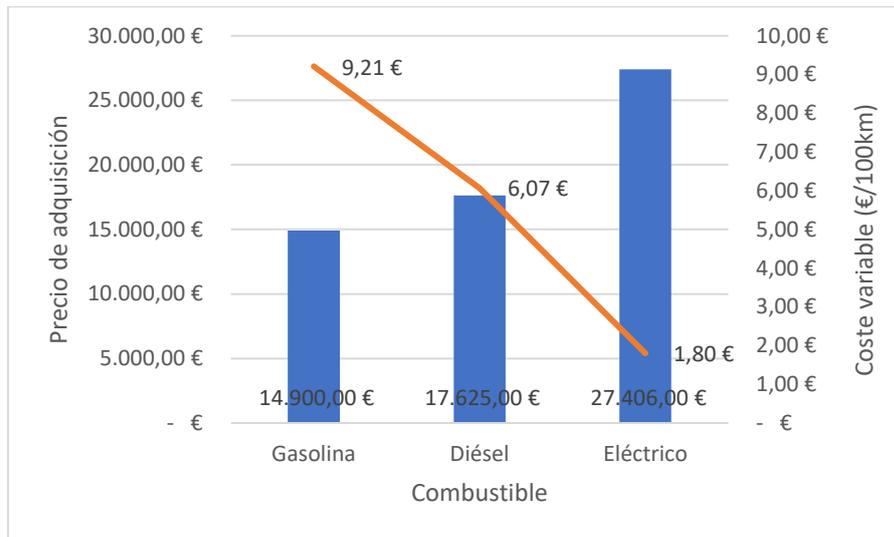
Fuente: Elaboración propia.

Las conclusiones que se obtienen de esta comparación son muy significativas. A pesar de que los turismos diésel presentan actualmente unas emisiones de NO<sub>x</sub> superiores a las permitidas y que la diferencia entre las pruebas en ciclo NEDC y la realidad ha ido aumentando con el tiempo, la tendencia de estas es decreciente, previéndose un descenso superior al 70% para el año 2030.

Otra cuestión importante es el precio. El coste de un vehículo se puede desglosar en coste fijo (la inversión inicial, el precio del vehículo en sí) y coste variable (el coste de operar con el vehículo, como gasto en combustible y mantenimiento o reparaciones). Si bien es cierto que, según el fabricante Renault, el coste en mantenimiento mecánico del vehículo eléctrico es un 42% menor que el de un vehículo ICE, este estudio considerará únicamente los gastos en combustible como gastos variables.



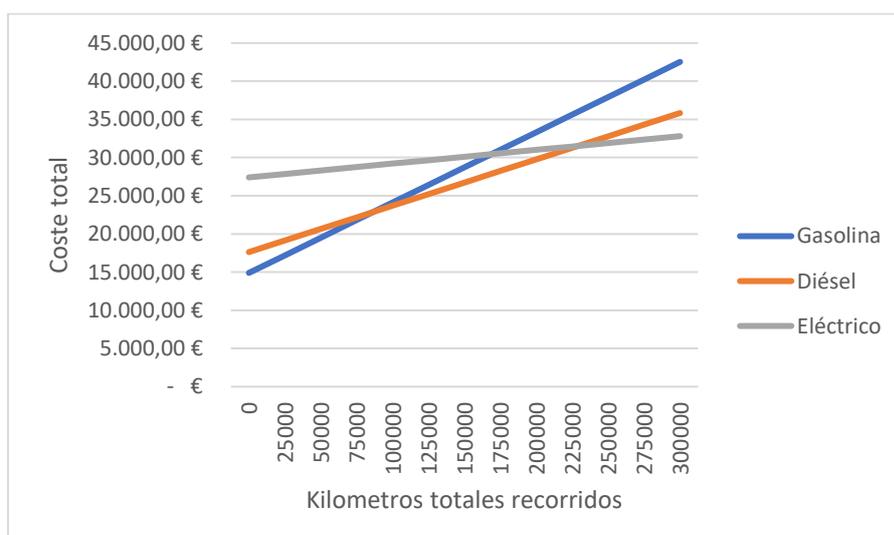
Gráfico 54. Diferencias en los costes de los diferentes tipos de vehículo.



Fuente: Elaboración propia.

En vista de que a mayor coste de adquisición el coste de operación del vehículo es menor, resulta interesante conocer los diferentes tramos de kilometraje realizado para los que es más económico un tipo de vehículo u otro. En la gráfica que se presenta a continuación se consideran precios constantes. Un ejercicio interesante sería el estudio del coste de oportunidad de descapitalizarse en la adquisición de un vehículo, valorando la posibilidad de pagos a plazos que suavizarían los efectos del mayor coste inicial del vehículo eléctrico, pero queda fuera del alcance de este estudio.

Gráfico 55. Evolución del coste total según kilometraje.



Fuente: Elaboración propia.



Se puede observar cómo el turismo gasolina es el más económico hasta los 86,700 km, punto a partir del cual el turismo diésel se vuelve una opción más económica. A partir de los 229,000 km el vehículo eléctrico logra el ser más competitivo económicamente hablando.

Otro dato interesante de analizar es el de la dependencia energética. Según datos facilitados por el IDAE [42], entre 2009 y 2013 la media de autoabastecimiento de productos petrolíferos y gas natural fue del 0,31 y del 0,14% respectivamente, por lo que a efectos prácticos en este estudio se considerará nulo.

Por su parte, según el estudio “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” realizado por Monitor Deloitte, la dependencia energética del *mix* eléctrico no renovable de generación eléctrica en España fue en el año 2015 de 75%. Este considera que se importan el 50% de los consumos de carbón y el 100% de los productos petrolíferos y de gas natural, en línea con lo mencionado en el informe del IDAE. Sin embargo, considera el uranio como producto nacional. Suponiendo que el 100% de la energía renovable no es dependiente del exterior, y que el 40% de la electricidad producida procede de fuentes renovables, en línea con el informe elaborado por REE y que se ha presentado en la sección dedicada al sistema eléctrica en la actualidad, se estima que el 45% del *mix* de generación eléctrico es dependiente del exterior.

Ante estos hechos, se puede afirmar que mientras que un vehículo con motor de combustión interna tiene una dependencia energética del 100% del exterior, un vehículo eléctrico reduce esta dependencia a un 45% en la actualidad.

Según un informe del IDAE, el 42% de la energía final utilizada en España en el año 2015 se destinó al transporte, de la cual el 95% se destinó al transporte por carretera. Según datos del MAPAMA el 66% de las emisiones GEI provocadas por el transporte por carretera se asocian al transporte de pasajeros, de los cuales el 94% se produjo en coches particulares. Debido a la correlación entre emisiones GEI y consumo de combustible, en este estudio se estimará que la cantidad de energía final consumida por el sector de transporte por carretera de pasajeros con coche particular (nuestro caso de estudio) fue en 2015 de aproximadamente el 25% de la energía final, calculado a partir de la concatenación de los anteriores porcentajes.

Teniendo en cuenta que actualmente casi todos los coches particulares son vehículos ICE, si se sustituyera completamente el parque actual por

vehículos eléctricos se lograría reducir la dependencia energética de España con el exterior en un 13,75% aproximadamente.





## 4 El parque de turismos español

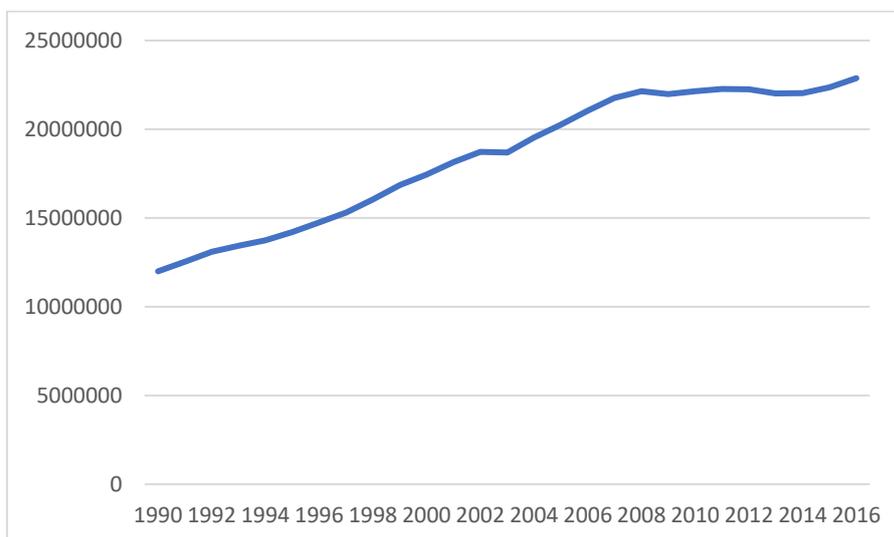
### 4.1 Situación actual

Conocer el parque de turismos en España es de interés capital en este estudio. En el año 2016, según la Dirección General de Tráfico (DGT) [43], el número total de vehículos matriculados en España ascendió a 32,1 millones de vehículos. De ellos, 22,8 millones eran turismos, representando el 71,25% del total, con una tasa de crecimiento del 2,3% durante dicho año. Esto supone una tasa de motorización<sup>24</sup> de 491 vehículos por cada mil habitantes.

Dentro del grupo de los turismos, el 42,9% utiliza gasolina mientras que el restante 57,1% utiliza diésel como combustible. El porcentaje de turismos que utilizan combustibles alternativos se sitúa actualmente en un 0,08% a pesar de haberse visto incrementado en un 38,9% en tan solo un año.

La evolución del número total turismos sigue una tendencia monótona creciente durante los últimos 26 años<sup>25</sup>, si bien es cierto que se nota un estancamiento en los años más duros de la crisis económica, entre los años 2008 y 2014, con una tasa de decrecimiento de 0,52% puntos negativos, lo que supone una reducción media en el número total de vehículos del 0,09% anual, apenas apreciable.

Gráfico 56. Evolución del número total de turismos.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.

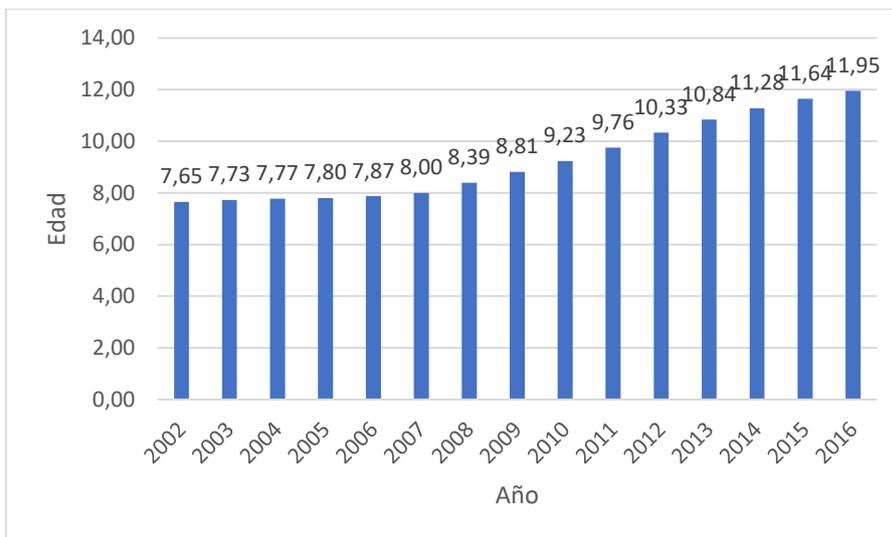
<sup>24</sup> Tasa de motorización = N.º de turismos / 1000 habitantes

<sup>25</sup> Desde que se tienen registros de la DGT.



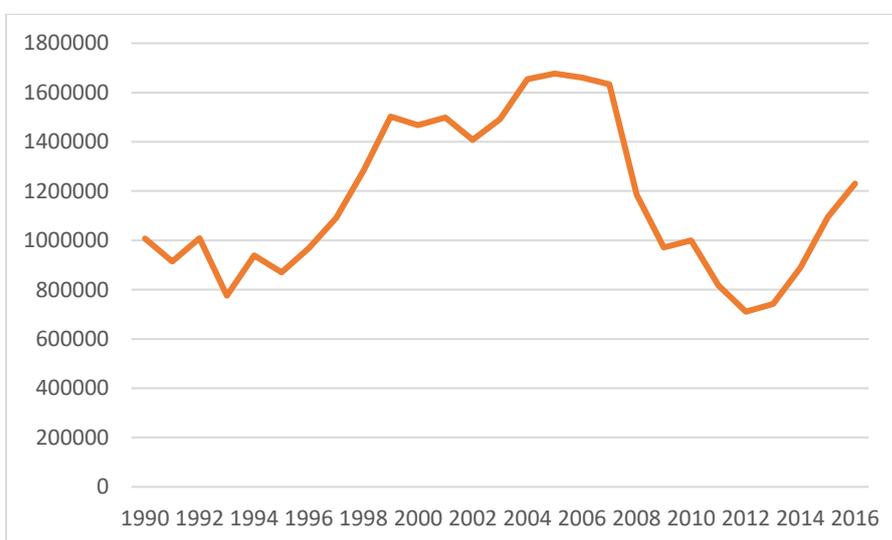
Este hecho, provocado por la caída en el número de matriculaciones, ha dado como resultado un envejecimiento del parque<sup>26</sup>, que ha pasado de una edad media de 8 años en el año 2007 a 11,28 años en el año 2014. Si bien es cierto que la tendencia en el aumento de la edad del parque se ha suavizado este sigue creciendo, siendo en el 2016 de 11,95 años.

Gráfico 57. Evolución edad media parque turismos.



Fuente: Elaboración propia a partir de ANFAC,2016.

Gráfico 58. Número de matriculaciones de turismos por años.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.

Como se puede observar, parece haber una media de matriculaciones en torno a las 1.200.000 matriculaciones anuales, que oscilan en función de la coyuntura económica. En el periodo entre 1990 y 1995 se observa

<sup>26</sup> Datos proporcionados por ANFAC (Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles)



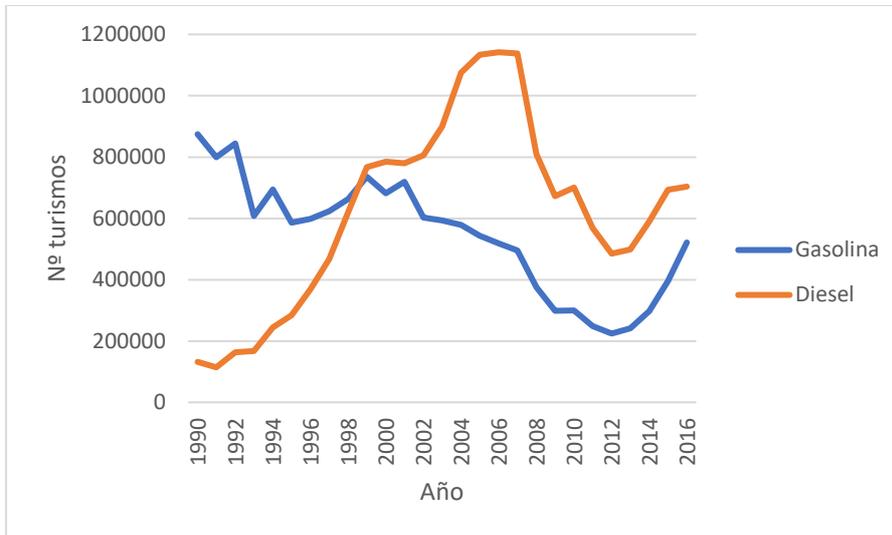
un mínimo en número de matriculaciones. Este se debió a que los países desarrollados se vieron afectados por una crisis económica y financiera originada por el estallido de la burbuja inmobiliaria en Japón, en 1990, y agravada con las tensiones ocasionadas por la Guerra del Golfo. También se observa un pico en las matriculaciones en la época de la burbuja inmobiliaria y la posterior caída con la llegada de la crisis iniciada en 2008.

Por tipo de combustible, cabe destacar que el enorme crecimiento que ha caracterizado a los turismos diésel se está ralentizando en estos últimos años. La razón de esta reducción, según un informe de la agencia de calificación crediticia “Standard & Poor's” (S&P) [44], debe buscarse en las políticas medioambientales de calidad del aire desarrolladas desde las diferentes instancias, tanto a nivel europeo como estatal (véase el caso de la ciudad de Madrid, explicado en sección “Normativa de emisiones”). Tal y como se ha mostrado en la sección dedicada a la comparación entre los vehículos ICE y eléctricos, los vehículos diésel emiten una mayor cantidad de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) que los vehículos que utilizan gasolina como combustible, siendo este muy perjudicial para la salud. Esto ha llevado a los ayuntamientos de grandes ciudades, dónde los niveles de contaminación alcanzan valores muy elevados, a tomar medidas especiales contra este tipo de vehículos. El mencionado informe señala que, en el año 2030, únicamente el 30% de las matriculaciones en la UE serán de vehículos diésel, siendo los países dónde más retrocederá Alemania y España.

Por su parte, los turismos gasolina han recuperado terreno en los últimos años, en parte gracias al retroceso de los turismos diésel. Los turismos que utilizan combustibles alternativos, a pesar de significar un muy reducido porcentaje del parque en la actualidad, están viendo grandes aumentos en los números de matriculaciones, aunque en el último año del que se tienen datos consolidados, el 2016, sufrieron un estancamiento.

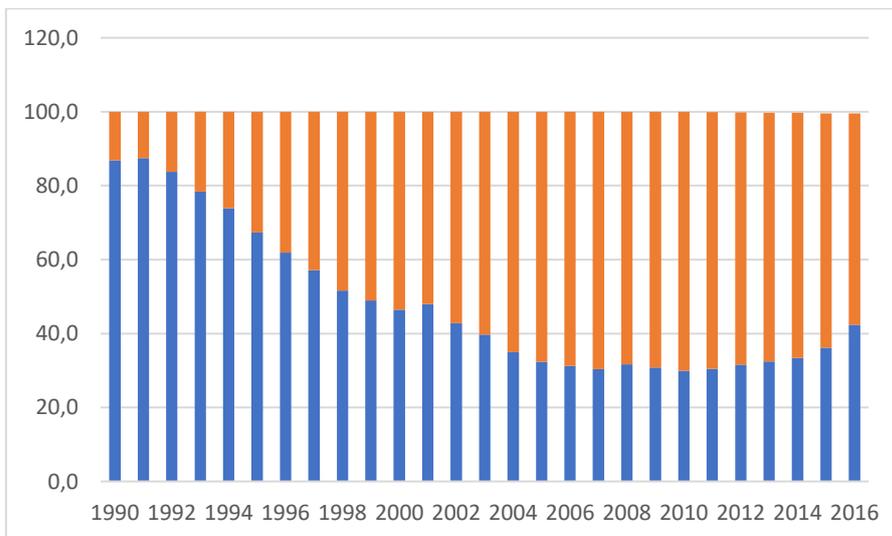


Gráfico 59. Matriculaciones en términos absolutos de turismos gasolina y turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.

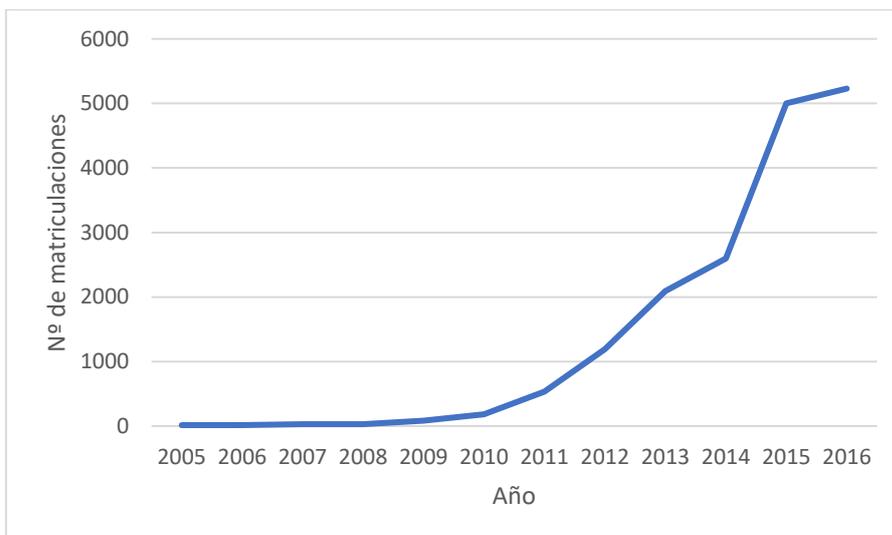
Gráfico 60. Matriculaciones en términos relativos de turismos gasolina y turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.



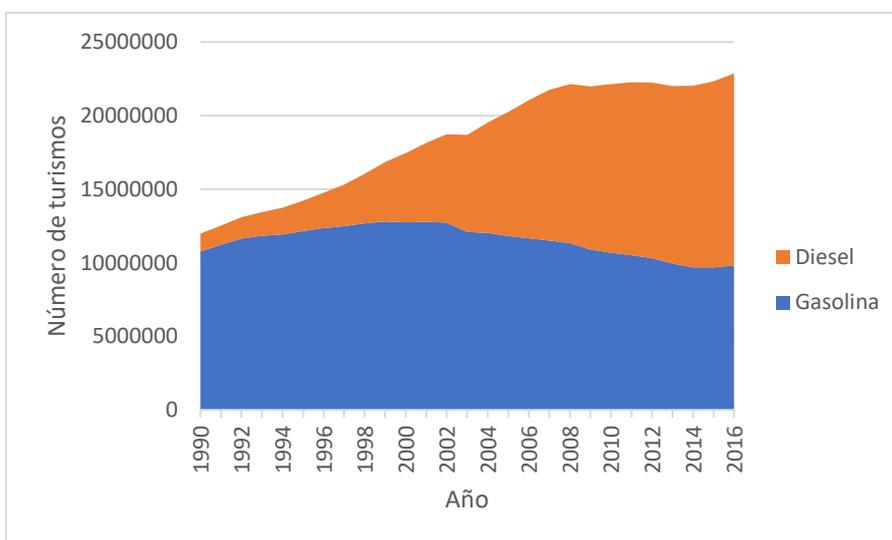
Gráfico 61. Matriculaciones de turismos de otros combustibles.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.

Vista la evolución en las matriculaciones de los turismos según el tipo de combustibles, se presenta la siguiente gráfica<sup>27</sup> donde se puede apreciar la evolución temporal del número total de turismos y la composición de la misma en turismos según el tipo de combustible utilizado.

Gráfico 62. Evolución parque turismos por tipo combustible.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.

<sup>27</sup> En la gráfica se han obviado los vehículos que utilizan otros combustibles por representar una proporción muy pequeña.

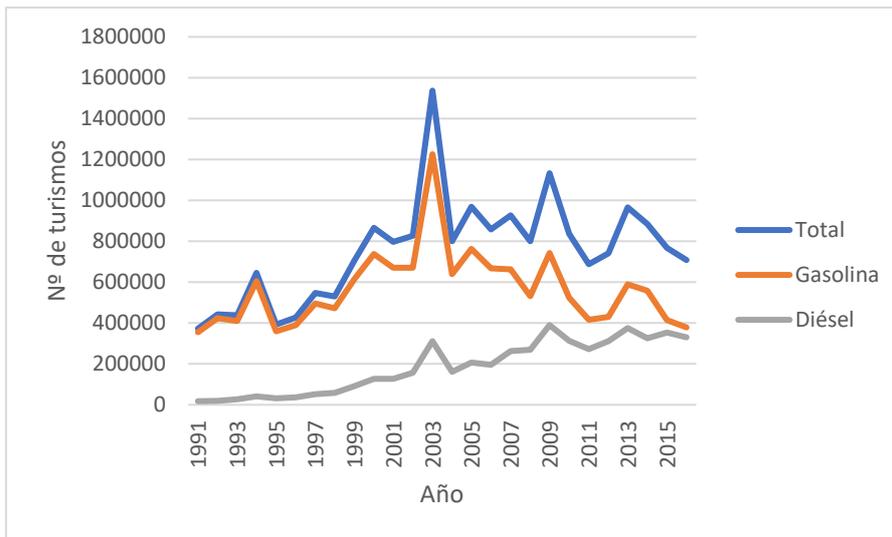


Conocido el número total de vehículos del parque, así como el número de matriculaciones, resulta interesante combinarlos para obtener la cantidad de vehículos retirados mediante la siguiente fórmula<sup>28</sup>:

Ecuación 3. Cálculo de bajas.

$$\text{Vehículos}_x + \text{Matriculaciones}_{x+1} - \text{Vehículos}_{x+1} = \text{Bajas}_{x+1}$$

Gráfico 63. Evolución temporal de bajas de turismos por combustible.



Fuente: Elaboración propia.

Hay que destacar que, a pesar de que las matriculaciones de vehículos diésel han sido mucho mayores a las de gasolina desde el año 1998, la cantidad de vehículos retirados es mucho mayor en el caso de los que utilizan gasolina como combustible. Esto se debe a la tendencia a retirar vehículos de mayor edad, y es que en el año 1991 el 89,8% de los turismos eran gasolina. Sin embargo, como se puede observar, debido a que el número de turismos diésel y gasolina tiende a equilibrarse, también lo hace el número de bajas, y a medida que avance el tiempo, el parque de vehículos tenderá a equilibrar sus edades, por lo que deberán ser factores externos (como las medidas medioambientales en contra del diésel previamente citadas) las que expliquen las diferencias que se den en el futuro.

Es de interés el estudio de la distribución por edades del parque de turismos, así como de las bajas producidas en función del número de años del vehículo.

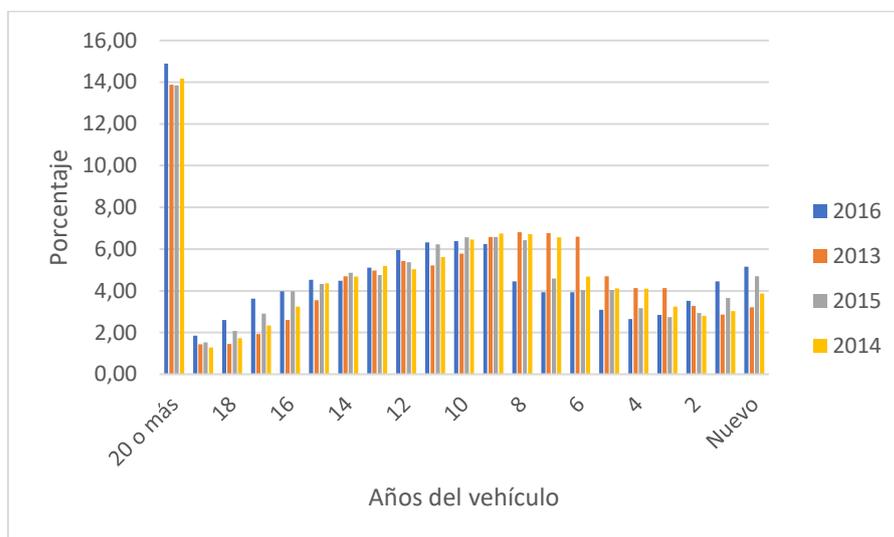
Tal y como se ha comentado, la edad media del parque de turismos se ha incrementado de 8 años en 2007 a 11,95 años en 2016 como

<sup>28</sup> Para entender la fórmula utilizada hace falta destacar que los datos de vehículos para cada año, así como la cantidad de matriculaciones, se registran a día 31 de diciembre de dicho año.



consecuencia del descenso de matriculaciones fruto de la crisis económica. Es por esto por lo que el tramo de antigüedad con mayor concentración de turismos es el de 20 años o más, con un 14,89% en el año 2016.

Gráfico 64. Distribución del parque de turismos por edades.



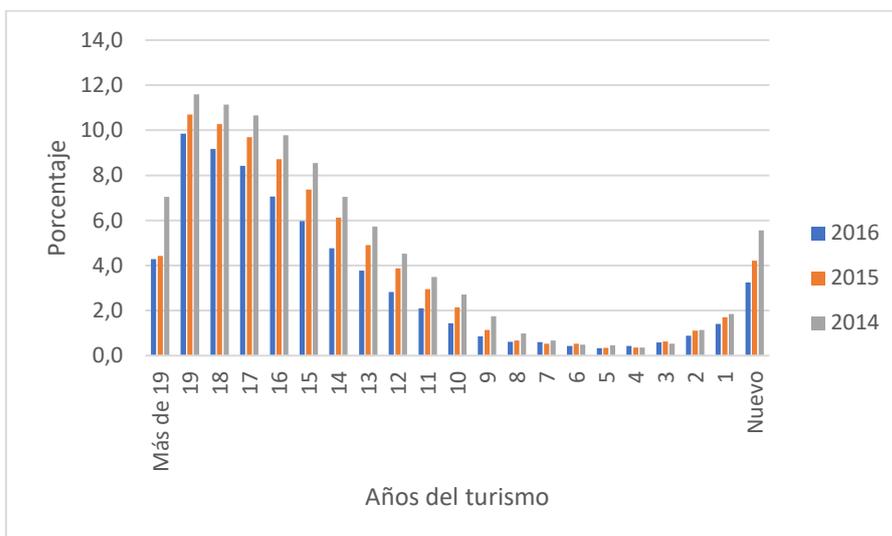
Fuente: Elaboración propia a partir de datos facilitados por la DGT.

A partir de los turismos matriculados en cada año que siguen en funcionamiento, se puede conocer el número de bajas producido en cada edad siguiendo el mismo planteamiento expuesto en el caso de las bajas a nivel agregado (*Ecuación 3. Cálculo de bajas.*).

Los resultados obtenidos son especialmente significativos cuando se representan de forma relativa al número de turismos de dicha edad y al de bajas totales producidas durante dicho año.



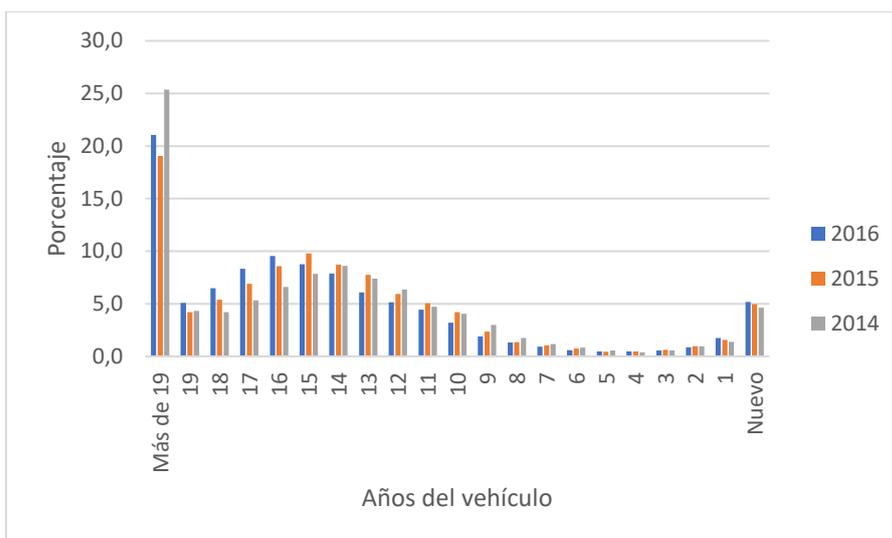
Gráfico 65. Bajas relativas al número de vehículos de dicha edad.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: La suma de los porcentajes de cada año no tiene por qué ser el 100%.

Gráfico 66. Bajas relativas al número total de bajas.



Fuente: Elaboración propia

Nota: La suma de los porcentajes de cada año debe ser 100%.

Analizando conjuntamente las bajas relativas al número total de bajas y las relativas al número de vehículos de la edad a la que se produce la baja, se puede observar como en los primeros años del vehículo el porcentaje de bajas es muy pequeño, aunque destaca el gran número de bajas en los vehículos nuevos, se entiende que debido a la aparición de defectos de fabricación.

En el caso de las bajas relativas al número de vehículos de dicha edad, este porcentaje comienza a crecer progresivamente a partir de los 7 años desde la fecha de matriculación, alcanzando su máximo en vehículos de



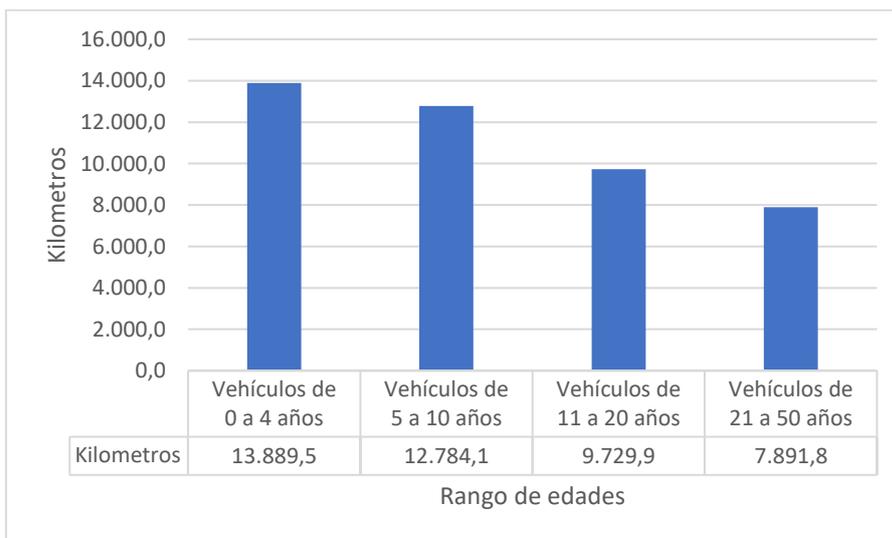
19 años, cuando se retiran entre el 10 y el 12% de los vehículos que llegan a esta edad. Cabe destacar que, contabilizando las bajas de esta forma, el porcentaje de bajas en vehículos de 20 años o más es únicamente del 4 o 6%.

Desde la perspectiva de las bajas relativas al número total de bajas, se observa como el porcentaje de bajas también crece a partir de los 7 años, pero alcanza su máximo en los turismos de 15 años. Esto se debe a que en este punto se junta tanto un alto porcentaje de bajas de turismos de esa edad como un alto volumen de los mismos. Cabe destacar que el grueso de las bajas se concentra en turismos de más de 19 años, pues como se ha visto la mayor parte de los turismos se concentran en este tramo de edad.

Un dato crucial para el correcto desarrollo de este estudio es el del kilometraje medio recorrido por vehículo anualmente, pues permitirá traducir las emisiones por kilómetro recorrido en emisiones totales. Se requiere conocer de forma disgregada en tramos de edad pues, tal y como se ha presentado anteriormente, las emisiones producidas varían en función de la edad del vehículo.

En este aspecto, la “Encuesta de Hogares y Medio Ambiente 2008” realizada por el INE [45] recoge los datos de kilometraje medio anual dividido en 4 tramos de edad. Dichos tramos y la cantidad de kilómetros se recogen en el *Gráfico 67. Kilómetros medios recorridos según antigüedad.*

Gráfico 67. Kilómetros medios recorridos según antigüedad. INE

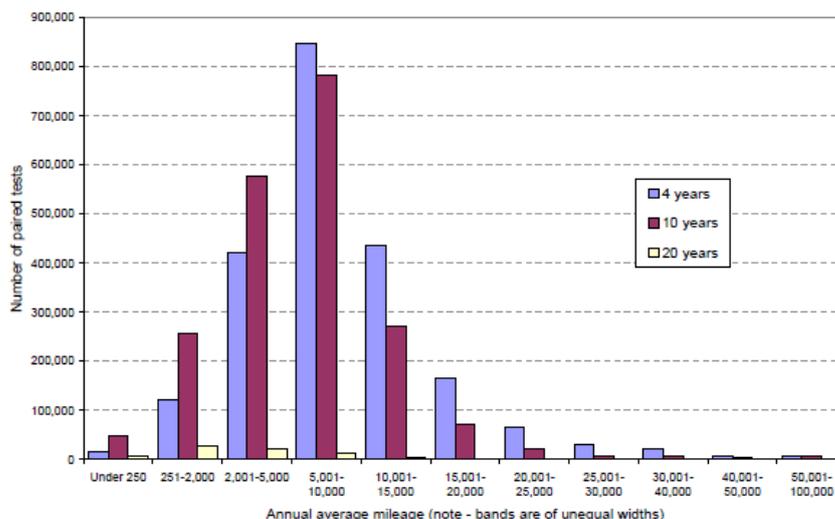


Fuente: Propia a partir de INE.

Sin embargo, debido a la cuestionable fiabilidad de las encuestas, así como a la lejanía temporal de la misma (10 años a fecha de elaboración del estudio), se decide indagar otras fuentes de información.

En España, desde el año 2013, al realizar la ITV uno de los datos que se emiten en el informe es el de los kilómetros que tenía el vehículo. Sin embargo, debido a la protección de datos, esa información no se puede facilitar a cualquiera y tampoco se trabaja con ella realizando informes globales [46]. Por el contrario, en Reino Unido sí se utiliza el equivalente a la ITV española para realizar informes sobre el kilometraje medio anual de los vehículos mediante la diferencia en el kilometraje del vehículo en pruebas consecutivas, que se realizan anualmente para vehículos de más de 3 años. Si bien es cierto que la lectura del cuentakilómetros no es obligatoria, es una práctica habitual que se realiza en el 95% de los casos, por lo que el tamaño de la muestra se puede considerar suficiente. Los datos del último informe publicado [47], que data de 2013, se presentan a continuación.

Gráfico 68. Distribución de frecuencias de las millas realizadas por vehículos según su antigüedad. MOT tests.

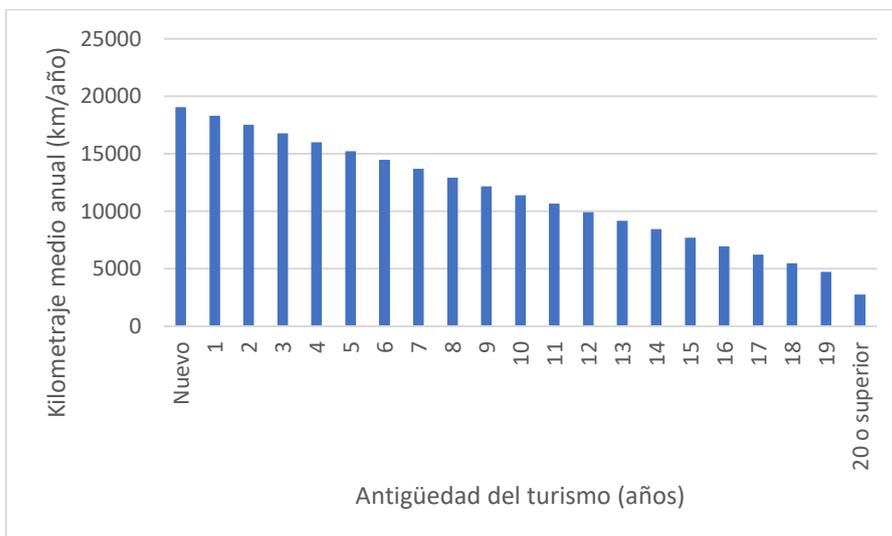


Fuente: Informe “Analysis of vehicle odometer readings recorded at MOT tests, 13 June 2013”.  
 Nota 1: Notar que los datos de distancia recorrida se expresan en millas, no en kilómetros.

A partir de la distribución se puede calcular la media para cada edad. Los datos de kilometraje para las edades intermedias corresponden a interpolaciones realizadas entre los datos de las edades presentadas en la gráfica anterior. Para una antigüedad inferior a 4 años se ha extrapolado a partir de la pendiente de la recta de interpolación realizada entre 4 y 10 años. Para el rango de edad de 20 años o superior se ha tomado un factor de corrección con el objetivo de tener en cuenta que hay vehículos con mayor antigüedad a 20 años que harán un inferior número de kilómetros.



Gráfico 69. Kilometraje medio anual según antigüedad. MOT (Reino Unido)



Fuente: Propia a partir del Informe “Analysis of vehicle odometer readings recorded at MOT tests, 13 June 2013”.

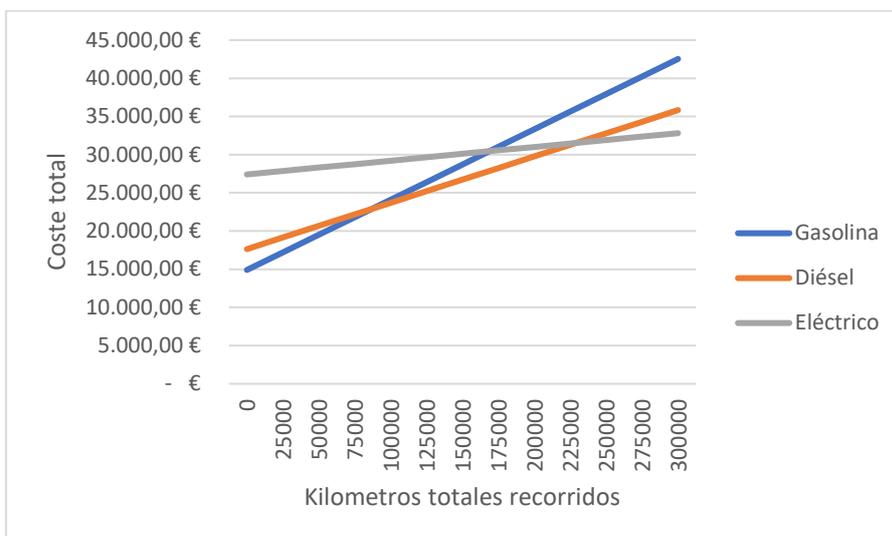
En este estudio se utilizarán los últimos datos de kilometraje presentados, referentes al informe elaborado por el Ministerio de Transportes inglés.

Adicionalmente, es conocido que existe una diferencia entre el kilometraje medio realizado por los turismos diésel y los turismos gasolina. Sin embargo, a pesar de la búsqueda de dichas diferencias, no se ha logrado encontrar datos, por lo que se ha optado por realizar una estimación de dichas diferencias a partir de una suposición de comportamiento racional, desde el punto de vista económico, del consumidor.

Tal y como se presentó en *Gráfico 55. Evolución del coste total según kilometraje.*, existen diferentes tramos de kilometraje para los que sale más económica la adquisición de un tipo de tecnología u otra.



Gráfico 70. Evolución del coste total según kilometraje.



Fuente: Elaboración propia.

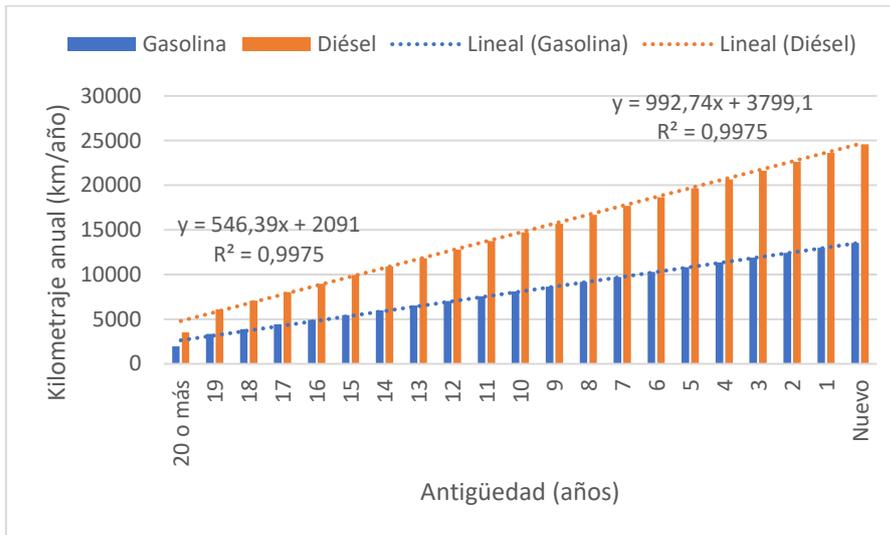
Se puede observar cómo el turismo gasolina es el más económico hasta los 86.700 km, punto a partir del cual el turismo diésel se vuelve una opción más económica. A partir de los 229.000 km el vehículo eléctrico logra el ser más competitivo económicamente hablando.

Se supondrá que la media de las personas que compran un turismo diésel realicen una cantidad total de kilómetros durante la vida útil del vehículo de 157850 km, media del tramo en el cual el turismo diésel es más competitivo, y que las personas que compran un turismo gasolina realizan 86700 km a lo largo de la vida útil, correspondiendo con el máximo de kilómetros para los que un turismo gasolina es más económico, en un intento de contabilizar a aquellas personas que compran un turismo gasolina por gusto, aunque económicamente les fuera más rentable comprar un turismo diésel. La edad media del parque de turismos español, según datos facilitados por ANFAC, fue de 11,95 años en el año 2016.

Juntando ambos datos se estima que el kilometraje medio de un turismo gasolina debiera ser 7255 km/año, mientras que el de un turismo diésel de 13209 km/año. Esto supone una media de 10232 km/año y una desviación del 29% de cada tecnología respecto a la misma.

Los resultados de kilometraje medio anual una vez aplicadas estas desviaciones se presentan a continuación.

Gráfico 71. Kilometraje medio anual por tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, existe una clara relación lineal entre el número de kilómetros realizados y la antigüedad del vehículo.

## 4.2 Previsión de evolución del parque

Vista la situación actual y la evolución pasada del parque, en este apartado se hace una estimación de la composición del parque en una perspectiva de aproximadamente 20 años, hasta el año 2040, a partir de los registros históricos previamente explicados. Para ello, se ha elaborado un modelo en Excel que permite obtener la distribución de turismos tanto por antigüedad como por tipo de combustible utilizado para los diferentes años en función de la penetración final de vehículo eléctrico y de la forma en la que esta se efectúa, modelada a partir de una función sigmoide.

Se ha elegido esta función como la más representativa para la introducción del vehículo eléctrico pues se supone que existirá una sustitución gradual del vehículo convencional por eléctrico en los próximos años.

Ecuación 4. Función sigmoide

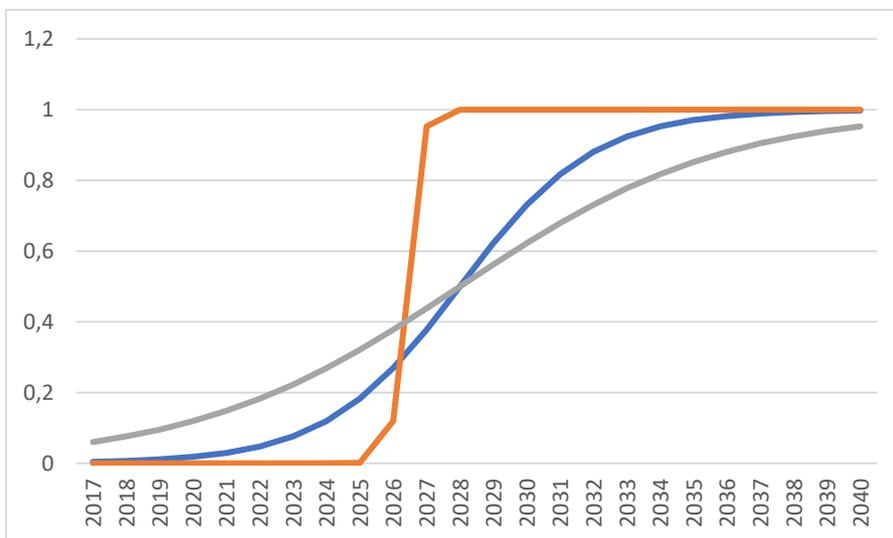
$$f(\text{año}) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{\text{año} - 2040 + 2016}{C1} + C2}}$$

La constante C1 permite variar la pendiente de la función, usado para modelar el ritmo de variación del VE una vez ha comenzado. La constante C2 permite trasladar la función, lo que deja modelar el momento en el que empieza a producirse la penetración del VE. El



motivo por el que se hace la semisuma de los años extremos y se le resta al año en el que se quiere calcular la situación del parque es para centrar la función.

Ilustración 20. Ejemplos de sigmoides

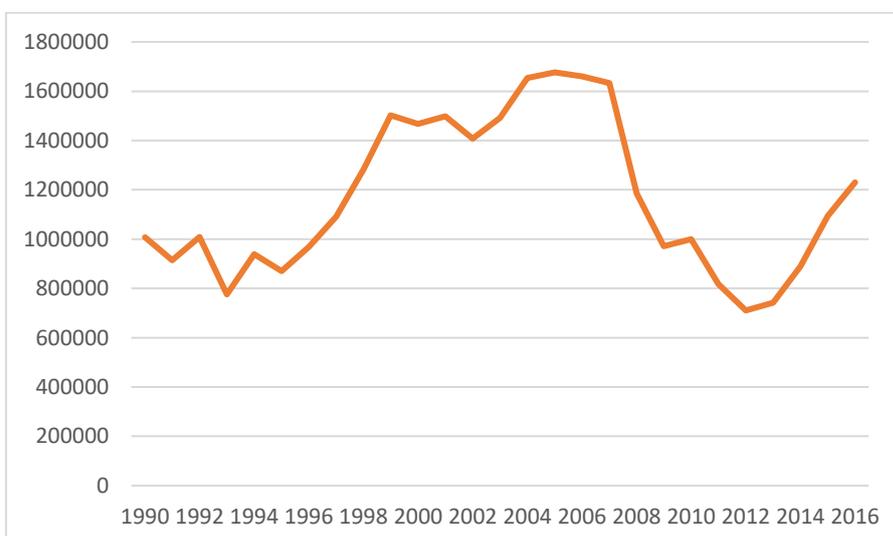


Fuente: Elaboración propia.

Como hipótesis adicionales, en este estudio se ha supuesto:

1. El número de matriculaciones de turismos se mantiene constante e igual a la media de los últimos 26 años. Esta decisión se ha tomado debido a que, tal y como se ha explicado previamente, el número de matriculaciones sigue un patrón de oscilaciones en función del ciclo económico que permite realizar una buena estimación en el largo plazo a partir de la media.

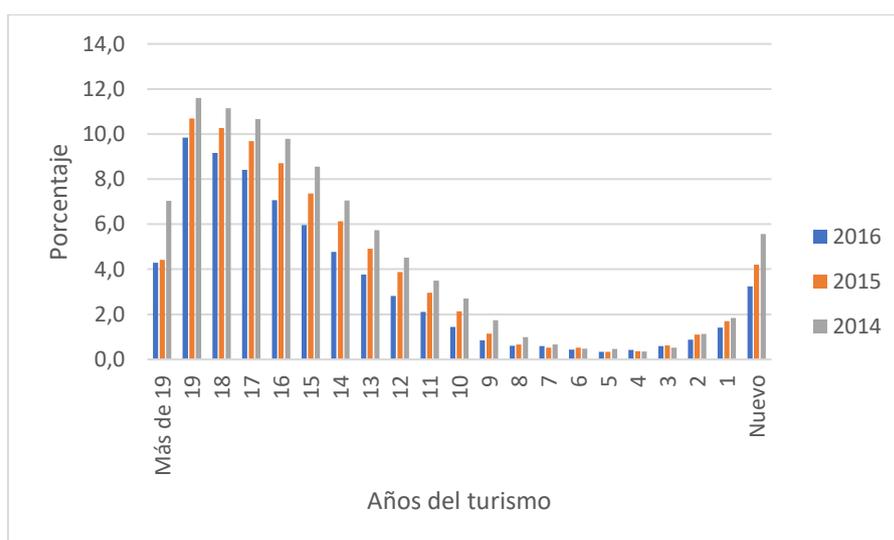
Gráfico 72. Número de matriculaciones de turismos por años.





2. Las matriculaciones se reparten de la siguiente forma:
  - a. Vehículo eléctrico: Resultado de aplicar la función sigmoide al número de matriculaciones totales.
  - b. Gasolina: Al número de matriculaciones restantes se le aplica un 46,6%, media aritmética de las matriculaciones de turismos gasolina durante los últimos 26 años.
  - c. Diésel: Siguiendo la misma dinámica que en el caso de los turismos con motor gasolina, se aplica un 53,4% sobre el número de matriculaciones restantes, por ser la media de las matriculaciones de turismos diésel en los años en los que se tienen registros.
3. El número de vehículos eléctricos en el primer año de estudio, 2016, se supone nulo en base a el porcentaje residual que representa sobre el total de turismos.
4. El porcentaje de bajas que se produce en cada tramo de antigüedad se considera constante e igual a la media de los porcentajes de los últimos 3 años, 2014-2016. Este criterio se basa en que el patrón seguido es muy similar durante los años analizados. De hecho, como se puede observar, los años con mayor número total de bajas (véase 2014), estas se reparten de forma proporcional entre los diferentes tramos de antigüedad, manteniéndose la forma de la gráfica. Este porcentaje de bajas se aplica a cada tipo de vehículo por separado.

Gráfico 73. Bajas relativas al número de vehículos de dicha edad.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: La suma de los porcentajes de cada año no tiene por qué ser el 100%.



Con el objetivo de comprobar la fiabilidad de las suposiciones tomadas, y por tanto del modelo, se efectúa un análisis de las previsiones y estimaciones realizadas por diferentes entidades.

Según el informe “Five trends transforming the Automotive Industry” elaborado por PwC [48] y centrado en el parque europeo, el transporte va a sufrir un cambio disruptivo que va a hacer que varíe el paradigma actual del sector. Según sus predicciones, el coche del futuro será eléctrico, autónomo, compartido, conectado con el exterior y continuamente actualizado. Conforme a estas premisas aseguran que, a pesar de que el kilometraje por persona y por vehículo aumentará, al incrementarse la utilización de los vehículos, el número total de vehículos en el parque se reducirá en un 23% en 2030.

Por su parte, Monitor Deloitte en el informe “Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050” [10], publicado en 2017 y con alcance a nivel español, coincide con PWC en apuntar hacia el cambio de paradigma en el sector transporte. Sin embargo, remarca la existencia de una gran incertidumbre en torno al grado de colectivización y digitalización que se puedan producir, lo que los lleva a desarrollar 4 posibles escenarios en función del grado en el que se desarrollen. Señalan que, en un “escenario continuista”, en el que los niveles de colectivización y digitalización se mantienen en los valores actuales, el número de turismos debería ascender hasta los 24 millones en el año 2050 para satisfacer el estimado aumento del kilometraje total, estimación en la que coinciden con PWC. En los otros tres escenarios el número total de turismos del parque se reduce conforme avanza el grado de colectivización y digitalización, pues aumenta el nivel de utilización de los vehículos, que actualmente se estima que no llega al 5% del tiempo, permitiendo satisfacer este aumento de kilometraje total con una flota menor. Esta reducción llega a alcanzar el 55% en el caso más extremo.

De los escenarios aquí desarrollados el que más se asemeja al presentado en este estudio es el “escenario continuista” desarrollado por Monitor Deloitte, pues se basa en dar continuidad a las tendencias actuales del sector, tal y como se ha realizado en este estudio. El resto parecen alejarse de las suposiciones aquí tomadas.

Sin embargo, a pesar de todo lo anterior y salvo por ciertos aspectos como el ritmo de remplazo de vehículos, que dará como resultado un parque más joven, se obtendrán unos resultados muy similares en términos de emisiones, que es el objetivo de este estudio. El motivo radica en que, mientras que en el modelo desarrollado en este estudio el kilometraje por vehículo se presupone constante e igual a los datos



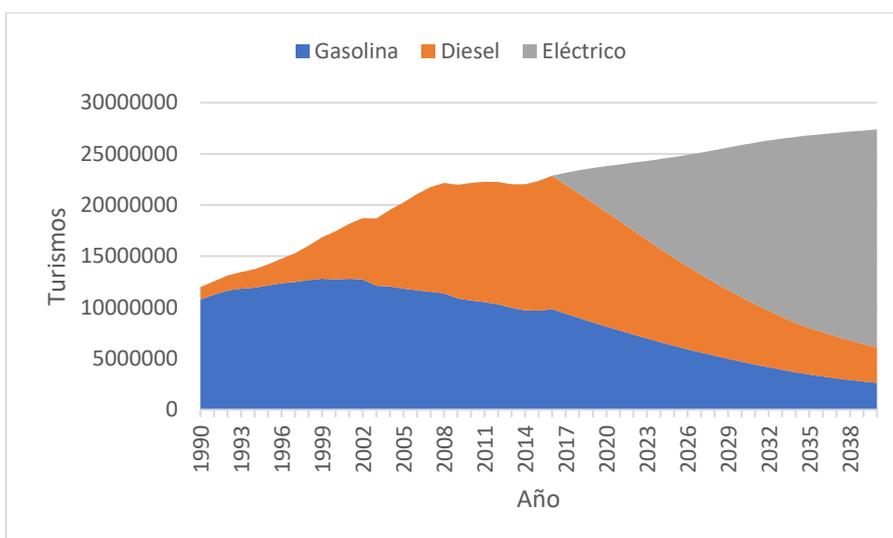
valores obtenidos a partir de los informes emitidos por el Ministerio de Transporte de Reino Unido, todos los escenarios disruptivos suponen que el kilometraje por vehículo se verá incrementado como consecuencia de las nuevas formas de transporte. De este modo, el kilometraje total será igual en ambos modelos y, por tanto, a igual distribución en el parque, también lo serán el consumo de energía y las emisiones producidas.

Una vez se ha dado validez al modelo desarrollado, el objetivo es definir y analizar diferentes escenarios en cuanto al nivel y la forma de la penetración del vehículo eléctrico.

#### 4.2.1 Escenario “Límite teórico”

Es interesante conocer el supuesto en el que la penetración del vehículo eléctrico fuera del 100% con alcance inmediato, pues representa el límite teórico.

Ilustración 21. Parque de turismos. Límite teórico.

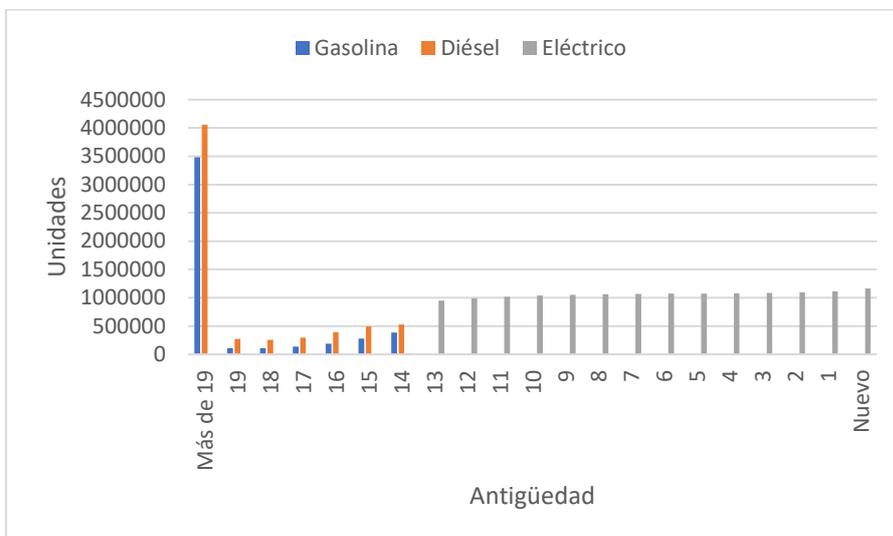


Fuente: Elaboración propia.

En este supuesto, se lograría en 2030 un 57,53% de VE sobre el total de turismos en circulación y un 77,81% en el año 2040. La flota total de turismos en este último año alcanzaría los 27,4 millones de unidades, lo que supone un aumento respecto al total de turismos en la actualidad de un 19,7%.



Ilustración 22. Distribución por antigüedad del parque de turismos. Escenario "Límite teórico". Año 2030.



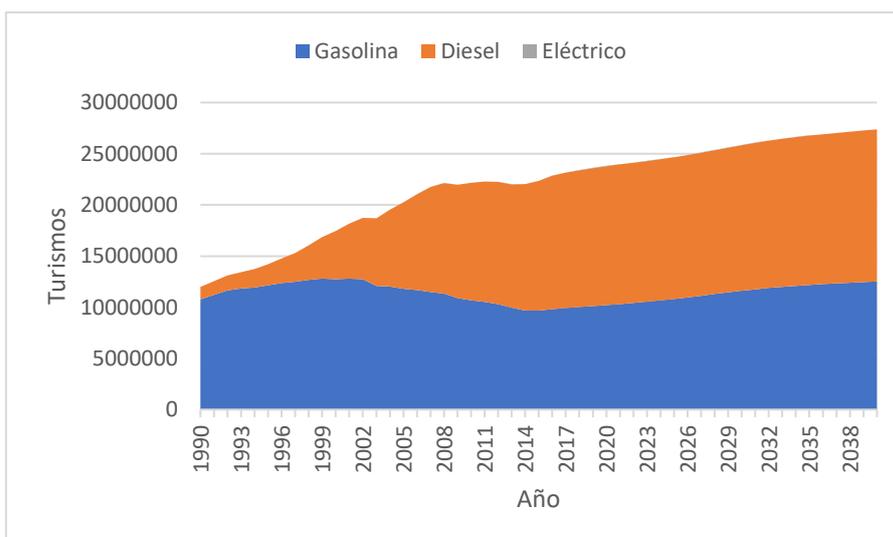
Fuente: Elaboración propia.

Al ser la penetración del 100% desde el año 2016, en el año 2030 los turismos ICE que permanecen en el parque tienen todos 14 años o más.

#### 4.2.2 Escenario “No inclusión”

Al igual que resulta interesante conocer la situación del parque para el máximo de penetración posible de vehículo eléctrico, es interesante conocer que sucedería en el supuesto de que dicha penetración no se produjera.

Ilustración 23. Parque de turismos. Escenario “No inclusión”.



Fuente: Elaboración propia.

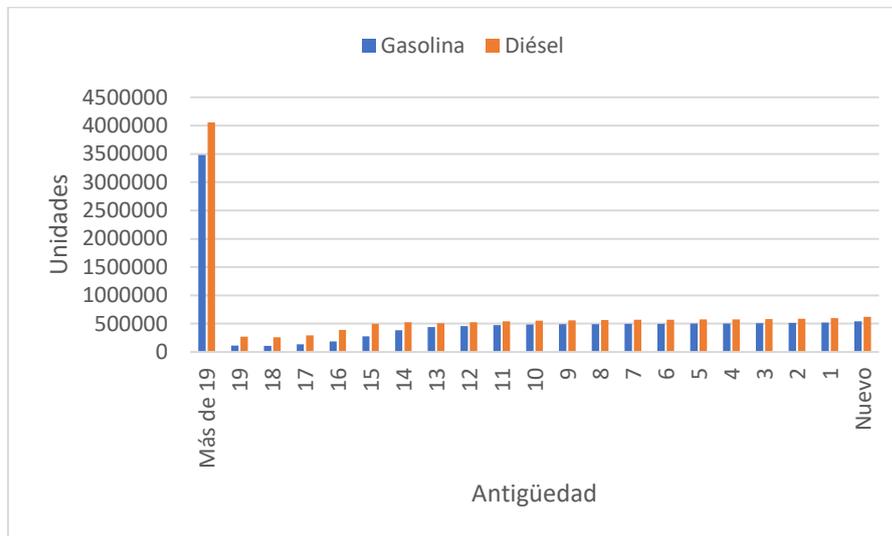
Es importante señalar que el escenario sigue una dinámica continuista, donde el turismo diésel es el más vendido, con el 53% de las



matriculaciones.

Se presenta igualmente la distribución por edades para el año 2030.

Ilustración 24. Distribución por antigüedad del parque de turismos. Escenario "No inclusión". Año 2030.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Escenario “Mayor verosimilitud”

Una vez visto el límite teórico del modelo, es importante buscar un escenario verosímil. Para ello, se analizará, igual que se hizo para comprobar la viabilidad de las suposiciones tomadas, otros estudios realizados.

El informe “Five trends transforming the Automotive Industry” diferencia vehículos con motores de combustión interna, híbridos y puramente eléctricos. Tal y como se ha expuesto con anterioridad, este estudio se centrará en los vehículos eléctricos de batería (BEV) cómo el único tipo de vehículo eléctrico, puesto que son los únicos que no presentan emisiones locales (aquellas asociadas a su funcionamiento en el lugar dónde se está usando). De esta forma, se tratarán de forma agrupada las suposiciones para vehículos híbridos y puramente eléctricos. Según el mencionado estudio, las ventas conjuntas de vehículos híbridos y eléctricos supondrán el 95% de las ventas totales en el año 2030.

El informe “Fueling Europe’s Future: How the transition from oil strengthens the economy” [49], resumen de un informe anterior elaborado por Cambridge Econometrics y de alcance europeo, señala que, considerando lo sucedido hasta ahora, las mejoras tecnológicas tardan entre 10 y 15 años desde que empiezan a utilizarse hasta que logran un desarrollo masivo. En base a este criterio, las estimaciones



expuestas son mucho más conservadoras que en el caso del informe de PWC. El informe otorga un 50% de las ventas a vehículos ICE en el año 2030, contra el 5% que estima el informe de PWC. Como curiosidad destacar que este informe da una visión a más largo plazo que el elaborado por PWC, llegando a dar un pronóstico para el año 2050. En el año 2040, último año de interés para este estudio, estima que la penetración entre vehículo híbrido y puramente eléctrico será del 100%.

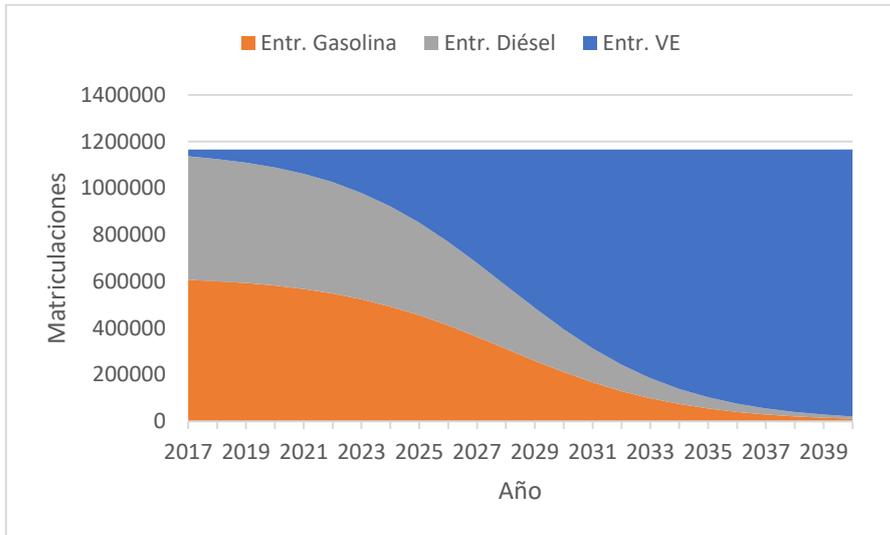
Monitor Deloitte en el informe “Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050” establece el nivel de penetración de vehículo eléctrico como aquel que permite cumplir con los objetivos de descarbonización de la Unión Europea para los diferentes escenarios. Tal y como se ha comentado, el escenario que presenta mayor similitud con el desarrollado en este estudio es el “escenario continuista”, de modo que será el que se analice. Deloitte prevé que, en el año 2030, el nivel de penetración del vehículo eléctrico en las ventas debe ser de un 50-60% y el número de VE en el parque debe situarse en torno a los 5 millones de unidades. El objetivo en el año 2040 lo establece en un 90% de penetración y alrededor de 15 millones de unidades.

Como puede observarse, los informes de Deloitte y Cambridge son más conservadores a la hora de considerar la penetración del VE, retrasando la plena penetración en las ventas al año 2040, mientras que PWC estima que ya en el año 2030 el porcentaje de PHEV+BEV en las ventas será del 95%.

A partir de este análisis, en este estudio se estima que se alcanzará un nivel de penetración de un 95-100% en el año 2040 y de aproximadamente un 60% en el año 2030. El ritmo de avance de vehículo eléctrico se considerará progresivo, sin sufrir escalones pronunciados.

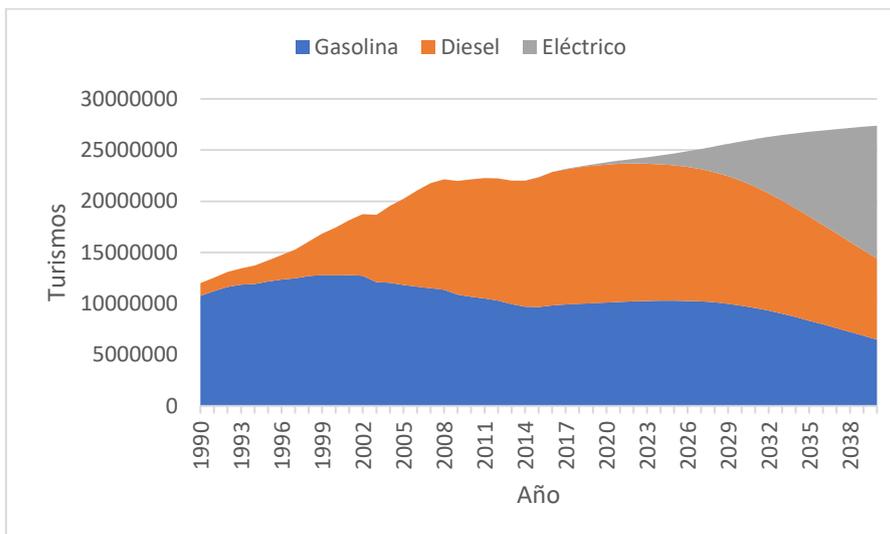


Ilustración 25. Matriculaciones escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 26. Parque de turismos. Escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.

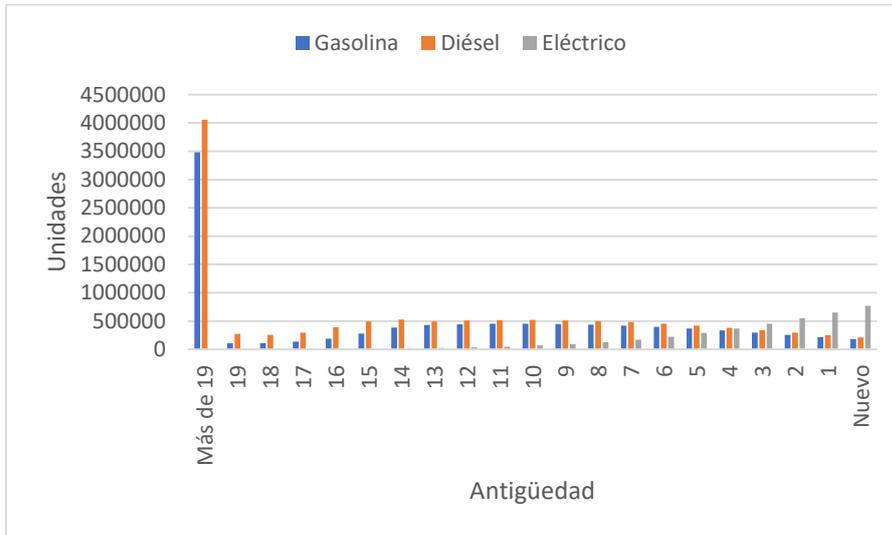


Fuente: Elaboración propia.

El número de unidades de vehículo eléctrico en el año 2030 se sitúa alrededor de los 3,9 millones mientras que para el año 2040 la cifra aumenta hasta los 13 millones de unidades.

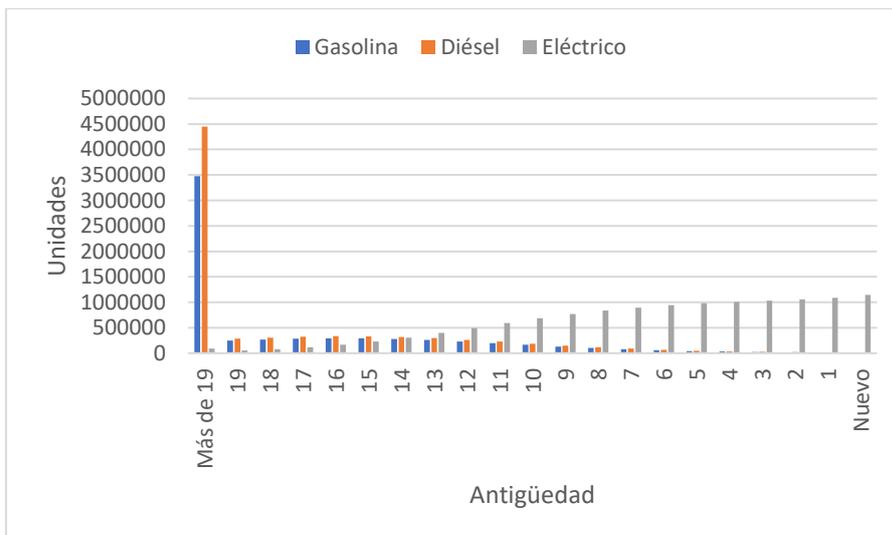
Es importante conocer la distribución de antigüedades del parque de vehículos para los años 2030, por coincidir con una fecha marcada por la UE como un hito de descarbonización, y 2040, por ser el alcance límite del estudio.

Ilustración 27. Distribución por antigüedad del parque de turismos. Escenario "más probable". Año 2030.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28. Distribución por antigüedad del parque de turismos. Escenario "más probable". Año 2040.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, en el año 2040, el parque de turismos ICE está muy envejecido debido a la falta de nuevas matriculaciones.



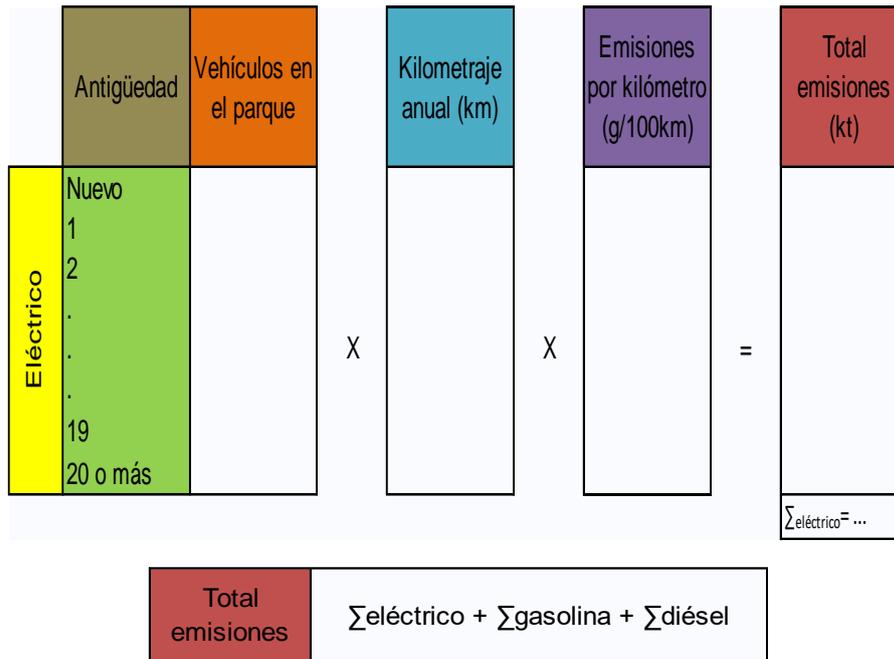
## 5 Contaminación en el transporte.

En esta sección se realizará una estimación de las emisiones totales producidas por los turismos en España, tanto en la actualidad como en un futuro a medio plazo, año 2030. El objetivo es conocer la influencia que sobre el ecosistema y la salud de las personas vaya a tener la introducción del vehículo eléctrico en el parque de turismos español.

Las variables utilizadas, así como la relación entre ellas **para cada año** calculado, se muestran a continuación de forma gráfica. Se expone, a modo ilustrativo, el ejemplo de cálculo de los turismos diésel para el año 2016.

|        | Antigüedad | Vehículos en el parque | Kilometraje anual (km) | Emisiones por kilómetro (g/100km) | Total emisiones (kt)             |   |
|--------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| Diésel | Nuevo      | 678496                 | 24596                  | 162,5                             | 2713                             |   |
|        | 1          | 648336                 | 23607                  | 162,5                             | 2488                             |   |
|        | 2          | 544821                 | 22618                  | 164,5                             | 2028                             |   |
|        | .          |                        |                        |                                   |                                  |   |
|        | .          |                        |                        |                                   |                                  |   |
|        | 19         | 192092                 | 6114                   | 176,6                             | 207,4                            |   |
|        | 20 o más   | 537975                 | 3547                   | 177,7                             | 339,1                            |   |
| X      |            |                        |                        |                                   | X                                | = |
|        |            |                        |                        |                                   | $\sum_{\text{diésel}} = 33661,9$ |   |

|          | Antigüedad | Vehículos en el parque | Kilometraje anual (km) | Emisiones por kilómetro (g/100km) | Total emisiones (kt)             |   |
|----------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| Gasolina | Nuevo      |                        |                        |                                   |                                  |   |
|          | 1          |                        |                        |                                   |                                  |   |
|          | 2          |                        |                        |                                   |                                  |   |
|          | .          |                        |                        |                                   |                                  |   |
|          | .          |                        |                        |                                   |                                  |   |
|          | 19         |                        |                        |                                   |                                  |   |
| 20 o más |            |                        |                        |                                   |                                  |   |
| X        |            |                        |                        |                                   | X                                | = |
|          |            |                        |                        |                                   | $\sum_{\text{gasolina}} = \dots$ |   |



Igualmente, se presentan las ecuaciones que relacionan dichas variables.

$E_{xij}$  = Emisiones contaminante  $x$ , turismo con combustible  $i$ , antigüedad  $j$

$K_{ij}$  = Kilometraje medio de un turismo con combustible  $i$  y antigüedad  $j$

$V_{ij}$  = Numero de turismos con combustible  $i$  y antigüedad  $j$

$n$  = tipos de combustible {gasolina, diésel, eléctrico}

$m$  = antigüedad {nuevo, 1, ..., más de 20}

$ET_x$  = Emisiones totales contaminante  $x$  { $CO_2$ ,  $NO_x$ }

$$ET_x = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m E_{xij} * K_{ij} * V_{ij}$$

Cabe destacar que el kilometraje medio anual de los vehículos está asociado a la antigüedad y el tipo de combustible y se supone que esta característica no cambia a lo largo del periodo de estudio, de modo que dos turismos del mismo tipo de combustible realizarán los mismos kilómetros cuando tengan la misma antigüedad, independientemente de que esto ocurra en 2016 (año origen) o en 2030.

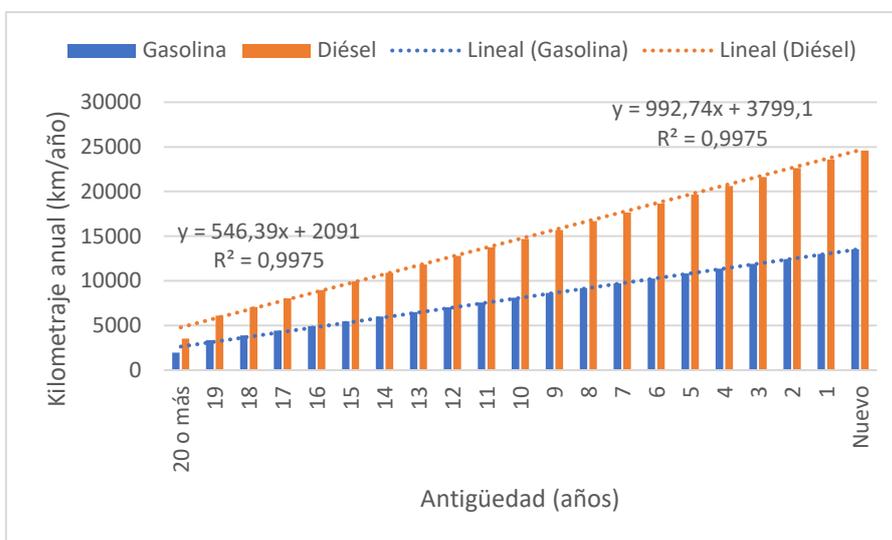
Al carecer de información relativa a los patrones de funcionamiento del vehículo eléctrico, se supondrá que el kilometraje medio anual de los mismos, según su antigüedad, para el año 2030 será igual a los valores expuestos en el informe “Analysis of vehicle odometer readings recorded at MOT tests” [46], sin realizar ninguna modificación a los mismos.



Los valores utilizados para las emisiones de cada tipo de contaminante según combustible y antigüedad y los valores de turismos que conformen el parque corresponden a los obtenidos en las secciones “Medios de transporte” y “El parque de turismos español” respectivamente. Igualmente, estos datos se presentarán en los Anexos indicados en cada sección con la intención de facilitar la comprensión y búsqueda de los mismos por parte del lector.

A continuación, se expone, a modo recordatorio, la distribución del kilometraje según combustible y antigüedad.

Gráfico 74. Kilometraje medio anual por tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

## 5.1 Ajuste del modelo

El Sistema Español de Inventario (SEI), vinculado al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), elabora anualmente tanto el “Inventario Nacional de Contaminantes Atmosféricos” [50] como el “Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero” [1].

Ambos informes tienen como objetivo evaluar el cumplimiento de los compromisos adquiridos por España en materia de emisiones, ya sean de contaminantes atmosféricos o de GEI. Adicionalmente, tal y como se menciona en la página web ministerial “son la base para la elaboración de políticas y medidas de mitigación y para la valoración de su efectividad en la consecución de los objetivos”.

El objetivo de este capítulo es utilizar sendos informes para ajustar el modelo expuesto con anterioridad, presumiendo una elevada fiabilidad, pues ha sido elaborado siguiendo las directrices del “Framework



Convention on Climate Change” de las Naciones Unidas, que cuenta con el respaldo de multitud de países.

De este modo se utilizarán como referencia, sirviendo de “patrón” con el que medir la precisión del modelo utilizado en este estudio.

A partir de ellos, se calcularán las desviaciones, si existen, que presente el modelo. Una vez conocida dicha diferencia, se obtendrá el factor de corrección del modelo, diferenciando por tipo de contaminante.

Una vez conocido dicho factor, suponiendo que las desviaciones que genere en el futuro sean proporcionales a las que arroja en el presente, servirá para estimar las emisiones en el año 2030.

### **5.1.1 Gases de Efecto Invernadero**

El Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero se centra en el estudio de gases de efecto invernadero directo<sup>29</sup> por fuentes antropogénicas y su absorción por sumideros.

Los gases de efecto invernadero estudiados son: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Sin embargo, dentro del sector transporte, la incidencia relativa del CO<sub>2</sub> es tan importante que permite despreciar los efectos del resto de gases mencionados, pudiéndose identificar el CO<sub>2</sub> con el CO<sub>2</sub>-eq. De hecho, de los 81082 Gg de CO<sub>2</sub>-eq emitidos en el año 2016, 80140 Gg se deben a la emisión de CO<sub>2</sub>.

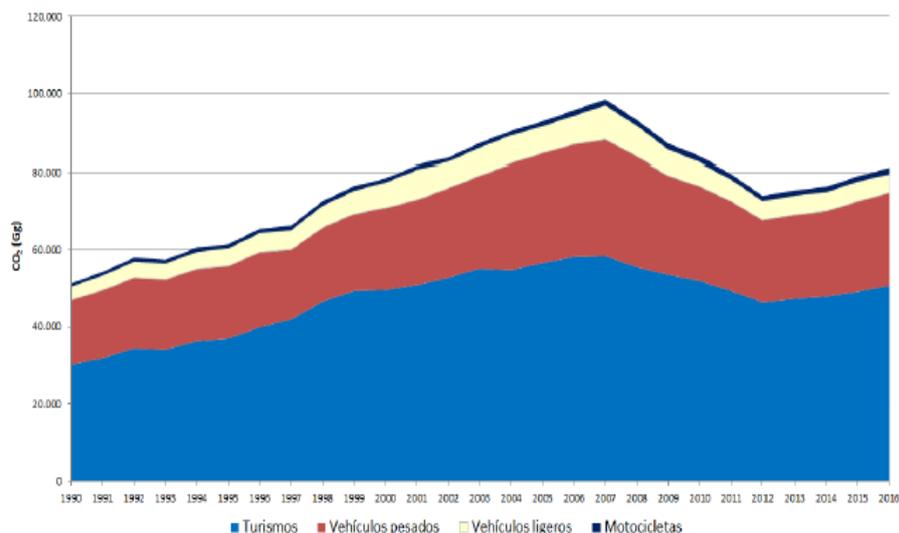
Dentro del sector transporte, cabe destacar que la mayor parte de las emisiones son producidas por turismos, representando más del 60% de las emisiones totales.

---

<sup>29</sup> Los gases de efecto invernadero directo son aquellos que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. Por su parte, los gases de efecto invernadero indirecto son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman en gases de efecto invernadero directo.



Ilustración 29. Evolución de las fuentes de emisión de CO<sub>2</sub>-eq en el transporte por carretera.



Fuente: “Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 2016”, MAPAMA.

A nivel global, se aprecia un crecimiento sostenido hasta el estallido de la crisis económica del año 2007, punto en el que comienza a descender hasta el año 2012, donde experimenta un repunte y una tendencia creciente que llega a la actualidad.

Aterrizando en el subgrupo de los turismos, objeto de estudio en este informe, podemos observar como la mayor parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> se deben a la circulación de vehículos diésel, a pesar de emitir menos CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido. El motivo radica en la diferencia de vehículos diésel y gasolina que conforman el parque, así como en el kilometraje medio anual de cada tipo de vehículo, superior para los diésel.

Tabla 18. Emisiones GEI. MAPAMA

| GEI Y FUENTES DE GENERACIÓN | EMISIONES       |                 |                  |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                             | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
|                             | (kt)            |                 |                  |
| Total de turismos           | 50090,95        | 1,63            | 1,70             |
| Gasolina                    | 12826,48        | 1,52            | 0,17             |
| Diésel                      | 37122,77        | 0,11            | 1,53             |

Fuente: Traducción propia a partir de las tablas adjuntas al “Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 2016”, MAPAMA.

Como se puede observar, tal y como se comentó para el sector transportes en su conjunto, en el caso de los turismos la influencia del



CO<sub>2</sub> es tan grande que permite despreciar los efectos del resto de GEI emitidos.

Una vez conocidas las emisiones de GEI estimadas por el MAPAMA, se procede a calcular las emisiones de GEI, identificando las emisiones GEI con las de CO<sub>2</sub>, a través del modelo expuesto al comienzo de esta sección.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados de emisiones por tramos de antigüedad se muestran en el “Anexo I. Tablas de cálculo de emisiones de GEI”.

Tabla 19. Emisiones totales GEI: modelo vs. MAPAMA

| MODELO                   | FUENTES DE GENERACIÓN |          |          |
|--------------------------|-----------------------|----------|----------|
|                          | Gasolina              | Diésel   | Total    |
|                          | (kt)                  |          |          |
| Emisiones totales modelo | 11253,80              | 33661,95 | 44915,74 |
| Inventario (MAPAMA)      | 12826,48              | 37122,77 | 49949,25 |
| Diferencia               | -12%                  | -9%      | -10%     |
| Factor corrección        | 1,14                  | 1,10     | 1,11     |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, los resultados arrojados por el modelo desarrollado en este estudio son aproximadamente un 10% inferiores a las emitidas desde instancias oficiales.

Se decide utilizar factores de corrección disgregados por combustibles, en vez del agregado, con la intención de afinar los resultados. De esta manera, se usará un factor de 1,14 para las emisiones GEI de turismos gasolina y de 1,1 para las de los turismos diésel.

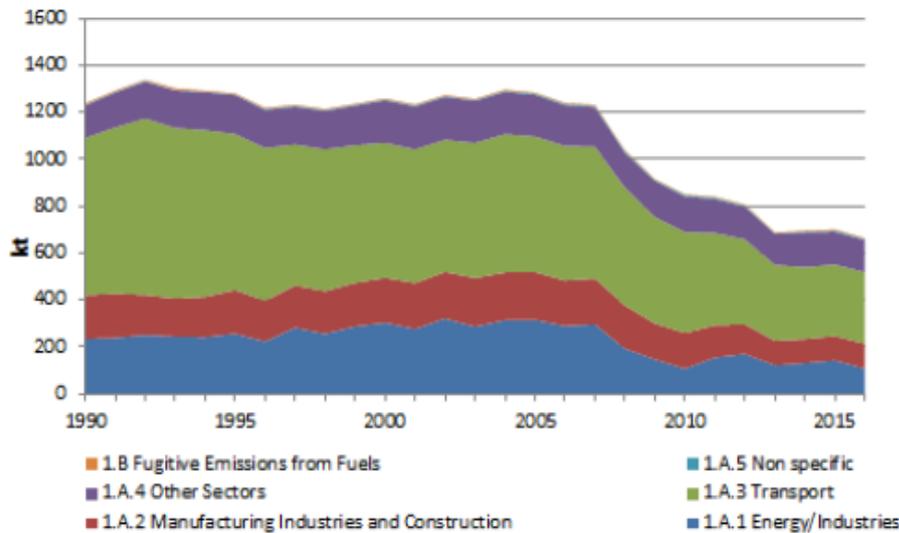
### 5.1.2 Contaminantes Atmosféricos

En el Inventario Nacional de Contaminantes Atmosféricos se estiman anualmente las emisiones a la atmósfera de: óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), partículas, metales pesados y algunos Contaminantes Orgánicos Persistentes.

Sin embargo, de todos los contaminantes aquí expuestos, son el NO<sub>x</sub> y el CO los que más relacionados están con el sector transporte. A continuación, se presenta la evolución que ha sufrido las emisiones de NO<sub>x</sub> y CO entre los años 1990 y 2016.

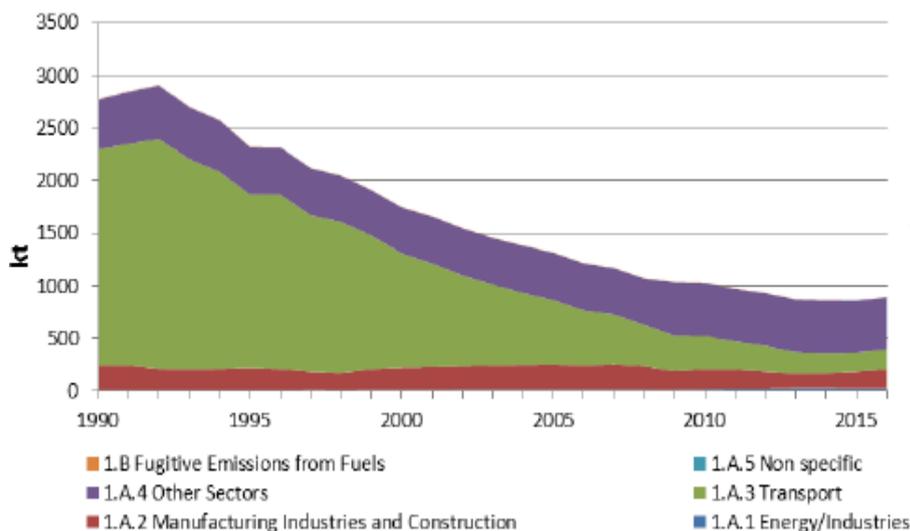


Ilustración 30. Evolución emisiones de NO<sub>x</sub> por sectores de actividad. 1990-2016



Fuente: “Inventario de Contaminantes Atmosféricos, 2016”, MAPAMA

Ilustración 31. Evolución emisiones de CO por sectores de actividad. 1990-2016



Fuente: “Inventario de Contaminantes Atmosféricos, 2016”, MAPAMA

Como se puede observar, durante los años 90 la mayor parte de las emisiones de estos contaminantes se debían al sector transporte. Sin embargo, las emisiones de CO, en consonancia con lo visto durante el estudio de los vehículos ICE (véase la sección “Los vehículos ICE en España”), han sido controladas y hoy es un problema residual.

Es por este motivo que es el NO<sub>x</sub> es el que mayor interés suscita y será, en consecuencia, el analizado en mayor detalle en este estudio.



El motivo radica en que, tal y como se ha comentado previamente, los vehículos diésel presentan unas emisiones muy altas de este contaminante, que es peligroso para la salud, y cuyo control presenta muchas dificultades.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> asociadas al sector transporte fueron, en el año 2016, de 321,69 kt. De ellas, los turismos representaron el 47%, exactamente 151,471 kt. A diferencia del caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, donde se dividían las emisiones de turismos en función del combustible utilizada, en este caso se ofrece el dato agregado, sin diferenciar entre turismos diésel y gasolina. Sin embargo, por las características de las emisiones de los turismos diésel y gasolina se intuye que más del 90% de las emisiones procederán de turismos diésel.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados de emisiones por tramos de antigüedad se muestran en las tablas adjuntas al “Anexo II. Tablas de cálculo de emisiones de NO<sub>x</sub>. Año 2016”.

Destacar que el total de emisiones de NO<sub>x</sub> expuestas como “Inventario (MAPAMA)” se han calculado como suma de N<sub>2</sub>O (GEI, que por tanto aparece en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero que representa menos del 1% del total de emisiones de NO<sub>x</sub>) y NO<sub>2</sub> (contaminante atmosférico expuesto en el Inventario de Contaminantes Atmosféricos).

Tabla 20. Emisiones totales NO<sub>x</sub>: modelo vs. MAPAMA

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 8,41                  | 166,24 | 174,64 |
| Inventario (MAPAMA)      | N. A                  | N. A   | 153,17 |
| Diferencia               |                       |        | 14%    |
| Factor corrección        |                       |        | 0,88   |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el modelo arroja unas emisiones de NO<sub>x</sub> un 14% superiores. A diferencia de las emisiones GEI, en el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub> no se dispone de los datos desgregados por tipo de combustible, de modo que se usará un factor sobre las emisiones agregadas de ambos tipos de tecnología.

**A modo resumen, se recuerda que se utilizarán unos factores correctores de 1,14 y 1,1 para los turismos gasolina y diésel**



respectivamente en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> y un factor de 0,88 para el total de emisiones de NO<sub>x</sub>.

## 5.2 Previsiones a futuro: Año 2030

Una vez ajustado el modelo, el objetivo es realizar una estimación de las emisiones producidas en el futuro, bajo los escenarios de evolución de parque de turismos presentados en la sección “Previsión de evolución del parque”.

### 5.2.1 Gases de Efecto Invernadero

#### 5.2.1.1 Escenario “Límite Teórico”

A continuación, se expone un resumen de los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados pormenorizados de emisiones, divididos por tramos de antigüedad, se muestran en las tablas adjuntas al “Anexo III. Tablas de cálculo de emisiones GEI. Año 2030.”.

Tabla 21. Emisiones totales GEI año 2030. Escenario “Límite teórico”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |          |           |          |
|--------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|                          | Gasolina              | Diésel   | Eléctrico | Total    |
|                          | (kt)                  |          |           |          |
| Emisiones totales modelo | 2220,87               | 5743,98  | 3546,15   | 11511,00 |
| Factor corrección        | 1,14                  | 1,10     | N.A       | 1,11     |
| Rectificado              | 2531,79               | 6318,38  | 3546,15   | 12396,32 |
| Inventario 2016          | 12826,48              | 37122,77 | N.A       | 49949,25 |
| Reducción 2016-2030      | 80%                   | 83%      | N.A       | 75%      |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, se produciría una disminución del orden del 80% en las emisiones de GEI tanto para los turismos diésel como gasolina. Este descenso se debe tanto a la disminución en número como a lo envejecido que se encuentran puesto que, al no sustituirse por vehículos ICE nuevos (pues todas las incorporaciones desde el año 2016 son de VE), los turismos de estas características que continúan en el parque en el año 2030 tienen una antigüedad mínima de 14 años, de modo que tienen una utilización notablemente menor.

Es llamativo el hecho de que, a pesar de que la mayor parte de los turismos del parque son eléctricos (14 millones frente a los 4 millones de turismos gasolina y los 6’5 millones de turismos diésel) y a que estos vehículos al ser más modernos hacen más kilómetros de media anualmente, las emisiones de GEI de este grupo son ligeramente



superiores a las del total de turismos gasolina e incluso inferiores a las producidas por los turismos diésel.

### 5.2.1.2 Escenario “No inclusión”

A continuación, se expone un resumen de los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados pormenorizados de emisiones, divididos por tramos de antigüedad, se muestran en las tablas adjuntas al “Anexo III. Tablas de cálculo de emisiones GEI. Año 2030.”.

Tabla 22. Emisiones totales GEI año 2030. Escenario “No inclusión”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |          |           |          |
|--------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|                          | Gasolina              | Diésel   | Eléctrico | Total    |
|                          | (kt)                  |          |           |          |
| Emisiones totales modelo | 12913,53              | 26989,94 | N.A       | 39903,47 |
| Factor corrección        | 1,14                  | 1,10     | N.A       | 1,11     |
| Rectificado              | 14721,42              | 29688,93 | N.A       | 44410,36 |
| Inventario 2016          | 12826,48              | 37122,77 | N.A       | 49949,25 |
| Reducción 2016-2030      | -15%                  | 20%      | N.A       | 11%      |

Fuente: Elaboración propia

En este escenario se produciría un descenso del 11% en el total de las emisiones a pesar del incremento de turismos.

Esta disminución fruto de la mejora tecnológica en los vehículos, que emiten menos CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido. Es especialmente llamativo como los turismos gasolina, lejos de disminuir sus emisiones, las ven aumentadas en un 15%. El motivo se encuentra en que la disminución prevista en este estudio de las emisiones por kilómetro no compensa el aumento de turismos de este tipo en este escenario, sin incorporación de vehículo eléctrico.



### 5.2.1.3 Escenario “Mayor verosimilitud”

A continuación, se expone un resumen de los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados pormenorizados de emisiones, divididos por tramos de antigüedad, se muestran en el “Anexo III. Tablas de cálculo de emisiones GEI. Año 2030.”.

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |          |           |          |
|--------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|                          | Gasolina              | Diésel   | Eléctrico | Total    |
|                          | (kt)                  |          |           |          |
| Emisiones totales modelo | 9756,92               | 20751,43 | 1077,89   | 31586,24 |
| Factor corrección        | 1,14                  | 1,10     | N.A       | 1,11     |
| Rectificado              | 11122,89              | 22826,57 | 1077,89   | 35027,35 |
| Inventario 2016          | 12826,48              | 37122,77 | N.A       | 49949,25 |
| Reducción 2016-2030      | 13%                   | 39%      | N.A       | 30%      |

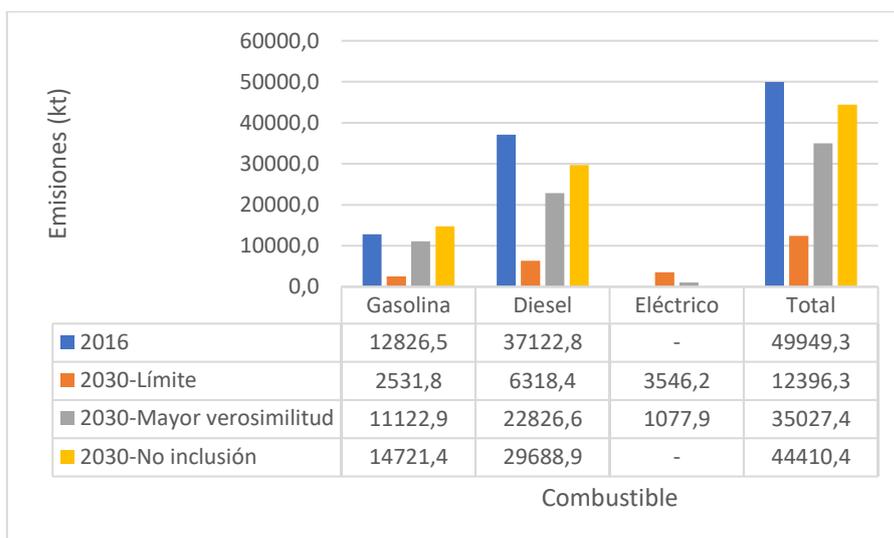
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el mayor descenso en las emisiones se produce entre los turismos diésel. El motivo reside en que, al estar inicialmente más envejecido, el parque de turismos gasolina nota menos los efectos de la reducción de kilómetros por el envejecimiento.

El mayor peso relativo sobre las emisiones totales de los turismos diésel provoca que se note fuertemente el acentuado descenso en las emisiones que ha experimentado este grupo, de modo que el total de emisiones se reduce en un 30%.

A continuación, se presenta una gráfica comparativa de las emisiones de GEI en el año 2016 y en los dos escenarios expuestos para el año 2030.

Gráfico 75. Emisiones de GEI en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia

El resultado para el escenario más probable está en línea con los objetivos para España perseguidos desde la UE de reducir, respecto a los valores de 2005, las emisiones de GEI producidas por los sectores no englobados en el European Trading Scheme (ETS)<sup>30</sup> en un 26%. **Según el Inventario de Gases de Efecto Invernadero, las emisiones de GEI provocadas por los turismos en ese año 2005 fueron de 55.753,49 kt, lo que supondría una reducción del 37%.**

Comparando los resultados obtenidos para los diferentes escenarios se comprueba que **la inclusión del vehículo eléctrico tiene un impacto muy significativo en la reducción de las emisiones totales de GEI.**

### 5.2.2 Contaminantes Atmosféricos

Tal y como se explicó en la sección dedicada a la comparación entre los vehículos eléctricos EV y vehículos con motores de combustión interna ICE, la mayor diferencia reside en las emisiones de contaminantes tóxicos para la salud pues los vehículos ICE generan las emisiones en el lugar donde funcionan, que por lo general son zonas urbanas con una alta densidad de población, mientras que las emisiones generadas por los vehículos eléctricos se producen en zonas alejadas (allá donde se genere la energía eléctrica) y los impactos sobre la salud son mucho menores. De este modo, se pueden despreciar los efectos nocivos sobre

<sup>30</sup> Los sectores no englobados en el European Trading Scheme (ETS) son transporte excepto aviación, edificación, residuos y agricultura.



la salud en las zonas pobladas para las emisiones de contaminantes tóxicos debidas a los vehículos eléctricos.

Es por este motivo, que en las estimaciones realizadas a cerca de los contaminantes atmosféricos no se tendrá en cuenta el efecto producido por los vehículos eléctricos.

### 5.2.2.1 Escenario “Límite Teórico”

A continuación, se expone un resumen de los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados pormenorizados de emisiones, divididos por tramos de antigüedad, se muestran en las tablas adjuntas al “Anexo V. Tablas de cálculo de emisiones de NO<sub>x</sub>. Año 2030.”

Tabla 23. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>).  
Año 2030. Escenario “Límite teórico”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 0,78                  | 20,43  | 21,21  |
| Factor corrección        | 0,88                  | 0,88   | 0,88   |
| Rectificado              | 0,69                  | 17,98  | 18,66  |
| Inventario 2016          | N.A                   | N.A    | 153,17 |
| Reducción 2016-2030      | N.A                   | N.A    | 88%    |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la disminución producida en cuanto a emisiones de NO<sub>x</sub> es cercana al 90%.

Este descenso es aún más acentuado que el producido en el caso de los GEI, que era de un 75%. Los motivos para disminución son expuestos en la sección dedicada al escenario “No inclusión”, pues son compartidos con él.



### 5.2.2.2 Escenario “No inclusión”

A continuación, se expone un resumen de los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados pormenorizados de emisiones, divididos por tramos de antigüedad, se muestran en las tablas adjuntas al “Anexo V. Tablas de cálculo de emisiones de NO<sub>x</sub>. Año 2030.”

Tabla 24. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>).  
Año 2030. Escenario “No inclusión”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 3,77                  | 48,92  | 52,69  |
| Factor corrección        | 0,88                  | 0,88   | 0,88   |
| Rectificado              | 3,32                  | 43,05  | 46,37  |
| Inventario 2016          | N.A                   | N.A    | 153,17 |
| Reducción 2016-2030      | N.A                   | N.A    | 70%    |

Fuente: Elaboración propia

La disminución de emisiones de NO<sub>x</sub> en el escenario sin inclusión de vehículo eléctrico es del 70%, mucho más significativa que en el caso de las emisiones GEI, donde era de un escaso 10%. Esto hace pensar que el vehículo eléctrico puede ser una solución en el caso de las emisiones GEI, pero mucho más irrelevante para las emisiones de NO<sub>x</sub>.

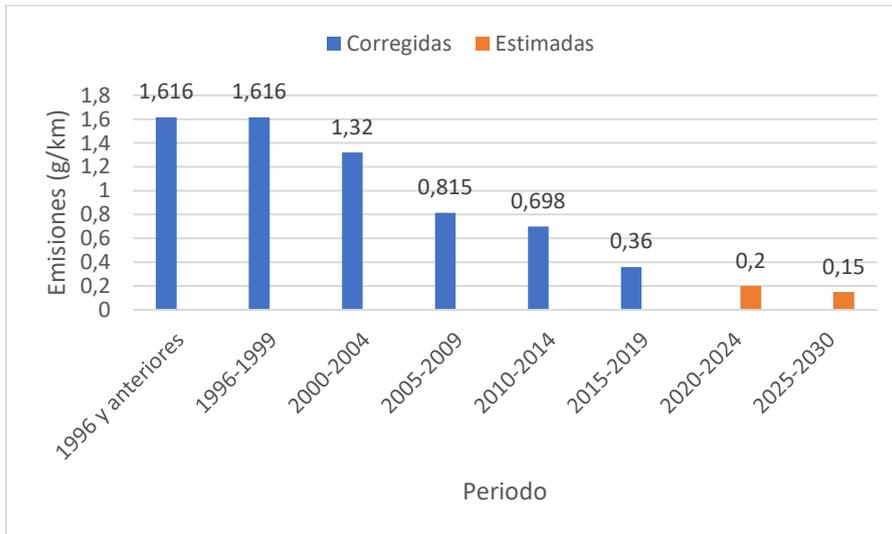
El motivo para esta mayor repercusión hay que buscarlo en que las emisiones de NO<sub>x</sub> son producidas casi en su totalidad por los turismos diésel, que en la actualidad tienen una edad media menor que la de los vehículos gasolina. Esta menor antigüedad provoca que la tasa de bajas sea mayor pues tal y como se vio al estudiar el parque de turismos, las bajas entre los vehículos de más de 20 años son relativamente menores. Al producirse más bajas que no se renuevan con nuevos turismos diésel, ya que en este escenario todas las nuevas entradas de turismos son eléctricas, la repercusión es mayor.

Otro motivo es que inicialmente hay un gran número de turismos gasolina con más de 20 años, cuyo kilometraje medio anual no variará, provocando que el kilometraje medio de los turismos gasolina disminuya lentamente. Sin embargo, el kilometraje medio de los turismos diésel, al ser un parque más nuevo, disminuye en una proporción más elevada.



El último motivo que explica este gran descenso en las emisiones es la tendencia notablemente decreciente seguida en las emisiones de NO<sub>x</sub> por parte de los turismos diésel, que hace que se prevean unas emisiones relativamente bajas para los turismos matriculados entre 2025 y 2030.

Gráfico 76. Emisiones de NO<sub>x</sub> corregidas de los turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2.3 Escenario “Mayor Verosimilitud”

A continuación, se expone un resumen de los resultados obtenidos. Las variables utilizadas y los resultados pormenorizados de emisiones, divididos por tramos de antigüedad, se muestran en las tablas adjuntas al “Anexo V. Tablas de cálculo de emisiones de NO<sub>x</sub>. Año 2030.”

Tabla 25. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>). Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 2,91                  | 41,82  | 44,73  |
| Factor corrección        | 0,88                  | 0,88   | 0,88   |
| Rectificado              | 2,56                  | 36,80  | 39,36  |
| Inventario 2016          | N.A                   | N.A    | 153,17 |
| Reducción 2016-2030      | N.A                   | N.A    | 74%    |

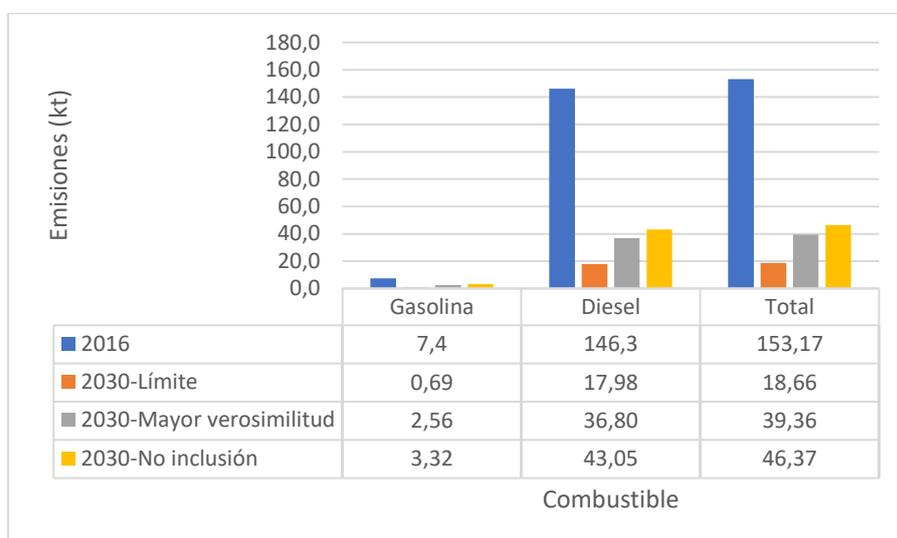
Fuente: Elaboración propia



Es muy notable la enorme disminución de NO<sub>x</sub> producida en este escenario. Mientras que en el caso de las emisiones GEI la reducción global sería de un 30% respecto a los valores del año 2016, en el caso de los óxidos de nitrógeno la reducción sería cercana al 75%.

Al igual que en el caso de los Gases de Efecto Invernadero, se presenta una gráfica comparativa de los diferentes escenarios. Nótese que los datos disgregados en combustible expuestos no son los directamente expuestos en el Inventario de Nacional de Contaminantes Atmosféricos, ya que no se dispone de ellos, sino que es el resultado de aplicar el factor corrector a los valores obtenidos para el año 2016 con el modelo utilizado en este estudio.

Gráfico 77. Emisiones de NO<sub>x</sub> en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia.

Comparando los resultados, a diferencia de lo que sucedía en el caso de las emisiones GEI, se observa como el modelo es poco sensible a la penetración del VE. Siendo cierto que la entrada de VE reduce las emisiones de NO<sub>x</sub>, el impacto que esta tiene es mucho menor que la observada en el caso de las emisiones GEI, de modo que se puede concluir **que la introducción de VE es poco relevante a la hora de reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> en el futuro** pues las mejoras tecnológicas previstas en los vehículos diésel, los principales contaminantes, serán suficientes para lograr mejoras significativas.



## 6 Conclusiones

Consciente de que la extensión del documento priva a muchos lectores de leer el estudio en su totalidad, se presentan las conclusiones más importantes de las diferentes secciones, de modo que pueda conocer los resultados obtenidos y, en caso de resultarle de interés, leer con mayor detenimiento la sección en cuestión.

Se incluye también, en algunos casos, las sugerencias que se consideren oportunas.

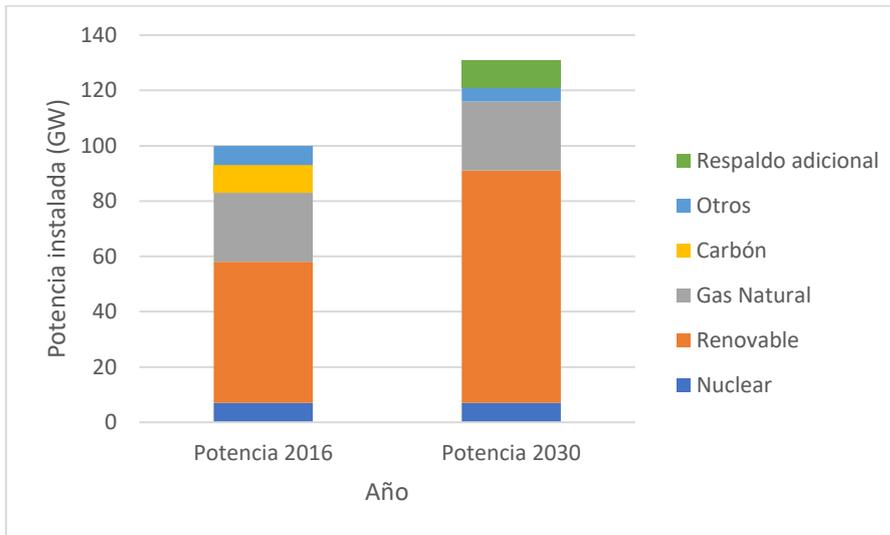
### 6.1 *Mix* de generación eléctrico

Conocer el *mix* de generación eléctrico es fundamental para estimar las emisiones indirectas del vehículo eléctrico ya que la energía eléctrica consumida por él proviene de dicho *mix*.

Se prevé una evolución hacia un *mix* de generación eléctrico con una alta incorporación de energía renovable que permitiría alcanzar los objetivos europeos de reducción de emisiones de GEI para el año 2030. Tanto los dos escenarios centrales planteados por el Comité de Expertos como el planteado por Monitor Deloitte (más conservador en cuanto a emisiones) prevén una reducción de las emisiones en más de un 75% respecto de los valores del año 2005, llegando incluso al 87% en el escenario DG elaborado por el Comité de Expertos.

Utilizando un criterio conservador, se decide utilizar los escenarios expuestos por Monitor Deloitte, por ser los que menor penetración de renovables y mayores emisiones plantean. Los gráficos más importantes se presentan a continuación.

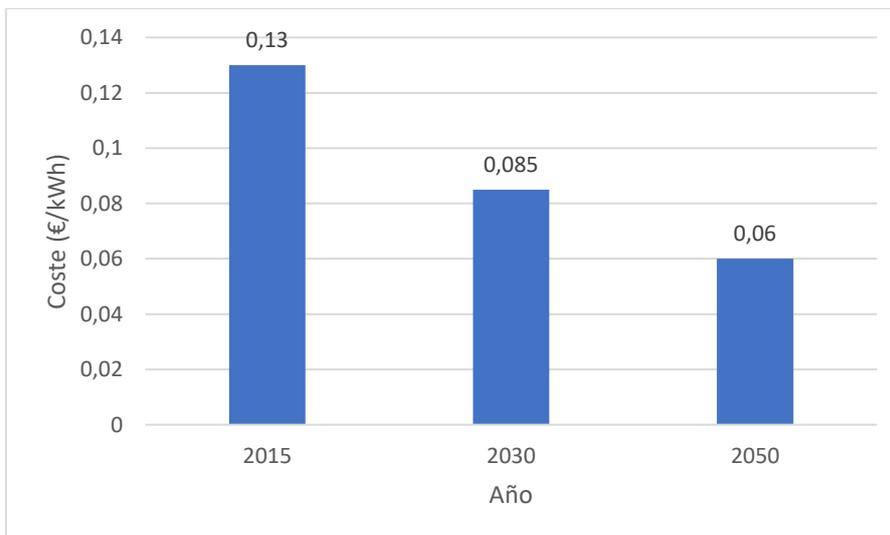
Gráfico 78. Evolución del parque de generación. Año 2016 y 2030.



Fuente: Propia a partir de “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” por Monitor Deloitte.

Nota 1: El respaldo adicional se considera CCGT.

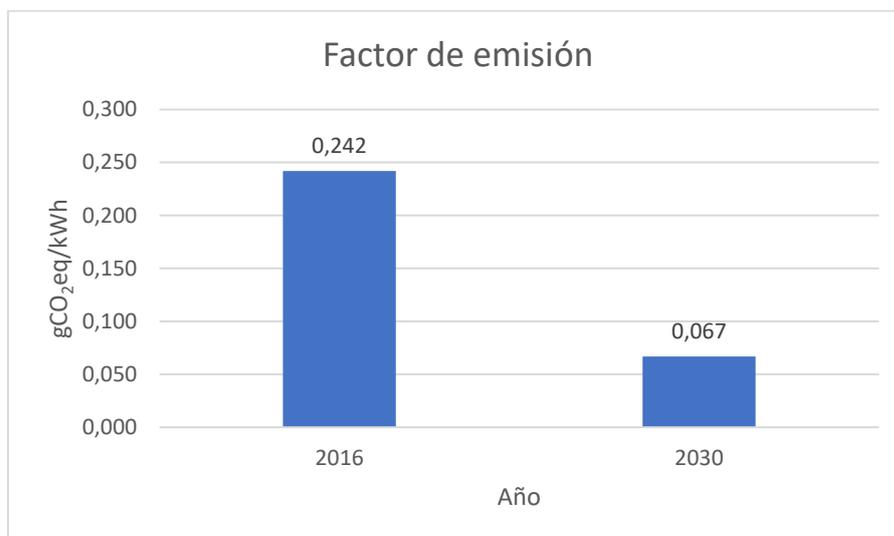
Gráfico 79. Evolución tarifa eléctrica para usuario final. Años 2016, 2030 y 2050.



Fuente: Propia a partir de “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” por Monitor Deloitte.



Gráfico 80. Comparación del factor de emisión.



Fuente: Propia a partir de “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” por Monitor Deloitte.

## 6.2 Medios de transporte

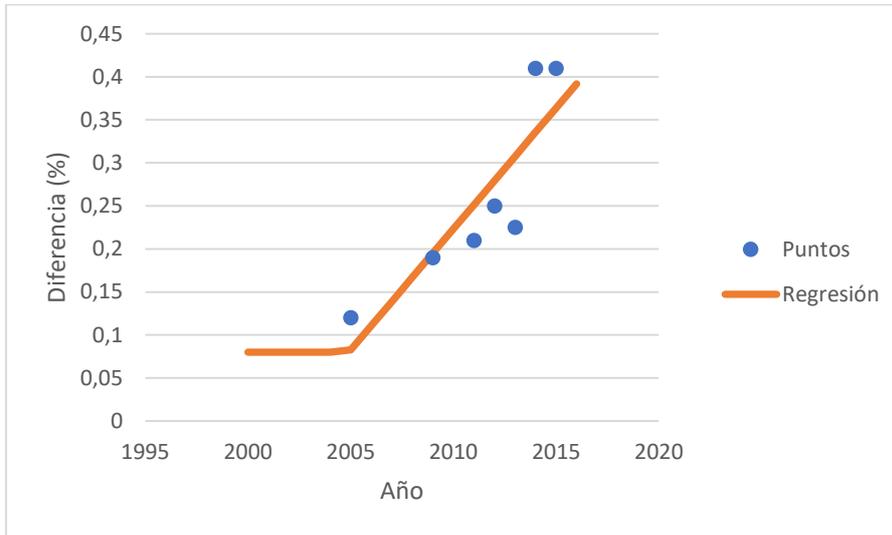
Se realiza un estudio pormenorizado sobre los vehículos con motores de combustión interna (ICE) convencionales, diésel y gasolina, y del vehículo eléctrico (EV).

Se estudia la evolución temporal de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los mencionados tipos de vehículos, realizando una estimación de los valores a futuro.

Es importante señalar que existe una diferencia muy importante entre los datos oficiales medidos bajo el ciclo NEDC y la realidad. Dichas diferencias han ido aumentando conforme los fabricantes han conocido mejor las debilidades de la prueba. A continuación, se presenta la diferencia entre los datos oficiales y la realidad, así como los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> corregidos.

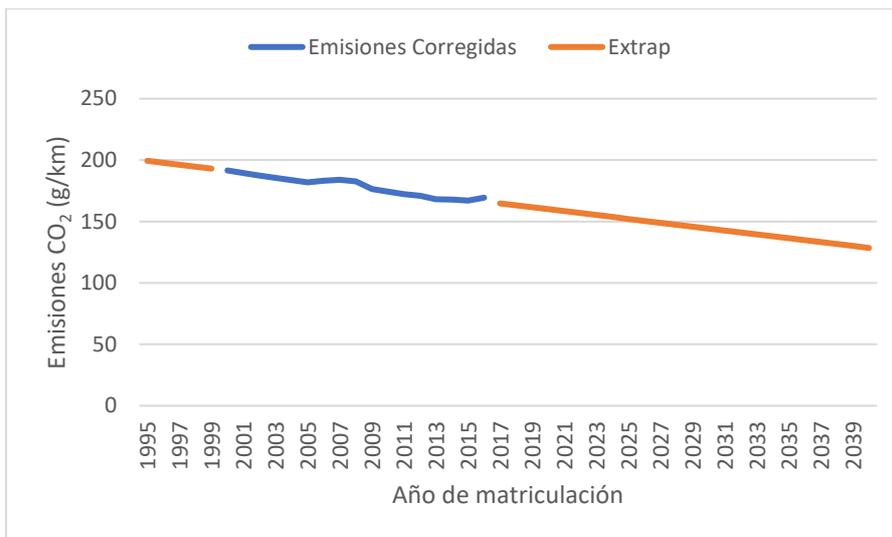


Gráfico 81. Diferencia entre los valores regulados y los reales.  
Análisis de regresión. 2000-2015



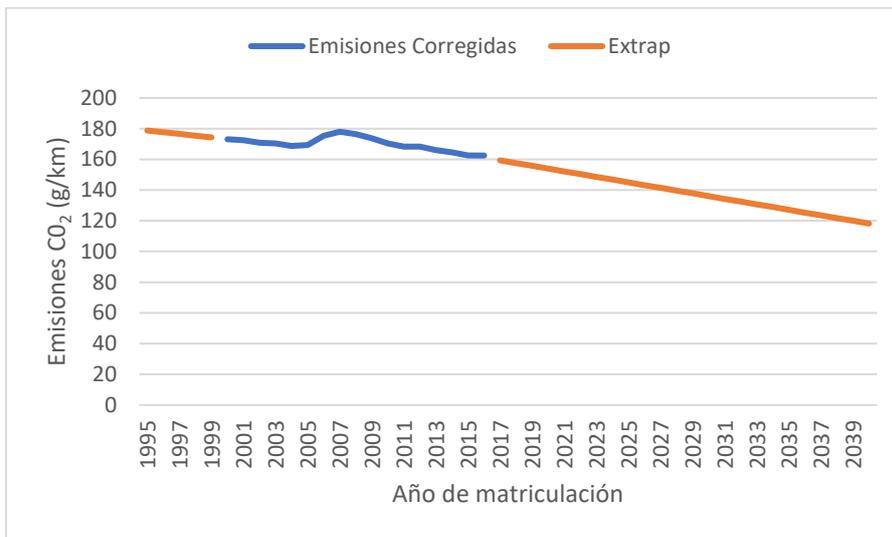
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 82. Evolución emisiones CO<sub>2</sub> turismos gasolina.



Fuente: Elaboración propia.

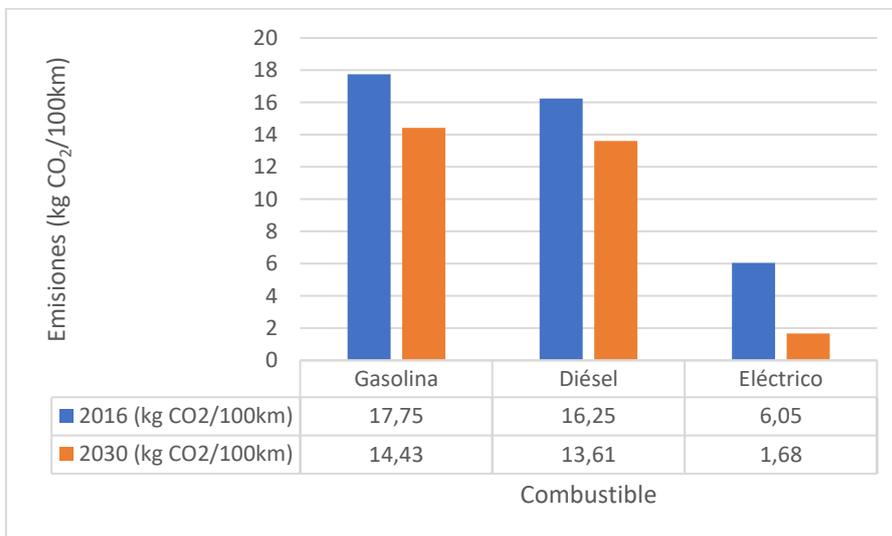
Gráfico 83. Evolución emisiones CO<sub>2</sub> turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se exponen las diferencias en cuanto a emisiones GEI de las diferentes tecnologías para los dos años clave del estudio, 2016 y 2030.

Gráfico 84. Emisiones GEI por tipo de combustible. Años 2016 y 2030.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, en el año 2016, las emisiones de GEI generadas por el funcionamiento de vehículos ICE son aproximadamente 3 veces al asociado al funcionamiento del vehículo eléctrico.

Para el año 2030 se produce una reducción de las emisiones GEI de todas las tecnologías, siendo más acentuado el caso del vehículo

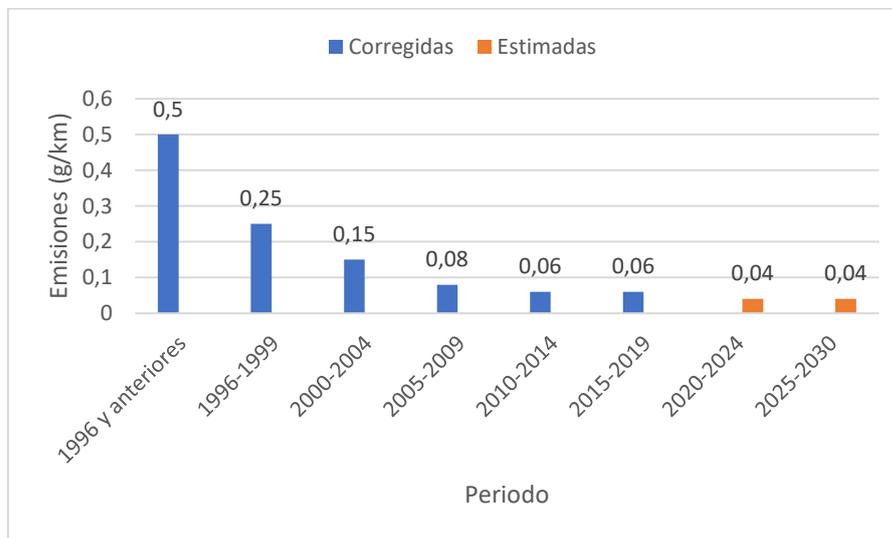


eléctrico gracias a la penetración de energías no contaminantes en el *mix* de generación eléctrico.

La mayor diferencia entre los vehículos ICE y eléctrico reside en las emisiones de contaminantes tóxicos para la salud, pues mientras los vehículos ICE generan las emisiones en el lugar donde funcionan, que por lo general son zonas urbanas con una alta densidad de población, las emisiones generadas por los vehículos eléctricos se producen en zonas alejadas (allá donde se genere la energía eléctrica) y los impactos sobre la salud son mucho menores. En este sentido, las emisiones de monóxido de carbono CO son similares para ambos tipos de motor, y han sido controladas, consiguiendo que se sitúen muy por debajo de los límites establecidos por la norma. Sin embargo, los turismos con motor diésel emiten aproximadamente 10 veces más óxidos de nitrógeno que los que utilizan motores gasolina, superando ampliamente los límites normativos.

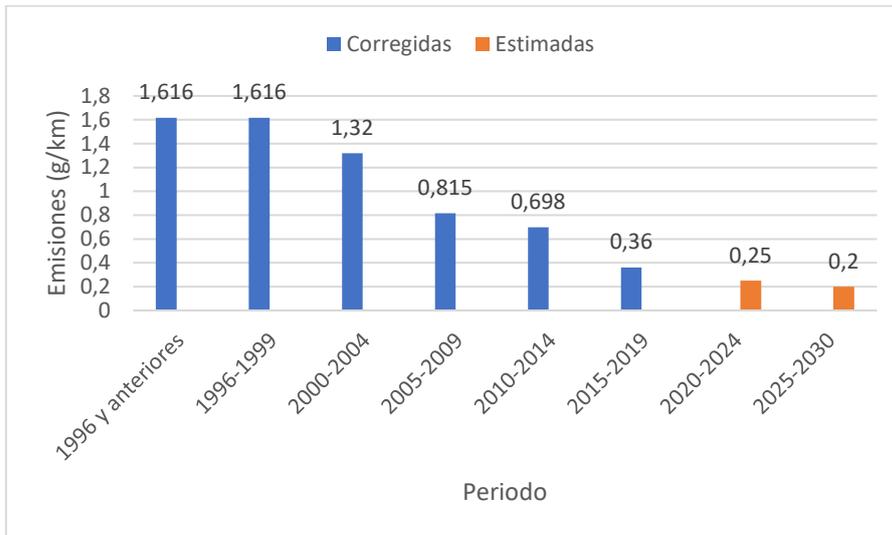
En el caso del NO<sub>x</sub>, al igual que sucedía en el caso de las emisiones GEI, los valores medidos bajo el ciclo NEDC son muy inferiores a los reales. Se presenta a continuación la evolución prevista en las emisiones de CO y NO<sub>x</sub>.

Gráfico 85. Emisiones de NO<sub>x</sub> de los turismos gasolina.



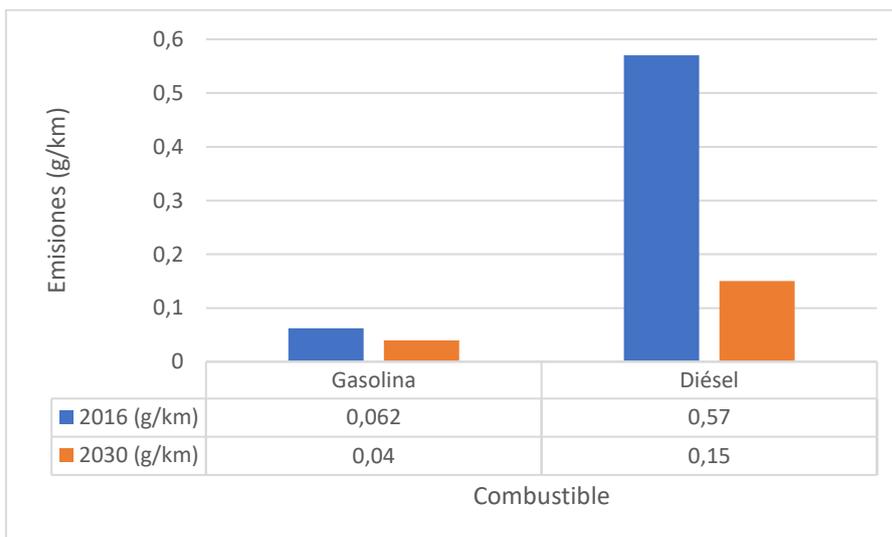
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 86. Emisiones de NO<sub>x</sub> corregidas de los turismos diésel.



Fuente: Elaboración propia.

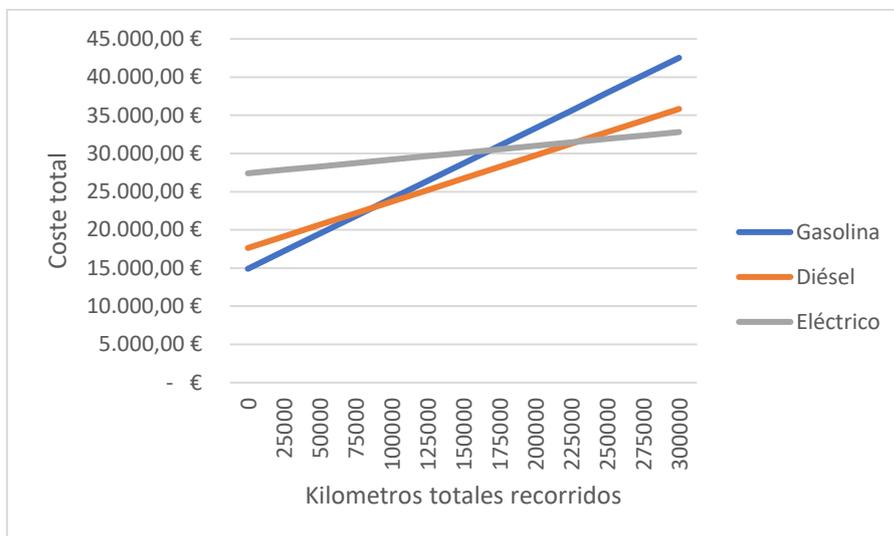
Gráfico 87. Emisiones NO<sub>x</sub> por tipo de combustible.  
Años 2016 y 2030.



Fuente: Elaboración propia.

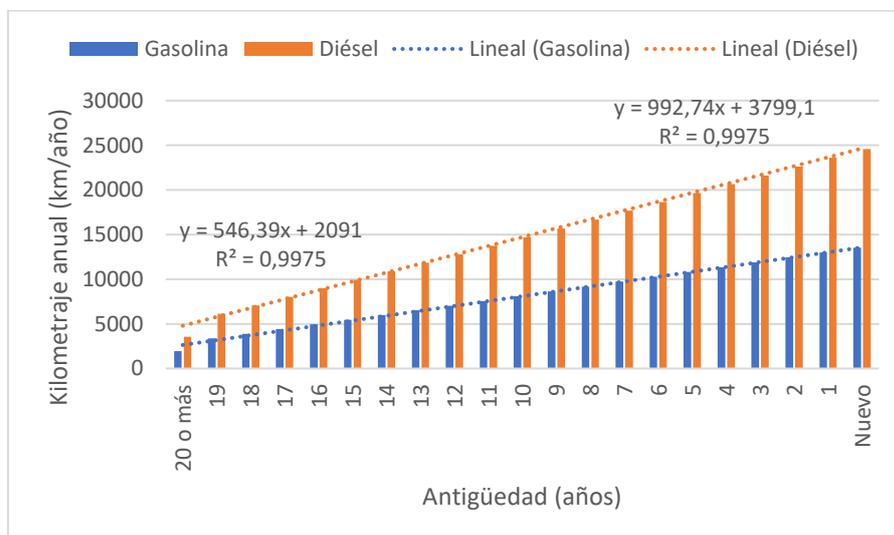
Se incluye también un estudio económico que será muy importante para valorar las diferencias en el kilometraje anual de los turismos según el tipo de combustible utilizado.

Gráfico 88. Evolución del coste total según kilometraje.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 89. Kilometraje medio anual por tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

Este es uno de los puntos clave del estudio. Existe una clara falta de información relativa al kilometraje anual realizado por los vehículos. De hecho, debido a la falta de información en España, los datos presentados parten de datos ofrecidos por el Ministerio de Transporte



del Reino Unido (MOT) a través de datos recogidos cuando los turismos pasan el equivalente inglés a la ITV española.

Se recomienda fervientemente comenzar a tomar datos relativos al kilometraje de los vehículos durante la ITV y la emisión de estadísticas a cerca de los mismos. Es un dato fundamental y puede ayudar al correcto funcionamiento de los modelos utilizados para el cálculo de emisiones.

Por último, se observa como la dependencia energética del VE es, con el *mix* de generación eléctrica del año 2016, del 45% contra el 100% de los vehículos ICE convencionales.

### 6.3 El parque de turismos español

Se realiza un estudio de la evolución temporal de las variables que afectan al parque de turismos en España, de modo que se utiliza la tendencia de las mismas junto con las previsiones de diversos estudios para estimar el escenario de “Mayor Verosimilitud” en el año 2030. Igualmente se presenta un escenario “Límite teórico” con la idea de evaluar la composición del parque en el supuesto de que todos los vehículos comprados a partir de 2016 fuesen eléctricos.

Se ha elegido la función sigmoide para simular la entrada de VE, al considerarla la más representativa, pues se supone que existirá una sustitución gradual del vehículo convencional por eléctrico en los próximos años y, además, ofrece la opción de simular el escalón de entrada en el escenario “Límite teórico” a través de las constantes C1 y C2.

Ecuación 5. Función sigmoide

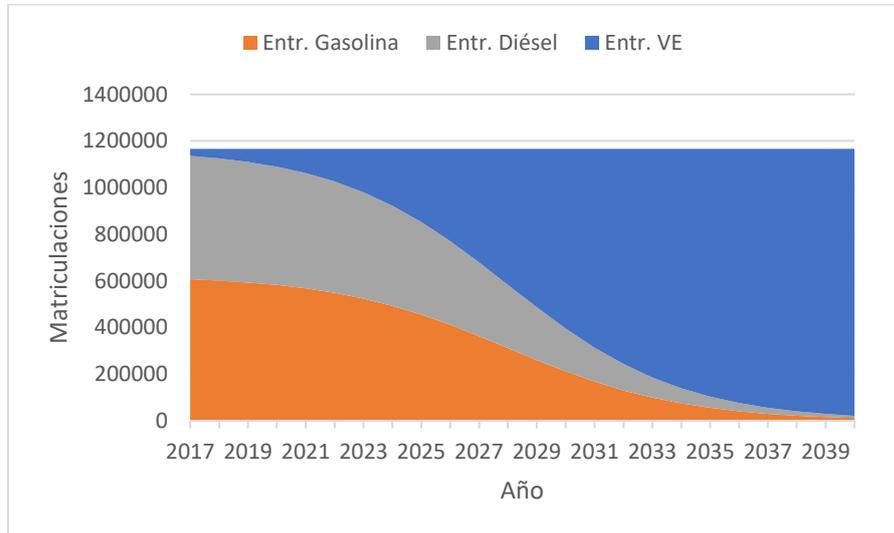
$$f(\text{año}) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{\text{año} - \frac{2040+2016}{2}}{C1} + C2}}$$

Los resultados obtenidos en el escenario de “Mayor verosimilitud” son los siguientes. La sigmoide de entrada del VE ha sido ajustada a partir de los estudios realizados por diferentes instituciones. En el caso de este estudio, se ha buscado una penetración del 100% en el año 2040 y



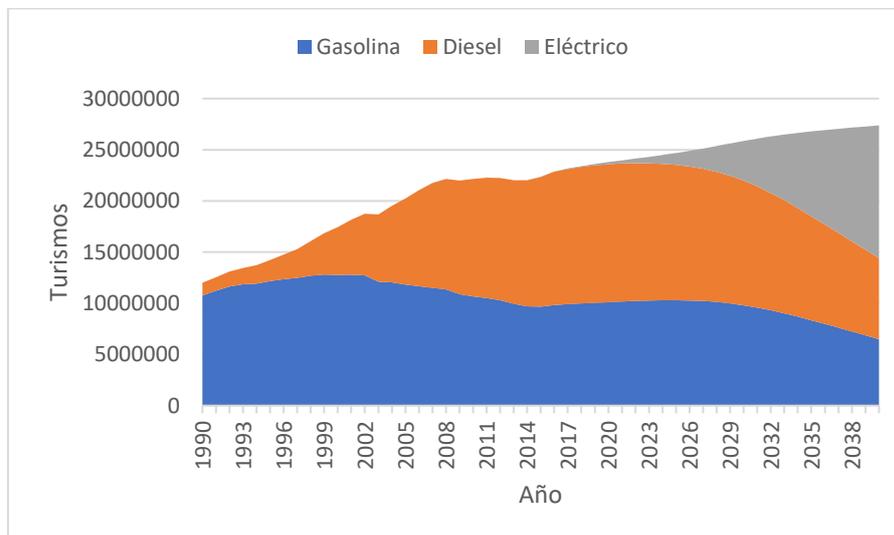
del 60% para el año 2030, comenzando desde un 0% de penetración en el año base, 2016.

Ilustración 32. Matriculaciones escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 33. Parque de turismos. Escenario "Mayor verosimilitud". 2017-2040.

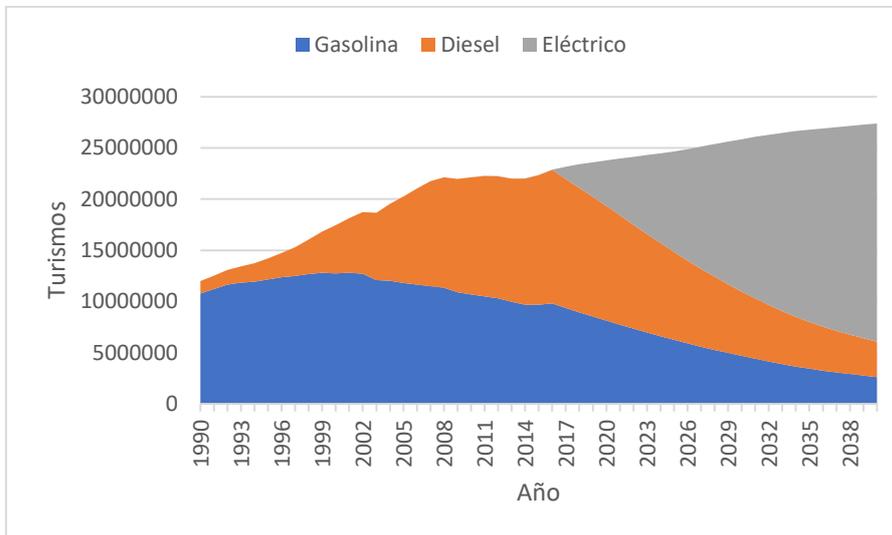


Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se presenta el resultado de simulación en el escenario “Límite Teórico”. No se presenta la sigmoide de entrada por ser un simple escalón en el año 2016.

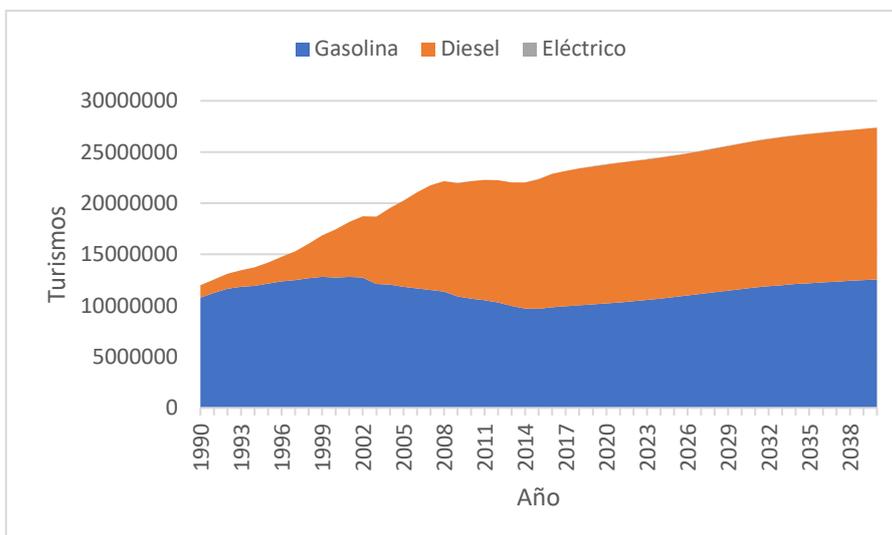
Ilustración 34. Parque de turismos. Escenario “Límite teórico.”



Fuente: Elaboración propia.

También se presenta el escenario “No inclusión”. Al igual que en el caso del escenario “Límite teórico”, no se presenta la sigmoide de entrada, en este caso por no existir.

Ilustración 35. Parque de turismos. Escenario “No inclusión”



Fuente: Elaboración propia.



## 6.4 Contaminación en el transporte

En esta sección se realizará una estimación de las emisiones totales producidas por los turismos en España, tanto en la actualidad como en un futuro a medio plazo, año 2030.

Para ello, se utilizará un modelo previamente ajustado con los datos emitidos desde el Sistema Español de Inventario (SEI), vinculado al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), tanto en el “Inventario Nacional de Contaminantes Atmosféricos” como en el “Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero”.

Los factores correctores que se han aplicado para el ajuste del modelo han sido de 1,14 y 1,1 para los turismos gasolina y diésel respectivamente en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> y un factor de 0,88 para el total de emisiones de NO<sub>x</sub>.

Una vez ajustado el modelo, el objetivo es realizar una estimación de las emisiones producidas en el futuro, bajo los escenarios de evolución del parque de turismos presentados previamente.

### 6.4.1 Gases de Efecto Invernadero

Tabla 26. Emisiones totales GEI año 2030. Escenario “Límite teórico”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |          |           |          |
|--------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|                          | Gasolina              | Diésel   | Eléctrico | Total    |
|                          | (kt)                  |          |           |          |
| Emisiones totales modelo | 2220,87               | 5743,98  | 3546,15   | 11511,00 |
| Factor corrección        | 1,14                  | 1,10     | N.A       | 1,11     |
| Rectificado              | 2531,79               | 6318,38  | 3546,15   | 12396,32 |
| Inventario 2016          | 12826,48              | 37122,77 | N.A       | 49949,25 |
| Reducción 2016-2030      | 80%                   | 83%      | N.A       | 75%      |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 27. Emisiones totales GEI año 2030. Escenario “No inclusión”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |          |           |          |
|--------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|                          | Gasolina              | Diésel   | Eléctrico | Total    |
|                          | (kt)                  |          |           |          |
| Emisiones totales modelo | 12913,53              | 26989,94 | N.A       | 39903,47 |
| Factor corrección        | 1,14                  | 1,10     | N.A       | 1,11     |
| Rectificado              | 14721,42              | 29688,93 | N.A       | 44410,36 |
| Inventario 2016          | 12826,48              | 37122,77 | N.A       | 49949,25 |
| Reducción 2016-2030      | -15%                  | 20%      | N.A       | 11%      |

Fuente: Elaboración propia

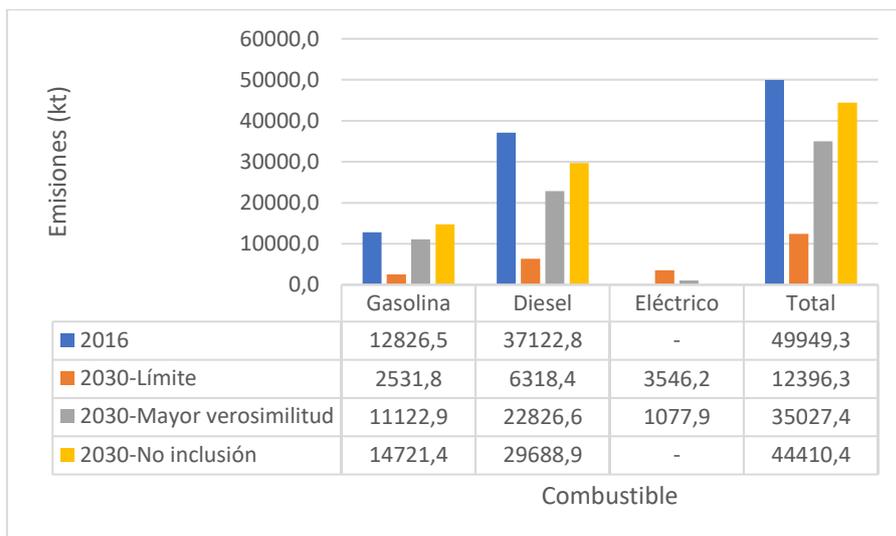
Tabla 28. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>).  
Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 2,91                  | 41,82  | 44,73  |
| Factor corrección        | 0,88                  | 0,88   | 0,88   |
| Rectificado              | 2,56                  | 36,80  | 39,36  |
| Inventario 2016          | N.A                   | N.A    | 153,17 |
| Reducción 2016-2030      | N.A                   | N.A    | 74%    |

Fuente: Elaboración propia



Gráfico 90. Emisiones de GEI en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia

Las conclusiones de esta sección se exponen de manera conjunta a la de los contaminantes atmosféricos al final de esta.

#### 6.4.2 Contaminantes Atmosféricos

Tabla 29. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>). Año 2030. Escenario “Límite teórico”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 0,78                  | 20,43  | 21,21  |
| Factor corrección        | 0,88                  | 0,88   | 0,88   |
| Rectificado              | 0,69                  | 17,98  | 18,66  |
| Inventario 2016          | N.A                   | N.A    | 153,17 |
| Reducción 2016-2030      | N.A                   | N.A    | 88%    |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 30. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>).  
Año 2030. Escenario “No inclusión”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 3,77                  | 48,92  | 52,69  |
| Factor corrección        | 0,88                  | 0,88   | 0,88   |
| Rectificado              | 3,32                  | 43,05  | 46,37  |
| Inventario 2016          | N.A                   | N.A    | 153,17 |
| Reducción 2016-2030      | N.A                   | N.A    | 70%    |

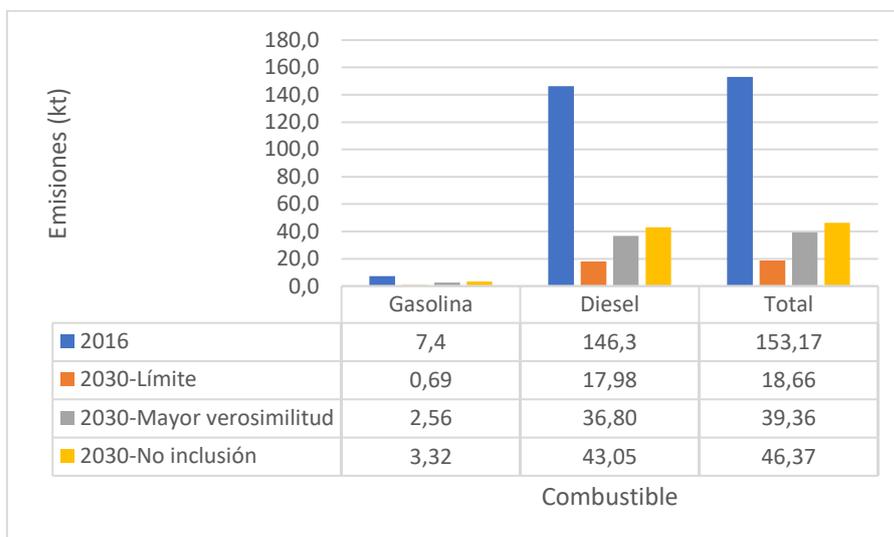
Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>).  
Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”

| FUENTES DE GENERACIÓN    | FUENTES DE GENERACIÓN |        |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                          | Gasolina              | Diésel | Total  |
|                          | (kt)                  |        |        |
| Emisiones totales modelo | 2,91                  | 41,82  | 44,73  |
| Factor corrección        | 0,88                  | 0,88   | 0,88   |
| Rectificado              | 2,56                  | 36,80  | 39,36  |
| Inventario 2016          | N.A                   | N.A    | 153,17 |
| Reducción 2016-2030      | N.A                   | N.A    | 74%    |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 91. Emisiones de NO<sub>x</sub> en los diferentes escenarios según la fuente de contaminación.



Fuente: Elaboración propia.

A nivel global, se observa como la introducción del EV ayuda significativamente a reducir las emisiones de GEI, pero sobre todo de NO<sub>x</sub>, donde la reducción en el escenario considerado más probable (Escenario “Mayor Verosimilitud”) alcanza el 74% en el año 2030 respecto a 2016. En el caso de las emisiones GEI la reducción se sitúa en un 30% respecto a los valores del año 2016 y en un 37% respecto a los del año 2005, lo que ayuda a alcanzar el objetivo europeo para España de reducir un 26% respecto a los valores de 2005 no englobados en el European Trading Scheme (ETS).

La tendencia decreciente de las emisiones de NO<sub>x</sub> generadas por los turismos diésel, a pesar de las notorias desviaciones respecto de las pruebas homologadas bajo el ciclo NEDC, dará lugar a una disminución significativamente en las emisiones de esta familia de contaminantes con independencia de la entrada del VE que, en caso de producirse, ayudará a consolidarla. En esta línea, las conclusiones principales del proyecto son que **la introducción de VE es poco relevante a la hora de reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> en el futuro mientras que la inclusión del vehículo eléctrico tiene un impacto muy significativo en la reducción de las emisiones totales de GEI.**

La introducción del EV ayuda a alcanzar el objetivo europeo de 27% de generación renovable del total de energía final teniendo en cuenta las previsiones de mix de generación eléctrico para ese año.



## 7 Futuras líneas de investigación

Previa a la exposición de los puntos a desarrollar en el futuro es importante señalar que las estimaciones a futuro son fruto del estudio de la evolución temporal de las variables y diferentes proyectos de diversas fuentes, de modo que está a disposición del lector el seguir la metodología aquí utilizada y cambiar los datos que considere conveniente para conseguir resultados más ajustados.

1. Como ha podido observarse, el estudio aquí desarrollado se ha centrado en los turismos con motores de combustión interna convencionales (ICE) que utilizan diésel y gasolina como combustible y en el vehículo eléctrico (EV).

Se deja, de esta manera, un vacío respecto al resto de tecnologías como, por ejemplo, el vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV), los de gas natural comprimido (GNC) o los de gases licuados del petróleo (GLP), considerándose una buena idea realizar un estudio similar al aquí dichas tecnologías, observando los pros y los contras que presentan.

2. Incluir el estudio del ciclo de vida de los vehículos. Uno de los talones de Aquiles del vehículo eléctrico se encuentra, precisamente, en la falta de datos sobre la viabilidad del reciclaje de las baterías y la contaminación generada en la fabricación de las mismas. Se recomienda, por tanto, realizar un estudio más amplio sobre el vehículo eléctrico, en el que se incluyan no solo las emisiones derivadas de su funcionamiento, sino también las asociadas a su fabricación. Así mismo, se debería hacer un estudio similar con los vehículos ICE.
3. Otra de las limitaciones del estudio aquí presentado se encuentra en el parque estudiado, el de los turismos. Si bien es cierto que significaron en el año 2016 el 66% de las emisiones de GEI del sector transporte, aún queda un 34% de las emisiones sin estudiar.
4. Se recomienda evaluar el impacto que tendría la sustitución del resto de sectores, principalmente el de transporte de mercancías, por tecnologías más limpias, por ejemplo, el ferrocarril.



## 8 Anexo I. Tablas de cálculo de emisiones de GEI. Año 2016

Tabla 32. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2016.

| Año original: 2016 |                |                 |
|--------------------|----------------|-----------------|
| Años               | Gasolina       | Diésel          |
| Más de 19          | 2866686        | 537975          |
| 19                 | 231662         | 192092          |
| 18                 | 292055         | 304592          |
| 17                 | 389056         | 438999          |
| 16                 | 408807         | 502114          |
| 15                 | 475621         | 559615          |
| 14                 | 419398         | 605304          |
| 13                 | 439023         | 729121          |
| 12                 | 456692         | 906677          |
| 11                 | 449378         | 997348          |
| 10                 | 436794         | 1021529         |
| 9                  | 418752         | 1009867         |
| 8                  | 308782         | 710419          |
| 7                  | 268477         | 631919          |
| 6                  | 253196         | 645257          |
| 5                  | 204228         | 501807          |
| 4                  | 179647         | 426378          |
| 3                  | 202743         | 445997          |
| 2                  | 259199         | 544821          |
| 1                  | 363681         | 648336          |
| Nuevo              | 496676         | 678496          |
| <b>Total</b>       | <b>9820553</b> | <b>13038663</b> |

Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.



Tabla 33. Kilometraje medio anual por vehículo según combustible y antigüedad.

| Antigüedad | Kilometraje | Corregido | Gasolina | Diésel |
|------------|-------------|-----------|----------|--------|
| 20 o más   | 4000        | 2750      | 1953     | 3548   |
| 19         | 4740        | 4740      | 3365     | 6115   |
| 18         | 5480        | 5480      | 3891     | 7069   |
| 17         | 6220        | 6220      | 4416     | 8024   |
| 16         | 6960        | 6960      | 4942     | 8978   |
| 15         | 7700        | 7700      | 5467     | 9933   |
| 14         | 8440        | 8440      | 5992     | 10888  |
| 13         | 9180        | 9180      | 6518     | 11842  |
| 12         | 9920        | 9920      | 7043     | 12797  |
| 11         | 10660       | 10660     | 7569     | 13751  |
| 10         | 11400       | 11400     | 8094     | 14706  |
| 9          | 12167       | 12167     | 8638     | 15695  |
| 8          | 12933       | 12933     | 9183     | 16684  |
| 7          | 13700       | 13700     | 9727     | 17673  |
| 6          | 14467       | 14467     | 10271    | 18662  |
| 5          | 15233       | 15233     | 10816    | 19651  |
| 4          | 16000       | 16000     | 11360    | 20640  |
| 3          | 16767       | 16767     | 11904    | 21629  |
| 2          | 17533       | 17533     | 12449    | 22618  |
| 1          | 18300       | 18300     | 12993    | 23607  |
| Nuevo      | 19067       | 19067     | 13537    | 24596  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos.

| Kilometraje Medio |                |
|-------------------|----------------|
| Gasolina          | 6352,31        |
| Diésel            | 15180,0        |
| <b>Med. Pond</b>  | <b>11387,5</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 35. Emisiones CO<sub>2</sub> por tipo de combustible y antigüedad. Año origen: 2016

| Gasolina CO <sub>2</sub> |                             |                        | Diésel CO <sub>2</sub> |                             |                        |              |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Año                      | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |              |
| 1996 o ant.              | 197,87                      | 1107,51                | 1996 o ant.            | 177,68                      | 339,09                 |              |
| 1997                     | 196,29                      | 153,04                 | 1997                   | 176,57                      | 207,40                 |              |
| 1998                     | 194,71                      | 221,26                 | 1998                   | 175,47                      | 377,83                 |              |
| 1999                     | 193,14                      | 331,84                 | 1999                   | 174,37                      | 614,21                 |              |
| 2000                     | 191,59                      | 387,05                 | 2000                   | 173,12                      | 780,47                 |              |
| 2001                     | 189,32                      | 492,28                 | 2001                   | 172,48                      | 958,73                 |              |
| 2002                     | 187,38                      | 470,92                 | 2002                   | 170,75                      | 1125,28                |              |
| 2003                     | 185,44                      | 530,62                 | 2003                   | 170,32                      | 1470,58                |              |
| 2004                     | 183,60                      | 590,56                 | 2004                   | 168,70                      | 1957,31                |              |
| 2005                     | 181,99                      | 618,97                 | 2005                   | 169,43                      | 2323,72                |              |
| 2006                     | 183,16                      | 647,54                 | 2006                   | 175,38                      | 2634,72                |              |
| 2007                     | 184,04                      | 665,72                 | 2007                   | 178,00                      | 2821,27                |              |
| 2008                     | 182,74                      | 518,16                 | 2008                   | 176,44                      | 2091,30                |              |
| 2009                     | 176,39                      | 460,64                 | 2009                   | 173,64                      | 1939,20                |              |
| 2010                     | 174,30                      | 453,29                 | 2010                   | 170,39                      | 2051,75                |              |
| 2011                     | 172,17                      | 380,31                 | 2011                   | 168,29                      | 1659,56                |              |
| 2012                     | 171,05                      | 349,08                 | 2012                   | 168,24                      | 1480,56                |              |
| 2013                     | 168,01                      | 405,50                 | 2013                   | 165,92                      | 1600,53                |              |
| 2014                     | 167,75                      | 541,27                 | 2014                   | 164,54                      | 2027,64                |              |
| 2015                     | 167,05                      | 789,37                 | 2015                   | 162,55                      | 2487,90                |              |
| 2016                     | 169,38                      | 1138,87                | 2016                   | 162,56                      | 2712,88                | <b>TOTAL</b> |
| <b>TOTAL</b>             |                             | 11253,80               |                        |                             | 33661,95               | 44915,74     |
| <b>Inventario</b>        |                             | 12826,48               |                        |                             | 37122,77               | 49949,25     |
| <b>Diferencia</b>        |                             | -12,3%                 |                        |                             | -9,3%                  | -10,1%       |

Fuente: Elaboración propia



## 9 Anexo II. Tablas de cálculo de emisiones de NO<sub>x</sub>. Año 2016

Tabla 36. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2016.

| Año original: 2016 |                |                 |
|--------------------|----------------|-----------------|
| Años               | Gasolina       | Diésel          |
| Más de 19          | 2866686        | 537975          |
| 19                 | 231662         | 192092          |
| 18                 | 292055         | 304592          |
| 17                 | 389056         | 438999          |
| 16                 | 408807         | 502114          |
| 15                 | 475621         | 559615          |
| 14                 | 419398         | 605304          |
| 13                 | 439023         | 729121          |
| 12                 | 456692         | 906677          |
| 11                 | 449378         | 997348          |
| 10                 | 436794         | 1021529         |
| 9                  | 418752         | 1009867         |
| 8                  | 308782         | 710419          |
| 7                  | 268477         | 631919          |
| 6                  | 253196         | 645257          |
| 5                  | 204228         | 501807          |
| 4                  | 179647         | 426378          |
| 3                  | 202743         | 445997          |
| 2                  | 259199         | 544821          |
| 1                  | 363681         | 648336          |
| Nuevo              | 496676         | 678496          |
| <b>Total</b>       | <b>9820553</b> | <b>13038663</b> |

Fuente: Elaboración propia a partir de DGT.



Tabla 37. Kilometraje medio anual por vehículo según combustible y antigüedad.

| Antigüedad | Kilometraje | Corregido | Gasolina | Diésel |
|------------|-------------|-----------|----------|--------|
| 20 o más   | 4000        | 2750      | 1953     | 3548   |
| 19         | 4740        | 4740      | 3365     | 6115   |
| 18         | 5480        | 5480      | 3891     | 7069   |
| 17         | 6220        | 6220      | 4416     | 8024   |
| 16         | 6960        | 6960      | 4942     | 8978   |
| 15         | 7700        | 7700      | 5467     | 9933   |
| 14         | 8440        | 8440      | 5992     | 10888  |
| 13         | 9180        | 9180      | 6518     | 11842  |
| 12         | 9920        | 9920      | 7043     | 12797  |
| 11         | 10660       | 10660     | 7569     | 13751  |
| 10         | 11400       | 11400     | 8094     | 14706  |
| 9          | 12167       | 12167     | 8638     | 15695  |
| 8          | 12933       | 12933     | 9183     | 16684  |
| 7          | 13700       | 13700     | 9727     | 17673  |
| 6          | 14467       | 14467     | 10271    | 18662  |
| 5          | 15233       | 15233     | 10816    | 19651  |
| 4          | 16000       | 16000     | 11360    | 20640  |
| 3          | 16767       | 16767     | 11904    | 21629  |
| 2          | 17533       | 17533     | 12449    | 22618  |
| 1          | 18300       | 18300     | 12993    | 23607  |
| Nuevo      | 19067       | 19067     | 13537    | 24596  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos.

| Kilometraje Medio |                |
|-------------------|----------------|
| Gasolina          | 6352,31        |
| Diésel            | 15180,0        |
| <b>Med. Pond</b>  | <b>11387,5</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 39. Emisiones CO<sub>2</sub> por tipo de combustible y antigüedad. Año origen: 2016

| Gasolina NO <sub>x</sub> |                             |                        | Diésel NO <sub>x</sub> |                             |                        |              |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Año                      | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |              |
| 1996 o ant.              | 0,50                        | 2,80                   | 1996 o ant.            | 1,62                        | 3,08                   |              |
| 1997                     | 0,25                        | 0,19                   | 1997                   | 1,62                        | 1,90                   |              |
| 1998                     | 0,25                        | 0,28                   | 1998                   | 1,62                        | 3,48                   |              |
| 1999                     | 0,25                        | 0,43                   | 1999                   | 1,62                        | 5,69                   |              |
| 2000                     | 0,15                        | 0,30                   | 2000                   | 1,32                        | 5,95                   |              |
| 2001                     | 0,15                        | 0,39                   | 2001                   | 1,32                        | 7,34                   |              |
| 2002                     | 0,15                        | 0,38                   | 2002                   | 1,32                        | 8,70                   |              |
| 2003                     | 0,15                        | 0,43                   | 2003                   | 1,32                        | 11,40                  |              |
| 2004                     | 0,15                        | 0,48                   | 2004                   | 1,32                        | 15,32                  |              |
| 2005                     | 0,08                        | 0,27                   | 2005                   | 0,82                        | 11,18                  |              |
| 2006                     | 0,08                        | 0,28                   | 2006                   | 0,82                        | 12,24                  |              |
| 2007                     | 0,08                        | 0,29                   | 2007                   | 0,82                        | 12,92                  |              |
| 2008                     | 0,08                        | 0,23                   | 2008                   | 0,82                        | 9,66                   |              |
| 2009                     | 0,08                        | 0,21                   | 2009                   | 0,82                        | 9,10                   |              |
| 2010                     | 0,06                        | 0,16                   | 2010                   | 0,70                        | 8,41                   |              |
| 2011                     | 0,06                        | 0,13                   | 2011                   | 0,70                        | 6,88                   |              |
| 2012                     | 0,06                        | 0,12                   | 2012                   | 0,70                        | 6,14                   |              |
| 2013                     | 0,06                        | 0,14                   | 2013                   | 0,70                        | 6,73                   |              |
| 2014                     | 0,06                        | 0,19                   | 2014                   | 0,70                        | 8,60                   |              |
| 2015                     | 0,06                        | 0,28                   | 2015                   | 0,36                        | 5,51                   |              |
| 2016                     | 0,06                        | 0,40                   | 2016                   | 0,36                        | 6,01                   | <b>TOTAL</b> |
| <b>TOTAL</b>             |                             | 8,41                   |                        |                             | 166,24                 | 174,64       |
| <b>Inventario</b>        |                             |                        |                        |                             |                        | 153,17       |
| <b>Diferencia</b>        |                             |                        |                        |                             |                        | 14,0%        |

Fuente: Elaboración propia



## 10 Anexo III. Tablas de cálculo de emisiones GEI. Año 2030.

Los elementos comunes a todos los escenarios (kilometraje medio anual) se presentan a continuación.

Tabla 40. Kilometraje medio anual por vehículo según combustible y antigüedad.

| Antigüedad | Kilometraje | Corregido (Eléctrico) | Gasolina | Diésel |
|------------|-------------|-----------------------|----------|--------|
| 20 o más   | 4000        | 2750                  | 1953     | 3548   |
| 19         | 4740        | 4740                  | 3365     | 6115   |
| 18         | 5480        | 5480                  | 3891     | 7069   |
| 17         | 6220        | 6220                  | 4416     | 8024   |
| 16         | 6960        | 6960                  | 4942     | 8978   |
| 15         | 7700        | 7700                  | 5467     | 9933   |
| 14         | 8440        | 8440                  | 5992     | 10888  |
| 13         | 9180        | 9180                  | 6518     | 11842  |
| 12         | 9920        | 9920                  | 7043     | 12797  |
| 11         | 10660       | 10660                 | 7569     | 13751  |
| 10         | 11400       | 11400                 | 8094     | 14706  |
| 9          | 12167       | 12167                 | 8638     | 15695  |
| 8          | 12933       | 12933                 | 9183     | 16684  |
| 7          | 13700       | 13700                 | 9727     | 17673  |
| 6          | 14467       | 14467                 | 10271    | 18662  |
| 5          | 15233       | 15233                 | 10816    | 19651  |
| 4          | 16000       | 16000                 | 11360    | 20640  |
| 3          | 16767       | 16767                 | 11904    | 21629  |
| 2          | 17533       | 17533                 | 12449    | 22618  |
| 1          | 18300       | 18300                 | 12993    | 23607  |
| Nuevo      | 19067       | 19067                 | 13537    | 24596  |

Fuente: Elaboración propia



## 10.1 Escenario “Límite teórico”

Tabla 41. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2030. Escenario “Límite teórico”.

| <b>Año 2030. “Límite teórico”</b> |                 |                |                  |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|------------------|
| <b>Años</b>                       | <b>Gasolina</b> | <b>Diésel</b>  | <b>Eléctrico</b> |
| Más de 19                         | 3481556         | 4055959        | 0                |
| 19                                | 111309          | 273497         | 0                |
| 18                                | 108608          | 257772         | 0                |
| 17                                | 134784          | 296499         | 0                |
| 16                                | 186403          | 391809         | 0                |
| 15                                | 277456          | 494623         | 0                |
| 14                                | 385543          | 526680         | 13673            |
| 13                                | 0               | 0              | 951110           |
| 12                                | 0               | 0              | 988041           |
| 11                                | 0               | 0              | 1017021          |
| 10                                | 0               | 0              | 1038783          |
| 9                                 | 0               | 0              | 1051888          |
| 8                                 | 0               | 0              | 1059885          |
| 7                                 | 0               | 0              | 1066255          |
| 6                                 | 0               | 0              | 1071411          |
| 5                                 | 0               | 0              | 1075520          |
| 4                                 | 0               | 0              | 1079654          |
| 3                                 | 0               | 0              | 1085968          |
| 2                                 | 0               | 0              | 1097372          |
| 1                                 | 0               | 0              | 1115820          |
| Nuevo                             | 0               | 0              | 1166408          |
| <b>Total</b>                      | <b>4685660</b>  | <b>6296839</b> | <b>14878809</b>  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos. Año 2030. Escenario “Límite teórico”.

| <b>Kilometraje Medio</b> |                |
|--------------------------|----------------|
| Gasolina                 | 2761,29        |
| Diésel                   | 5467,4         |
| Eléctrico                | 14229,0        |
| <b>Med. Pond</b>         | <b>10017,9</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 43. Emisiones CO<sub>2</sub> por tipo de combustible y antigüedad. Año 2030. Escenario “Límite teórico”.

| Gasolina CO <sub>2</sub>   |                          |                        | Diésel CO <sub>2</sub> |                             |                        | Eléctrico CO <sub>2</sub> |                             |                        |                 |
|----------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|
| Año                        | Emisión Corregida (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                       | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |                 |
| 2010                       | 174,30                   | 1184,84                | 2010 o ant.            | 170,39                      | 2451,60                | 2010 o ant.               | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2011                       | 172,17                   | 64,50                  | 2011                   | 168,29                      | 281,44                 | 2011                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2012                       | 171,05                   | 72,28                  | 2012                   | 168,24                      | 306,57                 | 2012                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2013                       | 168,01                   | 100,01                 | 2013                   | 165,92                      | 394,73                 | 2013                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2014                       | 167,75                   | 154,52                 | 2014                   | 164,54                      | 578,84                 | 2014                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2015                       | 167,05                   | 253,39                 | 2015                   | 162,55                      | 798,63                 | 2015                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2016                       | 169,38                   | 391,33                 | 2016                   | 162,56                      | 932,18                 | 2016                      | 16,75                       | 1,93                   |                 |
| 2017                       | 164,75                   | 0,00                   | 2017                   | 159,32                      | 0,00                   | 2017                      | 16,75                       | 146,25                 |                 |
| 2018                       | 163,17                   | 0,00                   | 2018                   | 157,53                      | 0,00                   | 2018                      | 16,75                       | 164,17                 |                 |
| 2019                       | 161,60                   | 0,00                   | 2019                   | 155,74                      | 0,00                   | 2019                      | 16,75                       | 181,59                 |                 |
| 2020                       | 160,02                   | 0,00                   | 2020                   | 153,95                      | 0,00                   | 2020                      | 16,75                       | 198,36                 |                 |
| 2021                       | 158,44                   | 0,00                   | 2021                   | 152,16                      | 0,00                   | 2021                      | 16,75                       | 214,37                 |                 |
| 2022                       | 156,87                   | 0,00                   | 2022                   | 150,37                      | 0,00                   | 2022                      | 16,75                       | 229,61                 |                 |
| 2023                       | 155,29                   | 0,00                   | 2023                   | 148,58                      | 0,00                   | 2023                      | 16,75                       | 244,68                 |                 |
| 2024                       | 153,71                   | 0,00                   | 2024                   | 146,80                      | 0,00                   | 2024                      | 16,75                       | 259,62                 |                 |
| 2025                       | 152,14                   | 0,00                   | 2025                   | 145,01                      | 0,00                   | 2025                      | 16,75                       | 274,43                 |                 |
| 2026                       | 150,56                   | 0,00                   | 2026                   | 143,22                      | 0,00                   | 2026                      | 16,75                       | 289,35                 |                 |
| 2027                       | 148,98                   | 0,00                   | 2027                   | 141,43                      | 0,00                   | 2027                      | 16,75                       | 304,99                 |                 |
| 2028                       | 147,40                   | 0,00                   | 2028                   | 139,64                      | 0,00                   | 2028                      | 16,75                       | 322,28                 |                 |
| 2029                       | 145,83                   | 0,00                   | 2029                   | 137,85                      | 0,00                   | 2029                      | 16,75                       | 342,03                 |                 |
| 2030                       | 144,25                   | 0,00                   | 2030                   | 136,07                      | 0,00                   | 2030                      | 16,75                       | 372,51                 |                 |
| <b>TOTAL</b>               |                          | 2220,87                |                        |                             | 5743,98                |                           |                             | 3546,15                | <b>11511,01</b> |
| <b>Factor</b>              |                          | 1,14                   |                        |                             | 1,10                   |                           |                             | N.A                    | 1,11            |
| <b>Corregido</b>           |                          | 2531,79                |                        |                             | 6318,38                |                           |                             | 3546,15                | 12396,33        |
| <b>Inventario 2016</b>     |                          | 12826,48               |                        |                             | 37122,77               |                           |                             | N.A                    | 49949,25        |
| <b>Reducción 2016-2030</b> |                          | 80%                    |                        |                             | 83%                    |                           |                             | N.A                    | 75%             |

Fuente: Elaboración propia



## 10.2 Escenario “No inclusión”

Tabla 44. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2030. Escenario “No inclusión”.

| Año a 2030 “No inclusión” |                 |                 |              |
|---------------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Años                      | Gasolina        | Diésel          | Eléctrico    |
| Más de 19                 | 3481556         | 4055959         | 0            |
| 19                        | 111309          | 273497          | 0            |
| 18                        | 108608          | 257772          | 0            |
| 17                        | 134784          | 296499          | 0            |
| 16                        | 186403          | 391809          | 0            |
| 15                        | 277456          | 494623          | 0            |
| 14                        | 385543          | 526680          | 13673        |
| 13                        | 442891          | 507704          | 0            |
| 12                        | 460088          | 527418          | 0            |
| 11                        | 473583          | 542888          | 0            |
| 10                        | 483716          | 554504          | 0            |
| 9                         | 489819          | 561500          | 0            |
| 8                         | 493543          | 565769          | 0            |
| 7                         | 496509          | 569169          | 0            |
| 6                         | 498910          | 571921          | 0            |
| 5                         | 500823          | 574115          | 0            |
| 4                         | 502748          | 576322          | 0            |
| 3                         | 505688          | 579692          | 0            |
| 2                         | 510999          | 585779          | 0            |
| 1                         | 519589          | 595627          | 0            |
| Nuevo                     | 543146          | 622631          | 0            |
| <b>Total</b>              | <b>11607712</b> | <b>14231879</b> | <b>13673</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos. Año 2030. Escenario “No inclusión”.

| Kilometraje Medio |                |
|-------------------|----------------|
| Gasolina          | 7141,40        |
| Diésel            | 12657,0        |
| Eléctrico         | 8440,0         |
| <b>Med. Pond</b>  | <b>10178,3</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 46. Emisiones CO<sub>2</sub> por tipo de combustible y antigüedad. Año 2030. Escenario “No inclusión”.

| Gasolina CO <sub>2</sub>   |                             |                        | Diésel CO <sub>2</sub> |                             |                        | Eléctrico CO <sub>2</sub> |                             |                        |                 |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|
| Año                        | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                       | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |                 |
| 2010 o ant.                | 174,30                      | 1184,84                | 2010                   | 170,39                      | 2451,60                | 2010                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2011                       | 172,17                      | 64,50                  | 2011                   | 168,29                      | 281,44                 | 2011                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2012                       | 171,05                      | 72,28                  | 2012                   | 168,24                      | 306,57                 | 2012                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2013                       | 168,01                      | 100,01                 | 2013                   | 165,92                      | 394,73                 | 2013                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2014                       | 167,75                      | 154,52                 | 2014                   | 164,54                      | 578,84                 | 2014                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2015                       | 167,05                      | 253,39                 | 2015                   | 162,55                      | 798,63                 | 2015                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2016                       | 169,38                      | 391,33                 | 2016                   | 162,56                      | 932,18                 | 2016                      | 16,75                       | 1,93                   |                 |
| 2017                       | 164,75                      | 475,58                 | 2017                   | 159,32                      | 957,86                 | 2017                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2018                       | 163,17                      | 528,76                 | 2018                   | 157,53                      | 1063,19                | 2018                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2019                       | 161,60                      | 579,22                 | 2019                   | 155,74                      | 1162,66                | 2019                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2020                       | 160,02                      | 626,51                 | 2020                   | 153,95                      | 1255,39                | 2020                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2021                       | 158,44                      | 670,41                 | 2021                   | 152,16                      | 1340,96                | 2021                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2022                       | 156,87                      | 710,92                 | 2022                   | 150,37                      | 1419,41                | 2022                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2023                       | 155,29                      | 749,97                 | 2023                   | 148,58                      | 1494,60                | 2023                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2024                       | 153,71                      | 787,69                 | 2024                   | 146,80                      | 1566,78                | 2024                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2025                       | 152,14                      | 824,08                 | 2025                   | 145,01                      | 1635,96                | 2025                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2026                       | 150,56                      | 859,87                 | 2026                   | 143,22                      | 1703,63                | 2026                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2027                       | 148,98                      | 896,85                 | 2027                   | 141,43                      | 1773,28                | 2027                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2028                       | 147,40                      | 937,67                 | 2028                   | 139,64                      | 1850,14                | 2028                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2029                       | 145,83                      | 984,48                 | 2029                   | 137,85                      | 1938,35                | 2029                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| 2030                       | 144,25                      | 1060,63                | 2030                   | 136,07                      | 2083,73                | 2030                      | 16,75                       | 0,00                   |                 |
| <b>TOTAL</b>               |                             | <b>12913,53</b>        |                        |                             | <b>26989,94</b>        |                           |                             | <b>1,93</b>            | <b>39905,40</b> |
| <b>Factor</b>              |                             | <b>1,14</b>            |                        |                             | <b>1,10</b>            |                           |                             | <b>N.A</b>             | <b>1,11</b>     |
| <b>Corregido</b>           |                             | <b>14721,42</b>        |                        |                             | <b>29688,93</b>        |                           |                             | <b>N.A</b>             | <b>44410,35</b> |
| <b>Inventario 2016</b>     |                             | <b>12826,48</b>        |                        |                             | <b>37122,77</b>        |                           |                             | <b>N.A</b>             | <b>49949,25</b> |
| <b>Reducción 2016-2030</b> |                             | <b>-15%</b>            |                        |                             | <b>20%</b>             |                           |                             | <b>N.A</b>             | <b>11%</b>      |

Fuente: Elaboración propia



### 10.3 Escenario “Mayor Verosimilitud”

Tabla 47. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”.

| Año 2030. Mayor verosimilitud |                |                 |                |
|-------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Años                          | Gasolina       | Diésel          | Eléctrico      |
| Más de 19                     | 3481556        | 4055959         | 0              |
| 19                            | 111309         | 273497          | 0              |
| 18                            | 108608         | 257772          | 0              |
| 17                            | 134784         | 296499          | 0              |
| 16                            | 186403         | 391809          | 0              |
| 15                            | 277456         | 494623          | 0              |
| 14                            | 385543         | 526680          | 13673          |
| 13                            | 431852         | 495050          | 23706          |
| 12                            | 444240         | 509251          | 34033          |
| 11                            | 451122         | 517141          | 48233          |
| 10                            | 452290         | 518479          | 67489          |
| 9                             | 446519         | 511864          | 92987          |
| 8                             | 434711         | 498327          | 126341         |
| 7                             | 417629         | 478746          | 169395         |
| 6                             | 394833         | 452614          | 223505         |
| 5                             | 366131         | 419712          | 289252         |
| 4                             | 332194         | 380808          | 366266         |
| 3                             | 294599         | 337711          | 453315         |
| 2                             | 255499         | 292890          | 548686         |
| 1                             | 216892         | 248632          | 650044         |
| Nuevo                         | 184259         | 211224          | 770711         |
| <b>Total</b>                  | <b>9808431</b> | <b>12169287</b> | <b>3877637</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos. Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”.

| Kilometraje Medio |                |
|-------------------|----------------|
| Gasolina          | 6286,20        |
| Diésel            | 11167,4        |
| Eléctrico         | 16595,6        |
| <b>Med. Pond</b>  | <b>10129,8</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 49. Emisiones CO<sub>2</sub> por tipo de combustible y antigüedad. Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”.

| Gasolina CO <sub>2</sub>   |                             |                        | Diésel CO <sub>2</sub> |                             |                        | Eléctrico CO <sub>2</sub> |                             |                        |              |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Año                        | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                       | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |              |
| 2010 o ant.                | 174,30                      | 1184,84                | 2010 o ant.            | 170,39                      | 2451,60                | 2010 o ant.               | 16,75                       | 0,00                   |              |
| 2011                       | 172,17                      | 64,50                  | 2011                   | 168,29                      | 281,44                 | 2011                      | 16,75                       | 0,00                   |              |
| 2012                       | 171,05                      | 72,28                  | 2012                   | 168,24                      | 306,57                 | 2012                      | 16,75                       | 0,00                   |              |
| 2013                       | 168,01                      | 100,01                 | 2013                   | 165,92                      | 394,73                 | 2013                      | 16,75                       | 0,00                   |              |
| 2014                       | 167,75                      | 154,52                 | 2014                   | 164,54                      | 578,84                 | 2014                      | 16,75                       | 0,00                   |              |
| 2015                       | 167,05                      | 253,39                 | 2015                   | 162,55                      | 798,63                 | 2015                      | 16,75                       | 0,00                   |              |
| 2016                       | 169,38                      | 391,33                 | 2016                   | 162,56                      | 932,18                 | 2016                      | 16,75                       | 1,93                   |              |
| 2017                       | 164,75                      | 463,73                 | 2017                   | 159,32                      | 933,98                 | 2017                      | 16,75                       | 3,65                   |              |
| 2018                       | 163,17                      | 510,55                 | 2018                   | 157,53                      | 1026,57                | 2018                      | 16,75                       | 5,65                   |              |
| 2019                       | 161,60                      | 551,75                 | 2019                   | 155,74                      | 1107,52                | 2019                      | 16,75                       | 8,61                   |              |
| 2020                       | 160,02                      | 585,81                 | 2020                   | 153,95                      | 1173,83                | 2020                      | 16,75                       | 12,89                  |              |
| 2021                       | 158,44                      | 611,14                 | 2021                   | 152,16                      | 1222,42                | 2021                      | 16,75                       | 18,95                  |              |
| 2022                       | 156,87                      | 626,18                 | 2022                   | 150,37                      | 1250,21                | 2022                      | 16,75                       | 27,37                  |              |
| 2023                       | 155,29                      | 630,83                 | 2023                   | 148,58                      | 1257,15                | 2023                      | 16,75                       | 38,87                  |              |
| 2024                       | 153,71                      | 623,37                 | 2024                   | 146,80                      | 1239,94                | 2024                      | 16,75                       | 54,16                  |              |
| 2025                       | 152,14                      | 602,45                 | 2025                   | 145,01                      | 1195,99                | 2025                      | 16,75                       | 73,81                  |              |
| 2026                       | 150,56                      | 568,16                 | 2026                   | 143,22                      | 1125,68                | 2026                      | 16,75                       | 98,16                  |              |
| 2027                       | 148,98                      | 522,48                 | 2027                   | 141,43                      | 1033,06                | 2027                      | 16,75                       | 127,31                 |              |
| 2028                       | 147,40                      | 468,84                 | 2028                   | 139,64                      | 925,07                 | 2028                      | 16,75                       | 161,14                 |              |
| 2029                       | 145,83                      | 410,95                 | 2029                   | 137,85                      | 809,13                 | 2029                      | 16,75                       | 199,25                 |              |
| 2030                       | 144,25                      | 359,81                 | 2030                   | 136,07                      | 706,89                 | 2030                      | 16,75                       | 246,14                 | <b>TOTAL</b> |
| <b>TOTAL</b>               |                             | 9756,92                |                        |                             | 20751,43               |                           |                             | 1077,89                | 31586,24     |
| <b>Factor</b>              |                             | 1,14                   |                        |                             | 1,14                   |                           |                             | N.A                    | 1,11         |
| <b>Corregido</b>           |                             | 11122,89               |                        |                             | 23656,63               |                           |                             | 1077,89                | 35857,41     |
| <b>Inventario 2016</b>     |                             | 12826,48               |                        |                             | 37122,77               |                           |                             | N.A                    | 49949,25     |
| <b>Reducción 2016-2030</b> |                             | 13%                    |                        |                             | 36%                    |                           |                             | N.A                    | 28%          |

Fuente: Elaboración propia



## 11 Anexo V. Tablas de cálculo de emisiones de NO<sub>x</sub>. Año 2030.

Los elementos comunes a todos los escenarios (kilometraje medio anual) se presentan a continuación.

Tabla 50. Kilometraje medio anual por vehículo según combustible y antigüedad.

| Antigüedad | Kilometraje | Corregido (Eléctrico) | Gasolina | Diésel |
|------------|-------------|-----------------------|----------|--------|
| 20 o más   | 4000        | 2750                  | 1953     | 3548   |
| 19         | 4740        | 4740                  | 3365     | 6115   |
| 18         | 5480        | 5480                  | 3891     | 7069   |
| 17         | 6220        | 6220                  | 4416     | 8024   |
| 16         | 6960        | 6960                  | 4942     | 8978   |
| 15         | 7700        | 7700                  | 5467     | 9933   |
| 14         | 8440        | 8440                  | 5992     | 10888  |
| 13         | 9180        | 9180                  | 6518     | 11842  |
| 12         | 9920        | 9920                  | 7043     | 12797  |
| 11         | 10660       | 10660                 | 7569     | 13751  |
| 10         | 11400       | 11400                 | 8094     | 14706  |
| 9          | 12167       | 12167                 | 8638     | 15695  |
| 8          | 12933       | 12933                 | 9183     | 16684  |
| 7          | 13700       | 13700                 | 9727     | 17673  |
| 6          | 14467       | 14467                 | 10271    | 18662  |
| 5          | 15233       | 15233                 | 10816    | 19651  |
| 4          | 16000       | 16000                 | 11360    | 20640  |
| 3          | 16767       | 16767                 | 11904    | 21629  |
| 2          | 17533       | 17533                 | 12449    | 22618  |
| 1          | 18300       | 18300                 | 12993    | 23607  |
| Nuevo      | 19067       | 19067                 | 13537    | 24596  |

Fuente: Elaboración propia



## 11.1 Escenario “Límite Teórico”

Tabla 51. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2030. Escenario “Límite teórico”.

| Año 2030. “Límite teórico” |                |                |                 |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Años                       | Gasolina       | Diésel         | Eléctrico       |
| Más de 19                  | 3481556        | 4055959        | 0               |
| 19                         | 111309         | 273497         | 0               |
| 18                         | 108608         | 257772         | 0               |
| 17                         | 134784         | 296499         | 0               |
| 16                         | 186403         | 391809         | 0               |
| 15                         | 277456         | 494623         | 0               |
| 14                         | 385543         | 526680         | 13673           |
| 13                         | 0              | 0              | 951110          |
| 12                         | 0              | 0              | 988041          |
| 11                         | 0              | 0              | 1017021         |
| 10                         | 0              | 0              | 1038783         |
| 9                          | 0              | 0              | 1051888         |
| 8                          | 0              | 0              | 1059885         |
| 7                          | 0              | 0              | 1066255         |
| 6                          | 0              | 0              | 1071411         |
| 5                          | 0              | 0              | 1075520         |
| 4                          | 0              | 0              | 1079654         |
| 3                          | 0              | 0              | 1085968         |
| 2                          | 0              | 0              | 1097372         |
| 1                          | 0              | 0              | 1115820         |
| Nuevo                      | 0              | 0              | 1166408         |
| <b>Total</b>               | <b>4685660</b> | <b>6296839</b> | <b>14878809</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos. Año 2030. Escenario “Límite teórico”.

| Kilometraje Medio |                |
|-------------------|----------------|
| Gasolina          | 2761,29        |
| Diésel            | 5467,4         |
| Eléctrico         | 14229,0        |
| <b>Med. Pond</b>  | <b>10017,9</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 53. Emisiones de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>) por tipo de combustible y antigüedad. Año 2030. Escenario “Límite teórico”.

| Gasolina NO <sub>x</sub>   |                             |                        | Diésel NO <sub>x</sub> |                             |                        |              |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Año                        | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |              |
| 2010 o ant.                | 0,06                        | 0,41                   | 2010 o ant.            | 0,70                        | 10,04                  |              |
| 2011                       | 0,06                        | 0,02                   | 2011                   | 0,70                        | 1,17                   |              |
| 2012                       | 0,06                        | 0,03                   | 2012                   | 0,70                        | 1,27                   |              |
| 2013                       | 0,06                        | 0,04                   | 2013                   | 0,70                        | 1,66                   |              |
| 2014                       | 0,06                        | 0,06                   | 2014                   | 0,70                        | 2,46                   |              |
| 2015                       | 0,06                        | 0,09                   | 2015                   | 0,36                        | 1,77                   |              |
| 2016                       | 0,06                        | 0,14                   | 2016                   | 0,36                        | 2,06                   |              |
| 2017                       | 0,06                        | 0,00                   | 2017                   | 0,36                        | 0,00                   |              |
| 2018                       | 0,06                        | 0,00                   | 2018                   | 0,36                        | 0,00                   |              |
| 2019                       | 0,06                        | 0,00                   | 2019                   | 0,36                        | 0,00                   |              |
| 2020                       | 0,04                        | 0,00                   | 2020                   | 0,20                        | 0,00                   |              |
| 2021                       | 0,04                        | 0,00                   | 2021                   | 0,20                        | 0,00                   |              |
| 2022                       | 0,04                        | 0,00                   | 2022                   | 0,20                        | 0,00                   |              |
| 2023                       | 0,04                        | 0,00                   | 2023                   | 0,20                        | 0,00                   |              |
| 2024                       | 0,04                        | 0,00                   | 2024                   | 0,20                        | 0,00                   |              |
| 2025                       | 0,04                        | 0,00                   | 2025                   | 0,15                        | 0,00                   |              |
| 2026                       | 0,04                        | 0,00                   | 2026                   | 0,15                        | 0,00                   |              |
| 2027                       | 0,04                        | 0,00                   | 2027                   | 0,15                        | 0,00                   |              |
| 2028                       | 0,04                        | 0,00                   | 2028                   | 0,15                        | 0,00                   |              |
| 2029                       | 0,04                        | 0,00                   | 2029                   | 0,15                        | 0,00                   |              |
| 2030                       | 0,04                        | 0,00                   | 2030                   | 0,15                        | 0,00                   | <b>TOTAL</b> |
| <b>TOTAL</b>               |                             | 0,78                   |                        |                             | 20,43                  | 21,21        |
| <b>Factor</b>              |                             |                        |                        |                             |                        | 0,88         |
| <b>Corregido</b>           |                             |                        |                        |                             |                        | 18,66        |
| <b>Inventario 2016</b>     |                             |                        |                        |                             |                        | 153,17       |
| <b>Reducción 2016-2030</b> |                             |                        |                        |                             |                        | 88%          |

Fuente: Elaboración propia



## 11.2 Escenario “No inclusión”

Tabla 54. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2030. Escenario “No inclusión”.

| Año a 2030 “No inclusión” |                 |                 |              |
|---------------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Años                      | Gasolina        | Diésel          | Eléctrico    |
| Más de 19                 | 3481556         | 4055959         | 0            |
| 19                        | 111309          | 273497          | 0            |
| 18                        | 108608          | 257772          | 0            |
| 17                        | 134784          | 296499          | 0            |
| 16                        | 186403          | 391809          | 0            |
| 15                        | 277456          | 494623          | 0            |
| 14                        | 385543          | 526680          | 13673        |
| 13                        | 442891          | 507704          | 0            |
| 12                        | 460088          | 527418          | 0            |
| 11                        | 473583          | 542888          | 0            |
| 10                        | 483716          | 554504          | 0            |
| 9                         | 489819          | 561500          | 0            |
| 8                         | 493543          | 565769          | 0            |
| 7                         | 496509          | 569169          | 0            |
| 6                         | 498910          | 571921          | 0            |
| 5                         | 500823          | 574115          | 0            |
| 4                         | 502748          | 576322          | 0            |
| 3                         | 505688          | 579692          | 0            |
| 2                         | 510999          | 585779          | 0            |
| 1                         | 519589          | 595627          | 0            |
| Nuevo                     | 543146          | 622631          | 0            |
| <b>Total</b>              | <b>11607712</b> | <b>14231879</b> | <b>13673</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos. Año 2030. Escenario “No inclusión”.

| Kilometraje Medio |                |
|-------------------|----------------|
| Gasolina          | 7141,40        |
| Diésel            | 12657,0        |
| Eléctrico         | 8440,0         |
| <b>Med. Pond</b>  | <b>10178,3</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 56. Emisiones de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>) por tipo de combustible y antigüedad. Año 2030. Escenario “No inclusión”.

| Gasolina NO <sub>x</sub>   |                             |                        | Diésel NO <sub>x</sub> |                             |                        |               |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------|
| Año                        | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |               |
| 2010 o ant.                | 0,06                        | 0,41                   | 2010                   | 0,70                        | 10,07                  |               |
| 2011                       | 0,06                        | 0,02                   | 2011                   | 0,70                        | 1,17                   |               |
| 2012                       | 0,06                        | 0,03                   | 2012                   | 0,70                        | 1,27                   |               |
| 2013                       | 0,06                        | 0,04                   | 2013                   | 0,70                        | 1,66                   |               |
| 2014                       | 0,06                        | 0,06                   | 2014                   | 0,70                        | 2,46                   |               |
| 2015                       | 0,06                        | 0,09                   | 2015                   | 0,36                        | 1,77                   |               |
| 2016                       | 0,06                        | 0,14                   | 2016                   | 0,36                        | 2,06                   |               |
| 2017                       | 0,06                        | 0,17                   | 2017                   | 0,36                        | 2,16                   |               |
| 2018                       | 0,06                        | 0,19                   | 2018                   | 0,36                        | 2,43                   |               |
| 2019                       | 0,06                        | 0,22                   | 2019                   | 0,36                        | 2,69                   |               |
| 2020                       | 0,04                        | 0,16                   | 2020                   | 0,20                        | 1,63                   |               |
| 2021                       | 0,04                        | 0,17                   | 2021                   | 0,20                        | 1,76                   |               |
| 2022                       | 0,04                        | 0,18                   | 2022                   | 0,20                        | 1,89                   |               |
| 2023                       | 0,04                        | 0,19                   | 2023                   | 0,20                        | 2,01                   |               |
| 2024                       | 0,04                        | 0,20                   | 2024                   | 0,20                        | 2,13                   |               |
| 2025                       | 0,04                        | 0,22                   | 2025                   | 0,15                        | 1,69                   |               |
| 2026                       | 0,04                        | 0,23                   | 2026                   | 0,15                        | 1,78                   |               |
| 2027                       | 0,04                        | 0,24                   | 2027                   | 0,15                        | 1,88                   |               |
| 2028                       | 0,04                        | 0,25                   | 2028                   | 0,15                        | 1,99                   |               |
| 2029                       | 0,04                        | 0,27                   | 2029                   | 0,15                        | 2,11                   |               |
| 2030                       | 0,04                        | 0,29                   | 2030                   | 0,15                        | 2,30                   | <b>TOTAL</b>  |
| <b>TOTAL</b>               |                             | <b>3,77</b>            |                        |                             | <b>48,92</b>           | <b>52,69</b>  |
| <b>Factor</b>              |                             |                        |                        |                             |                        | <b>0,88</b>   |
| <b>Corregido</b>           |                             |                        |                        |                             |                        | <b>46,37</b>  |
| <b>Inventario 2016</b>     |                             |                        |                        |                             |                        | <b>153,17</b> |
| <b>Reducción 2016-2030</b> |                             |                        |                        |                             |                        | <b>69,7%</b>  |

Fuente: Elaboración propia



### 11.3 Escenario “Mayor Verosimilitud”

Tabla 57. Distribución de vehículos en el parque por tipo de combustible y edad. Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”.

| Año 2030. Mayor verosimilitud |                |                 |                |
|-------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Años                          | Gasolina       | Diésel          | Eléctrico      |
| Más de 19                     | 3481556        | 4055959         | 0              |
| 19                            | 111309         | 273497          | 0              |
| 18                            | 108608         | 257772          | 0              |
| 17                            | 134784         | 296499          | 0              |
| 16                            | 186403         | 391809          | 0              |
| 15                            | 277456         | 494623          | 0              |
| 14                            | 385543         | 526680          | 13673          |
| 13                            | 431852         | 495050          | 23706          |
| 12                            | 444240         | 509251          | 34033          |
| 11                            | 451122         | 517141          | 48233          |
| 10                            | 452290         | 518479          | 67489          |
| 9                             | 446519         | 511864          | 92987          |
| 8                             | 434711         | 498327          | 126341         |
| 7                             | 417629         | 478746          | 169395         |
| 6                             | 394833         | 452614          | 223505         |
| 5                             | 366131         | 419712          | 289252         |
| 4                             | 332194         | 380808          | 366266         |
| 3                             | 294599         | 337711          | 453315         |
| 2                             | 255499         | 292890          | 548686         |
| 1                             | 216892         | 248632          | 650044         |
| Nuevo                         | 184259         | 211224          | 770711         |
| <b>Total</b>                  | <b>9808431</b> | <b>12169287</b> | <b>3877637</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Valores de kilometraje medio por tipo de combustible ponderado por número de vehículos. Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”.

| Kilometraje Medio |                |
|-------------------|----------------|
| Gasolina          | 6286,20        |
| Diésel            | 11167,4        |
| Eléctrico         | 16595,6        |
| <b>Med. Pond</b>  | <b>10129,8</b> |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 59. Emisiones de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>) por tipo de combustible y antigüedad. Año 2030. Escenario “Mayor verosimilitud”.

| Gasolina NO <sub>x</sub>   |                             |                        | Diésel NO <sub>x</sub> |                             |                        |              |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Año                        | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) | Año                    | Emisiones Corregidas (g/km) | Emisiones totales (kt) |              |
| 2010                       | 0,06                        | 0,41                   | 2010                   | 0,70                        | 10,07                  |              |
| 2011                       | 0,06                        | 0,02                   | 2011                   | 0,70                        | 1,17                   |              |
| 2012                       | 0,06                        | 0,03                   | 2012                   | 0,70                        | 1,27                   |              |
| 2013                       | 0,06                        | 0,04                   | 2013                   | 0,70                        | 1,66                   |              |
| 2014                       | 0,06                        | 0,06                   | 2014                   | 0,70                        | 2,46                   |              |
| 2015                       | 0,06                        | 0,09                   | 2015                   | 0,36                        | 1,77                   |              |
| 2016                       | 0,06                        | 0,14                   | 2016                   | 0,36                        | 2,06                   |              |
| 2017                       | 0,06                        | 0,17                   | 2017                   | 0,36                        | 2,11                   |              |
| 2018                       | 0,06                        | 0,19                   | 2018                   | 0,36                        | 2,35                   |              |
| 2019                       | 0,06                        | 0,20                   | 2019                   | 0,36                        | 2,56                   |              |
| 2020                       | 0,04                        | 0,15                   | 2020                   | 0,20                        | 1,52                   |              |
| 2021                       | 0,04                        | 0,15                   | 2021                   | 0,20                        | 1,61                   |              |
| 2022                       | 0,04                        | 0,16                   | 2022                   | 0,20                        | 1,66                   |              |
| 2023                       | 0,04                        | 0,16                   | 2023                   | 0,20                        | 1,69                   |              |
| 2024                       | 0,04                        | 0,16                   | 2024                   | 0,20                        | 1,69                   |              |
| 2025                       | 0,04                        | 0,16                   | 2025                   | 0,15                        | 1,24                   |              |
| 2026                       | 0,04                        | 0,15                   | 2026                   | 0,15                        | 1,18                   |              |
| 2027                       | 0,04                        | 0,14                   | 2027                   | 0,15                        | 1,10                   |              |
| 2028                       | 0,04                        | 0,13                   | 2028                   | 0,15                        | 0,99                   |              |
| 2029                       | 0,04                        | 0,11                   | 2029                   | 0,15                        | 0,88                   |              |
| 2030                       | 0,04                        | 0,10                   | 2030                   | 0,15                        | 0,78                   | <b>TOTAL</b> |
| <b>TOTAL</b>               |                             | 2,91                   |                        |                             | 41,82                  | 44,73        |
| <b>Factor</b>              |                             |                        |                        |                             |                        | 0,88         |
| <b>Corregido</b>           |                             |                        |                        |                             |                        | 39,36        |
| <b>Inventario 2016</b>     |                             |                        |                        |                             |                        | 153,17       |
| <b>Reducción 2016-2030</b> |                             |                        |                        |                             |                        | 74,3%        |

Fuente: Elaboración propia



## 12 Bibliografía

- [1]. “Inventario nacional de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 1990 – 2016”, Edición 2018, MAPAMA
- [2]. Portal web de la Comisión Europea (CE) - [https://ec.europa.eu/commission/index\\_es](https://ec.europa.eu/commission/index_es)
- [3]. “Energías alternativas para el transporte de pasajeros”, Instituto Vasco de Competitividad, 2017.
- [4]. “FROM LABORATORY TO ROAD: A 2015 update of official and “real-world” fuel consumption and CO<sub>2</sub> values for Passenger cars in Europe”, ICCT.
- [5]. Portal web de Dieselnet - <https://www.dieselnet.com/>
- [6]. Portal web de Lubrizol - <https://www.lubrizol.com/>
- [7]. Portal web del Ayuntamiento de Madrid <http://www.madrid.es/portal/site/munimadrid>
- [8]. “El Sistema Eléctrico Español”, Red Eléctrica de España (REE), 2016.
- [9]. Artículo de “El País”:  
[https://elpais.com/economia/2017/11/13/actualidad/1510572425\\_053333.html](https://elpais.com/economia/2017/11/13/actualidad/1510572425_053333.html)
- [10]. “Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050”, Monitor Deloitte, 2017
- [11]. “Análisis y propuestas para la descarbonización”, Comisión de Expertos de Transición Energética.
- [12]. “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación”, Monitor Deloitte.
- [13]. “Ten Year Network Development Plan”, ENTSOE, 2018.
- [14]. Portal web de la International Energy Agency - <https://www.iea.org/>
- [15]. Portal web Renault – <https://www.renault.es/>
- [16]. Portal web Nissan – <https://www.nissan.es/>
- [17]. Portal web BMW – <https://www.bmw.es/es/home.html>
- [18]. Portal web Peugeot – <https://www.peugeot.es/inicio.html>
- [19]. Portal web KIA - <https://www.kia.com/es/>
- [20]. Artículo Movilidad Eléctrica - <https://movilidadelectrica.com/probamos-la-autonomia-real-del-zoe-ze-40-carretera/>
- [21]. Artículo Corriente Eléctrica - <https://corrienteelectronica.renault.es/comparativa-mantenimiento-coche-electrico-frente-coche-termico/>
- [22]. “Renault Zoe, en conducción real: 309 km de autonomía... ¡y sin esforzarse!” , revista Autopista.



- [23]. “Renault ZOE R110: el eléctrico más vendido, ahora con motor más potente”, revista Autopista
- [24]. “Probamos la autonomía real del Renault Zoe ZE40 en carretera”, revista Autopista.
- [25]. Portal web “Mi coche eléctrico” - <https://micocheelectrico.com/>
- [26]. “Efficiency Test Method for Electric Vehicle Chargers”, University of Denmark; Kiildsen, Andreas; Thingvad, Andreas; Marinenas, Sergejus; Sorensen, Thomas Meier.
- [27]. “Car Battery Efficiencies”, University of Stanford, John Sun, 2010.
- [28]. <http://dolgin.net/Charging%20Lithium-Ion%20Batteries.html>
- [29]. Informe Banco Mundial rendimiento distribución eléctrica - <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.LOSS.ZS?end=2014&start=2005>
- [30]. Portal web Iberdrola - <https://www.iberdrola.es/>
- [31]. “Anuario estadístico”, Ministerio de Fomento, 2016.
- [32]. “Calidad del aire ambiente (exterior) y salud”, OMS. - [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [33]. “Informe sobre el proceso de ensayo llevado a cabo en España para la verificación de las emisiones de vehículos en uso.”, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España
- [34]. Portal web “Equa Index” - <http://es.equaindex.com/>
- [35]. “Monitoring CO<sub>2</sub> emissions from new passenger cars and vans in 2016”, European Environmental Agency (EEA)
- [36]. “FROM LABORATORY TO ROAD: A 2015 update of official and “real-world” fuel consumption and CO<sub>2</sub> values for Passenger cars in Europe”, ICCT
- [37]. “Road Tested: Comparative Overview Of Real-World Versus Type-Approval NO<sub>x</sub> And CO<sub>2</sub> Emissions From Diesel Cars In Europe” Chelsea Baldino, Uwe Tietge, Rachel Muncrief, Yoann Bernard, Peter Mock
- [38]. Portal web consulta sobre carburantes Ministerio de Industria, Energía y Turismo - <http://www.mincotur.gob.es/energia/es-ES/Servicios/Paginas/consultasdecarburantes.aspx>
- [39]. Portal web Seat - <http://www.seat.es/>
- [40]. Portal web Volkswagen - <https://www.volkswagen.es/es.html>
- [41]. Portal web Dacia - <https://www.dacia.es/>
- [42]. Portal web IDAE - <http://www.idae.es/>
- [43]. Portal web Dirección General de Tráfico (DGT) - <http://www.dgt.es/es/>
- [44]. “Industry Top Trends 2018”, Standard & Poor’s, 2017.



- [45]. “Encuesta de Hogares y Medio Ambiente”, Instituto Nacional de Estadística (INE), 2008
- [46]. Artículo Grupo IDV - <http://www.grupoidv.com/blog-itv/2016/02/09/tiene-la-itv-un-historial-de-kilometraje-de-los-coches/>
- [47]. “Analysis of vehicle odometer readings recorded at MOT tests” Vehicle Licensing Statistics, Department for Transport
- [48]. “Five Trends transforming the automotive industry”, PWC
- [49]. “Fueling Europe’s Future: How the transition from oil strengthens the economy”, The European Climate Foundation.
- [50]. “Inventario nacional de emisiones de contaminantes atmosféricos, 1990 – 2016”, Edición 2018, MAPAMA
- [51]. <http://cunefcom.blogspot.com.es/2007/12/diferencia-entre-reglamentos-y.html>
- [52]. “Informe anual 2015”, Observatorio de Transporte y Logística en España (OTLE), 2016.
- [54]. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-98-734\\_es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-98-734_es.htm)
- [55]. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0253&from=EN>
- [56]. [https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/climate-action/cutting-co2-emissions-heavy-duty-vehicles\\_es](https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/climate-action/cutting-co2-emissions-heavy-duty-vehicles_es)
- [57]. [https://ec.europa.eu/clima/consultations/impact-assessment-heavy-duty-vehicles-hdvs-co2-emission-standards\\_es](https://ec.europa.eu/clima/consultations/impact-assessment-heavy-duty-vehicles-hdvs-co2-emission-standards_es)
- [58]. “Movilidad Sostenible: El papel de la electricidad y el gas natural en varios países europeos”, Instituto Vasco de Competitividad, 2017.
- [59]. “El modelo eléctrico español en 2030: Escenarios y alternativas”, PwC.
- [60]. “When Will Electric Vehicles be Cheaper than Conventional Vehicles?”, Nikolas Soulopoulos for Bloomberg, 2017.
- [61]. “The Clean Mobility Package”, Eurelectric.
- [62]. “Impacto Ambiental y Económico del Vehículo Eléctrico privado en España.”, Fidel Fernández Bernal, 2000.
- [63]. <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>
- [64]. <https://www.ipsom.com/2017/01/repaso-de-los-precios-y-estado-de-la-energia-en-europa-en-el-2016/>
- [65]. “Inventario de emisiones de Contaminantes a la Atmósfera en el Municipio De Madrid 2014”, Área de gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid.