



Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Trabajo de Fin de Grado

Análisis de las decisiones de particulares en la compra de
vehículos eléctricos

Autor

Jorge Fernández Aguirre

Dirigido por

Andrés Díaz Casado

Manuel Pérez Bravo

Madrid

Junio 2022

Jorge Fernández Aguirre, declara bajo su responsabilidad, que el Proyecto con título **Análisis de las decisiones de particulares en la compra de vehículos eléctricos** presentado en la ETS de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2021/22 es de su 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.:

Fecha: 21 / 06 / 2022

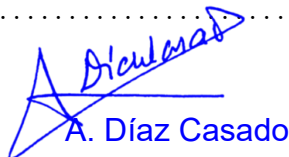
Autoriza la entrega:

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Andrés Díaz Casado y Manuel Pérez Bravo

Fdo.:

Fecha: 21 / junio / 2022



A. Díaz Casado

V. B. DEL COORDINADOR DE PROYECTOS

Mercedes Fernández García

Fdo.:

Fecha: / /



Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Trabajo de Fin de Grado

Análisis de las decisiones de particulares en la compra de
vehículos eléctricos

Autor

Jorge Fernández Aguirre

Dirigido por

Andrés Díaz Casado

Manuel Pérez Bravo

Madrid

Junio 2022

Análisis de las decisiones de particulares en la compra de vehículos eléctricos

Autor

Jorge Fernández Aguirre

Dirigido por

Andrés Díaz Casado

Manuel Pérez Bravo

Universidad Pontificia Comillas - ICAI

Resumen del Proyecto

Motivación

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo elaborar un modelo de decisión de compra de vehículos para un consumidor particular. El interés por el tema de la movilidad y en especial de la movilidad eléctrica viene por la elevada preocupación actual por el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles y por las emisiones relacionadas a dicho consumo. Además, este trabajo se realiza en un contexto de crecimiento y expansión por parte de los vehículos eléctricos que cada vez tienen mayor peso en el parque de vehículos y en el sector de la movilidad. Por ello, se ha considerado interesante y útil desarrollar un modelo que a través de hipótesis realice proyecciones de futuro sobre las decisiones de compra en la elección tecnológica de vehículos particulares, dando así lugar a un parque automovilístico que irá evolucionando hacia los vehículos eléctricos y cambiando las dinámicas relacionadas con la movilidad.

Metodología

Se ha desarrollado un modelo de decisión de Coste Generalizado que utiliza Disutility Costs porque es un modelo explícito, es decir, todos los costes asociados al vehículo eléctrico están cuantificados en un valor concreto, y porque permite modelar con facilidad los grupos de consumidores en los que se divide la población. Este tipo de modelos se ha utilizado para otros países como Dinamarca e Irlanda. El modelo realizará proyecciones entre los años 2020 y 2030 y se centrará en 3 tipos de

tecnología de vehículos: vehículos de combustión (ICE), vehículos eléctricos puros (BEV) y vehículos híbridos enchufables (PHEV).

Los costes que tiene en cuenta el modelo se dividen en dos tipos: Costes Tangibles y Costes Intangibles. Los Costes Tangibles son aquellos en los que se incurre de manera directa, es decir, el coste monetario que es posible medir de manera objetiva, y en ellos se recogen los Costes de Capital en el momento de la compra, los Costes de Operación y Mantenimiento a lo largo de la vida útil del vehículo y los Costes de Fiscalidad. Los Costes de Capital tienen en cuenta la fabricación del vehículo según sus distintos componentes y el tipo de tecnología y en ellos se encuentra una de las primeras hipótesis que toma el modelo, que es la de una reducción anual del precio de la batería eléctrica de alrededor del 50 % en 2030. Para los Costes de Operación y Mantenimiento se realiza una calibración de costes por la cual el coste en el que incurre el comprador particular en años cercanos en el tiempo tienen más valor que en años futuros, como forma de incluir el factor de riesgo e incertidumbre en el modelo. Por último, los Costes de Fiscalidad son aquellos asociados a impuestos, ayudas y subvenciones según el tipo de vehículo, que se han querido tener en cuenta por separado para resaltar el impacto que tiene la regulación en las decisiones de compra. El programa MOVES III contiene las ayudas a la compra de vehículos eléctricos.

En segundo lugar, los Costes Intangibles representan las inconveniencias que sufre un comprador de una tecnología nueva o en desarrollo que en este caso se trata de los vehículos eléctricos. Uno de los costes tangibles es el Coste por Disponibilidad de modelos, que otorga un coste según la variedad de modelos de un tipo de vehículo en el mercado. Un tipo de tecnología que tenga pocos modelos en el mercado conlleva una menor fiabilidad para el comprador y por ello se le adjudica un coste elevado en comparación con otro tipo de vehículo que esté mucho más extendido. El otro coste que forma los Costes Intangibles es el de Ansiedad de la autonomía, relacionado con la gran preocupación que supone para un propietario de un vehículo eléctrico la duración de la batería y la disponibilidad de recarga. Con este coste se introduce en el modelo la variable de estaciones de recarga eléctrica en funcionamiento como otro parámetro que afecta directamente a la decisión de compra de un vehículo eléctrico.

Una vez elaborados los costes totales en la vida útil de todos los vehículos según su tamaño y el perfil de conductor, se puede extraer uno de los resultados más relevantes del modelo que es cuándo se alcanza la paridad de costes. La paridad de costes es el nombre que recibe el momento en que el coste de dos tipos de vehículo se iguala por la evolución de los mismos, y supone un resultado fundamental porque significa el año a partir del cuál un tipo de vehículo será menos costoso para el comprador en su vida útil. Por lo tanto, más compradores optarán por la tecnología eléctrica ya que tiene un menor coste.

A continuación se definen los grupos de consumidores en los que se divide la población. Para este trabajo se han utilizado 3 tamaños de vehículo (pequeño, mediano y grande) y 3 perfiles de conducción (casual, medio y frecuente) y los grupos de consumidores se obtienen como las 9 combinaciones posibles entre estos parámetros, quedando así definidos 9 grupos de consumidores.

Resultados

Tras calcular los costes totales en la vida útil de los vehículos y definir los distintos grupos de consumidores, se procede a calcular la cuota de mercado que cada tipo de vehículo tendrá según el peso que tenga cada grupo de consumidores en las compras anuales. De esta forma se obtienen las cuotas de mercado para cada tipo de vehículo y su evolución entre 2020 y 2030, de donde se puede extraer el peso que irá cogiendo cada tecnología en las compras anuales.

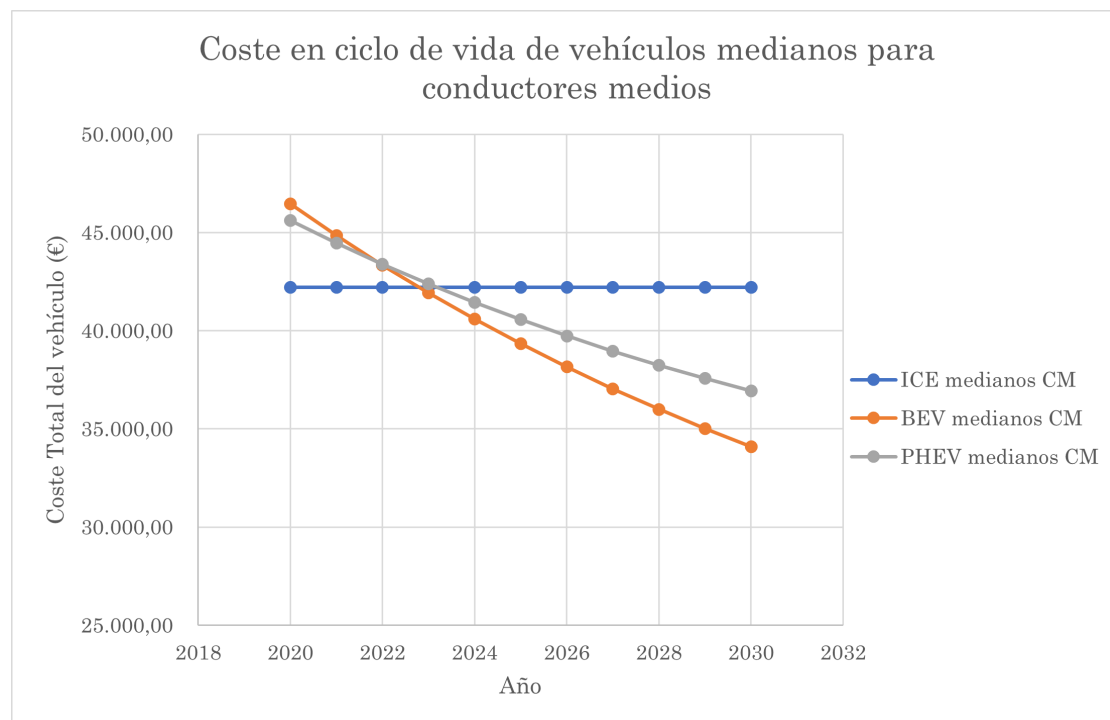


Figura 1: Costes Totales Escenario 1

Por último, los resultados de las distintas cuotas de mercado especificadas anteriormente se introducen en el modelo de parque del OVEMS, un modelo de energía y transporte que a partir de series históricas de datos realiza proyecciones de parque de vehículos y su consumo de energía y emisiones de CO₂ asociados.

Este modelo toma la hipótesis de mantener un recorrido anual constante para todo el parque de vehículos y realiza proyecciones sobre bajas de vehículos según la antigüedad y matriculaciones para cumplir dicha hipótesis, pero en este caso las matriculaciones vienen dadas como resultado de este modelo de decisión de compra. De esta manera, se integra el modelo económico de decisión de compra en un modelo de energía y transporte del que se extraen como resultados el parque de vehículos, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ entre 2020 y 2030.

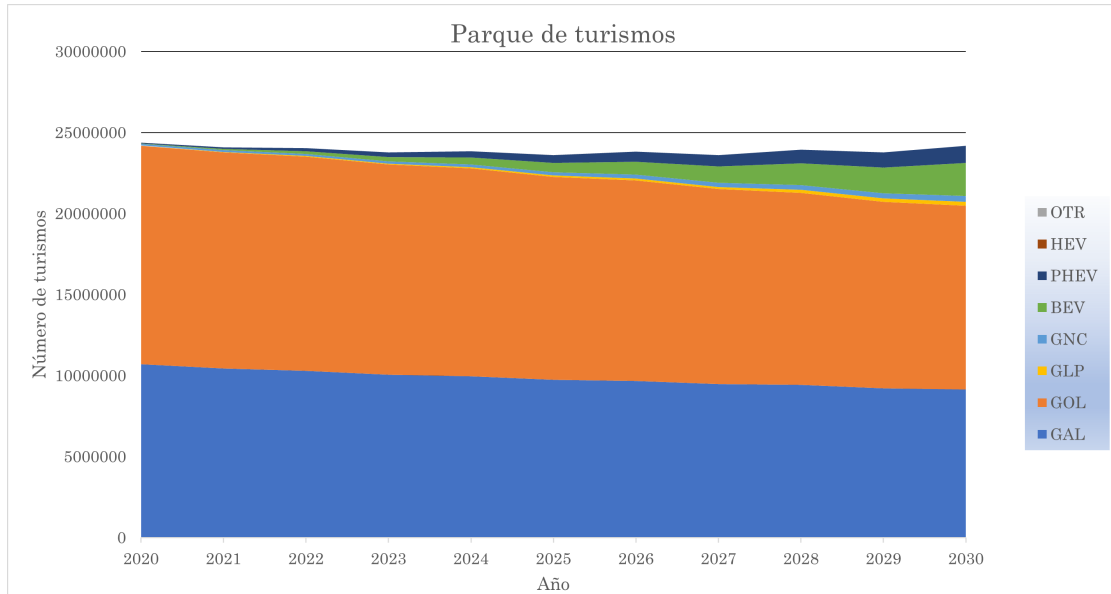


Figura 2: Parque Escenario 1

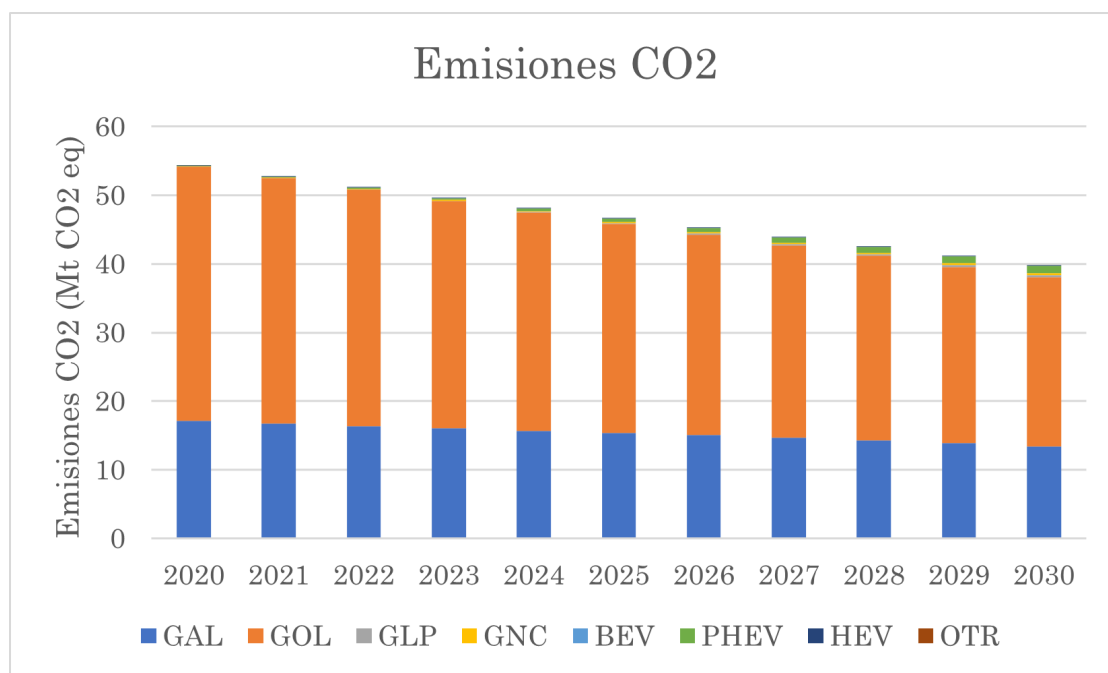


Figura 3: Emisiones Escenario 1

Con la ayuda del modelo descrito, es posible evaluar varios escenarios. El Escenario 1 o caso base toma como hipótesis una reducción del coste del vehículo eléctrico (PHEV y BEV) por el abaratamiento de las baterías y un coste constante de los vehículos ICE. Además, se considera una reducción del 2% anual del coste de la electricidad y un coste constante de la gasolina entre 2020 y 2030. Con estas hipótesis, se obtienen unos resultados hasta 2022 muy similares a los que se han ido dando en la vida real y unas proyecciones para el 2030 de unos 3 millones de vehículos eléctricos, que es la cifra que han recogido distintos organismos e instituciones para el mismo año. Estas similitudes hacen que se tome el Escenario 1 como un caso de referencia a partir del cual realizar estudios de sensibilidad de diferentes parámetros de entrada del modelo.

Los precios de los minerales críticos para la fabricación de baterías han visto comprometidas sus cadenas de suministro por una mayor competición por estos minerales a nivel global, y recientemente por la guerra en Ucrania. En segundo lugar, la crisis del gas y de nuevo la guerra han disparado los precios de la electricidad por una falta de suministro de combustibles fósiles y una delicada seguridad energética. Por ello se desarrollan dos escenarios más: el Escenario 2 como estudio de sensibilidad del coste de las baterías en el que se supone que la reducción del coste de las mismas no es tan pronunciada, pasando del 7,5% anual de reducción al 5%, y el Escenario 3 como estudio de sensibilidad del coste de la electricidad en el

que se aumenta el coste de la misma de 13 c€/kWh a 28c€/kWh y dicho coste se mantiene constante entre 2020 y 2030. Los resultados del Escenario 2 contienen un retraso de un año en la equidad de costes entre vehículos de combustión y eléctricos, y el reparto de la cuota de mercado es del 10 % menos que en el escenario base. Además, en este escenario se obtiene 1 millón menos de vehículos eléctricos que en el Escenario 1 y, como consecuencia, las emisiones son más elevadas. El Escenario 3 también supone un retraso en el momento de alcanzar la paridad de costes y sus cuotas de mercado de vehículos eléctricos sufren una reducción menor que la del Escenario 2. De esta forma, se posicionan con un resultado intermedio en parque de vehículos eléctricos y emisiones, entre los Escenarios 1 y 2.

Conclusiones

Como conclusión de este trabajo, se utilizan algunos escenarios de referencia publicados por distintas instituciones y organizaciones nacionales e internacionales para comparar sus proyecciones con las que resultan de este trabajo. Los resultados coinciden con los propuestos en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, que hablan de 3 millones de vehículos eléctricos en 2030 y de alcanzar la paridad de coste en 2025. Los resultados son también similares a los Escenarios propuestos por el Electric Vehicle Outlook, de una cuota de mercado del 50 % para vehículos eléctricos. Por otro lado, de la comparación de los Escenarios 2 y 3 se concluye que una modificación de las proyecciones acerca de la batería tiene un mayor impacto en la movilidad eléctrica que el cambio del precio de la electricidad. Para finalizar, la conclusión general de este trabajo es que es de vital importancia tener en cuenta las decisiones de los compradores particulares en las proyecciones de la evolución y el desarrollo de la electromovilidad.

Analysis of decisions of consumers in the purchase of electric vehicles

Author

Jorge Fernández Aguirre

Directed by

Andrés Díaz Casado

Manuel Pérez Bravo

Universidad Pontificia Comillas - ICAI

Abstract of the Project

Motivation

This Final Degree Project aims to develop a vehicle purchase decision model for an individual buyer. The interest in the subject of mobility and especially electric mobility comes from the current high concern about the consumption of energy from fossil fuels and the emissions related to this consumption. In addition, this work is carried out in a context of growth and expansion by electric vehicles, which are increasingly important in the vehicle fleet and in the mobility sector. Therefore, it has been considered interesting and useful to develop a model that, through different hypotheses, makes future projections about the role that electric vehicles will play in mobility between 2020 and 2030 and the effects that will occur as a consequence of a greater or lesser evolution towards electric mobility.

Methodology

To develop this decision model, the Generalized Costs that utilizes Disutility Costs type of model has been used because it is an explicit decision model (that is, all the costs associated with the electric vehicle are quantified in a specific value) and because it allows to easily model the groups of consumers into which the population is divided. The model will make projections between the years 2020 and 2030 and will focus on 3 types of vehicle technology: combustion vehicles (ICE), pure electric vehicles (BEV) and plug-in hybrid vehicles (PHEV) and 3 vehicle sizes: small, medium and large.

The costs that the model takes into account are divided into two types: Tangible Costs and Intangible Costs. The Tangible Costs are those that are incurred directly, that is, those that cost money, and they include the Capital Costs at the time of purchase, the Operation and Maintenance Costs throughout the life useful life of the vehicle and Taxation Costs. The Capital Costs take into account the manufacture of the vehicle according to its different components and the type of technology, and they contain one of the first hypotheses taken by the model, which is that of an annual reduction in the price of the electric battery of around of 50 % in 2030. For Operation and Maintenance Costs, a cost calibration is carried out whereby the cost incurred by the individual buyer in close years in time has more value than in future years, as a way of including the risk factor and uncertainty in the model. Lastly, Taxation Costs are those associated with taxes, aid and subsidies depending on the type of vehicle, which have been taken into account separately to highlight the impact that regulation has on purchasing decisions.

On the other hand, Intangible Costs represent the inconvenience suffered by a buyer of a new or developing technology, which in this case is electric vehicles. These costs are divided into Cost by Availability of models, which grants a cost according to the variety of models of a type of vehicle on the market, that is, a type of technology that has few models on the market entails less reliability for the buyer, and for this reason it is awarded a high cost compared to another type of vehicle that is much more widespread. The other cost that forms the Intangible Costs is that of Range Anxiety, related to the great concern that the owner of an electric vehicle entails for the duration of the battery and the availability of recharging. With this cost, the variable of electric charging stations in operation is introduced into the model as another parameter that directly affects the decision to purchase an electric vehicle.

Results

Once the total costs in the useful life of all the vehicles have been elaborated according to their size and driver profile, one of the most relevant results of the model can be extracted, which is when cost parity is reached. Cost parity is the name given to the moment in which the cost of two types of vehicle is equalized by their evolution, and it is a fundamental result because it means the year from which a type of vehicle will be less expensive for the buyers in its useful life and therefore, their decision will be to buy the one with the lowest cost.

Then, the groups of consumers into which the population is divided are defined. For this project, 3 vehicle sizes (small, medium and large) and 3 driving profiles (casual, medium and frequent) have been used and the consumer groups are ob-

tained as the 9 possible combinations between these parameters, thus defining 9 groups of consumers.

After calculating the total costs in the useful life of the vehicles and defining the different groups of consumers, we calculate the market share that each type of vehicle will have according to the weight that each group of consumers has in annual purchases. In this way, the market shares for each type of vehicle and its evolution between 2020 and 2030 are obtained, from which the importance that each technology will gain in annual purchases can be extracted.

Finally, the results of the different market shares specified above are entered into the OVEMS model, an energy and transportation model that, based on historical data series, makes projections of the vehicle fleet and its energy consumption and CO₂ emissions associated. This model takes the hypothesis of maintaining a constant annual route for the entire fleet of vehicles and makes projections on vehicle retirements according to age and registrations to fulfill those hypothesis, but in this case the registrations are given as a result of this decision model of purchase. In this way, the economic model of purchase decision is integrated into an energy and transport model from which the vehicle fleet, energy consumption and CO₂ emissions between 2020 and 2030 are extracted as results.

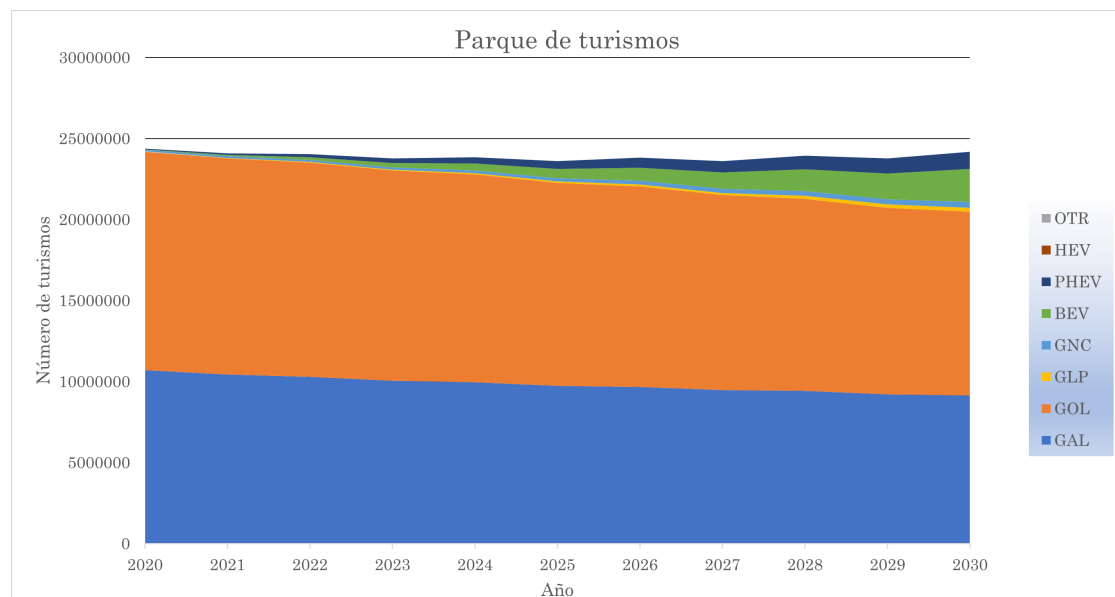


Figura 4: Scenario 1 Fleet

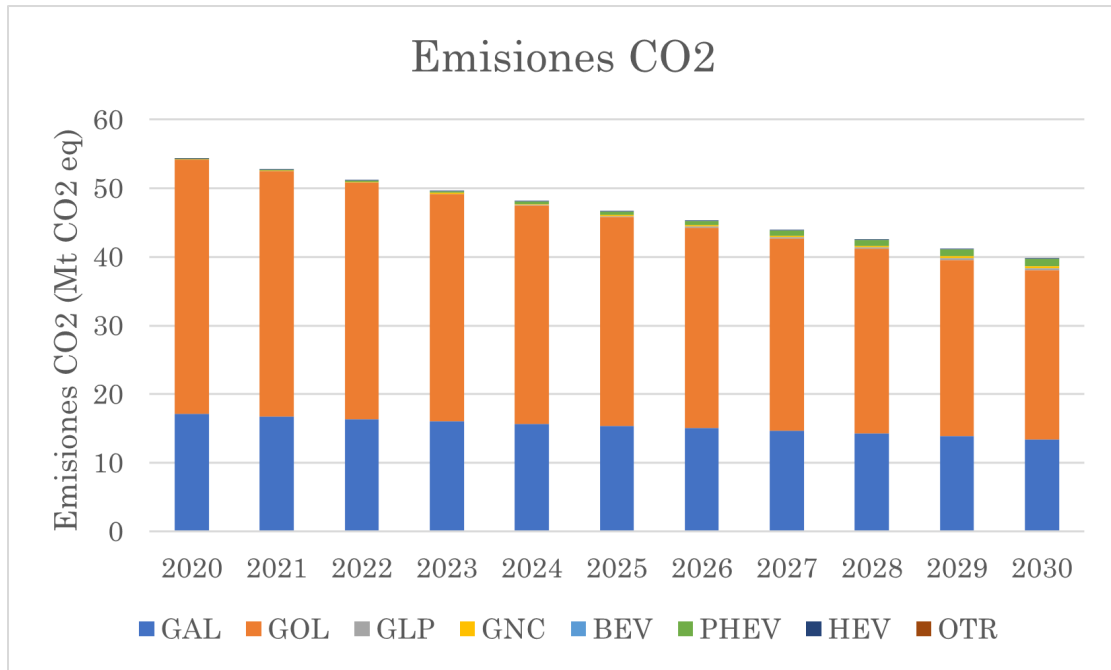


Figura 5: Scenario 1 Emissions

Scenario 1 or base case hypothesizes a reduction in the cost of electric vehicles (PHEVs and BEVs) due to cheaper batteries and a constant cost of ICE vehicles. In addition, a reduction of 2% per year in the cost of electricity and a constant cost of fuel between 2020 and 2030 are considered. With these hypotheses, results are obtained up to 2022 that are very similar to those that have been given in real life, so it is considered that it can be taken as a reference case from which to carry out sensitivity studies of different input parameters of the model. For this reason, two more scenarios are developed: Scenario 2 as a sensitivity study of the cost of the batteries in which it is assumed that the reduction in their cost is not as pronounced, going from a 7.5% annual reduction to 5%, and Scenario 3 as a sensitivity study of the cost of electricity in which the cost of electricity is increased from 13 c€/kWh to 28c€/kWh and this cost remains constant between 2020 and 2030. The results of Scenario 2 contain a return of one year on the equation of costs between combustion vehicles and electricians, and the share of the market share is 10% less than in the base scenario. In addition, in this scenario, there are 1 million less electric vehicles than in Scenario 1 and, as a consequence, the emissions are higher. The Scenario 3 also offers a return at the moment of launching the cost parity and its electric vehicle market quotas suffer a minor reduction that of the Scenario 2. Of this form, is positioned with an intermediate result in the vehicle park emissions, between Scenarios 1 and 2.

Conclusion

As a conclusion to this project, some reference scenarios published by different national and international institutions and organizations are used to compare their projections with those resulting from this work. Also, the effect that the different hypotheses would have on the total cost of the vehicles, on the resulting fleet and on their associated emissions is analysed. On the other hand, the comparison of Scenarios 2 and 3 concludes that a modification of the projections of the battery has a greater impact on the electric mobility than the change in the price of electricity. To finalize, the general conclusion of this work is that it is vital to take into account the decisions of particular consumers in the projections of evolution and the development of electric mobility.

Índice general

1. Motivación	19
2. Revisión del Estado del Arte	22
2.1. Costes Tangibles	24
2.1.1. Coste de Capital	24
2.1.2. Operación y Mantenimiento	27
2.1.3. Costes de Fiscalidad	30
2.2. Costes Intangibles	32
2.2.1. Disponibilidad de modelos	32
2.2.2. Ansiedad de la autonomía	33
3. Metodología	34
3.1. Modelo de Costes Generalizados utilizando Disutility Costs	34
3.2. Calibración de Costes	35
3.3. Grupos de consumidores	36
3.4. Parámetros de entrada e hipótesis del modelo	37
3.5. Integración del modelo en el modelo OVEMS	38
3.6. Escenarios de referencia	40
3.6.1. Escenarios World Energy Outlook	40
3.6.2. Escenario Electric Vehicle Outlook	41
3.6.3. Escenario Plan Nacional Integrado de Energía y Clima	41
4. Resultados	42
4.1. Escenario 1: Caso base	42
4.1.1. Hipótesis	42
4.1.2. Costes Totales	43
4.1.3. Cuotas de mercado	48
4.1.4. Parque	50
4.1.5. Emisiones	51
4.2. Escenario 2: Estudio de sensibilidad del coste de las baterías	51
4.2.1. Hipótesis	52

4.2.2.	Costes	52
4.2.3.	Cuotas de mercado	53
4.2.4.	Parque	54
4.2.5.	Emisiones	55
4.3.	Escenario 3: Estudio de sensibilidad del coste de la electricidad . . .	56
4.3.1.	Hipótesis	56
4.3.2.	Costes	57
4.3.3.	Cuotas de mercado	58
4.3.4.	Parque	58
4.3.5.	Emisiones	59
4.4.	Resumen de Resultados	60
5.	Conclusiones	63
5.1.	Escenario 1	63
5.2.	Escenario 2	65
5.3.	Escenario 3	66
5.4.	Conclusiones generales	67
A.	Resultados completos	68
A.1.	Escenario 1: Caso Base	69
A.1.1.	Costes Totales en Ciclo de Vida según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor	69
A.1.2.	Cuotas de mercado	72
A.1.3.	Parque de vehículos	73
A.1.4.	Emisiones de CO2	74
A.2.	Escenario 2: Estudio de sensibilidad del coste de las baterías	75
A.2.1.	Costes Totales en Ciclo de Vida según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor	75
A.2.2.	Cuotas de mercado	78
A.2.3.	Parque de vehículos	79
A.2.4.	Emisiones de CO2	80
A.3.	Escenario 3: Estudio de sensibilidad del coste de la electricidad . . .	81
A.3.1.	Costes Totales en Ciclo de Vida según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor	81
A.3.2.	Cuotas de mercado	84
A.3.3.	Parque de vehículos	85
A.3.4.	Emisiones de CO2	86
B.	Explicación del modelo	87
B.1.	Partes del fichero	87
B.1.1.	Pestañas generales	87

B.1.2. Pestañas de cálculo de costes	88
B.1.3. Pestañas de resultados	91
C. Alineación con los ODS	93

Índice de figuras

1.	Costes Totales Escenario 1	3
2.	Parque Escenario 1	4
3.	Emisiones Escenario 1	5
4.	Scenario 1 Fleet	9
5.	Scenario 1 Emissions	10
2.1.	Costes de Capital	27
2.2.	Costes de Capital con Costes de Fiscalidad	32
4.1.	Costes Totales de vehículos pequeños	45
4.2.	Costes Totales de vehículos medianos	46
4.3.	Costes Totales de vehículos grandes	47
4.4.	Cuotas de mercado	49
4.5.	Parque de turismos	50
4.6.	Emisiones de CO ₂	51
4.7.	Comparativa Costes Totales (conductor medio y vehículo mediano)	53
4.8.	Cuotas de mercado	54
4.9.	Parque de turismos	55
4.10.	Emisiones de CO ₂	56
4.11.	Comparativa Costes Totales (conductor medio y vehículo mediano)	57
4.12.	Cuotas de mercado	58
4.13.	Parque de turismos	59
4.14.	Emisiones de CO ₂	60
4.15.	Comparativa Escenarios Emisiones de CO ₂	62
A.1.	Costes Totales de vehículos pequeños	69
A.2.	Costes Totales de vehículos medianos	70
A.3.	Costes Totales de vehículos grandes	71
A.4.	Cuotas de mercado	72
A.5.	Parque de turismos	73
A.6.	Emisiones de CO ₂	74
A.7.	Costes Totales de vehículos pequeños	75

A.8. Costes Totales de vehículos medianos	76
A.9. Costes Totales de vehículos grandes	77
A.10. Cuotas de mercado	78
A.11. Parque de turismos	79
A.12. Emisiones de CO ₂	80
A.13. Costes Totales de vehículos pequeños	81
A.14. Costes Totales de vehículos medianos	82
A.15. Costes Totales de vehículos grandes	83
A.16. Cuotas de mercado	84
A.17. Parque de turismos	85
A.18. Emisiones de CO ₂	86
B.1. Pestaña Inputs del fichero Excel	88
B.2. Pestaña Coste Capital del fichero Excel	89
B.3. Pestaña Coste Operación y Mantenimiento del fichero Excel	89
B.4. Pestaña Calibración de Coste del fichero Excel	90
B.5. Pestaña Costes Tangibles del fichero Excel	90
B.6. Pestaña Resultados Costes del fichero Excel	91
B.7. Pestaña Resultados Cuotas de Mercado del fichero Excel	92

Índice de tablas

2.1. Capacidad de las baterías	26
2.2. Desglose de Costes de Capital en 2020	26
2.3. Recorrido anual y vida útil	28
2.4. Consumo energético y coste	29
2.5. Costes de Mantenimiento	29
2.6. Impuesto sobre matriculación	30
2.7. Impuesto sobre circulación	31
2.8. Desglose de costes totales	33
3.1. Grupos de consumidores	37
3.2. Parámetros de entrada al modelo	38
3.3. Políticas de fabricantes	41
4.1. Resumen de Resultados de Costes Totales	48
4.2. Cuotas de mercado vehículos eléctricos	49
4.3. Resumen de resultados 1	61
4.4. Resumen de resultados 2	61

Capítulo 1

Motivación

La movilidad es el sector con mayor consumo de energía en España, alcanzando un 40 % del total nacional según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [**idae**]. Además, los turismos representan el 15 % de la energía total consumida a nivel nacional. El consumo de energía es un dato que puede pasar más desapercibido en el contexto de la sociedad, pero las emisiones relacionadas a dicho consumo sí son relevantes socialmente por sus efectos nocivos para la salud humana y de los ecosistemas terrestres. El sector transporte representa el 25 % de las emisiones de gases de efecto invernadero en España según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [**miteco**]. La preocupación de los gobiernos y organizaciones internacionales por reducir las emisiones relacionadas con el transporte no solo se deben al gran porcentaje de las emisiones totales que este sector produce, sino por el crecimiento de las mismas que se ha observado en el tiempo. Según el Ministerio previamente mencionado, las emisiones relacionadas con el transporte fueron de 77,2 MtCO₂-eq en 2014, lo que supone un incremento del 50 % con respecto a 1990.

En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero, el sector de transporte es una de las actividades con mayores emisiones en España. Por delante se encuentra el sector de la industria, que ocupa el primer puesto con 80 MtCO₂-eq en emisiones, y va seguido por los sectores de hogar o doméstico, la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, y el sector del suministro eléctrico, de gas, de vapor y de agua.

El objetivo de reducir las emisiones de CO₂ es transversal y afecta a diversos agentes en el sector de la movilidad. En primer lugar, los proveedores de combustible pueden alterar la composición de los combustibles introduciendo bio-etanol y bio-diésel a la gasolina y el gasóleo e incrementando la oferta de combustibles alternativos como el Gas Natural Comprimido (GNC), el Gas Licuado del Petróleo (GLP) o el hidrógeno (H₂). Los fabricantes de automóviles tienen la capacidad

de invertir en investigación para mejorar la eficiencia y encontrar tecnologías que reduzcan las emisiones producidas. Por otro lado, las instituciones de Gobierno pueden aplicar medidas y políticas que limiten el uso de vehículos que no cumplan ciertos estándares de actuación o subvencionar mediante ayudas la compra de vehículos menos contaminantes como los eléctricos. Y por último, los consumidores tienen un papel fundamental en la reducción de emisiones a través de sus decisiones de movilidad: compra de vehículos, elección de modos, hábitos de transporte, etc.

En la compra de vehículos, la movilidad eléctrica está teniendo un impacto cada vez mayor entre los consumidores particulares. Según el Observatorio Europeo de Combustibles Alternativos (EAFO) se alcanzó un parque de 159.234 turismos eléctricos en España en 2020 (que incluyen vehículos de batería e híbridos enchufables) [**eafofleet**]. Además, el porcentaje de matriculaciones de turismos eléctricos se ha visto incrementado en España desde un 0,9 % en 2018 hasta un 7,8 % en 2021 y actualmente sigue creciendo según otro informe de EAFO [**eafoshare**].

Los vehículos eléctricos constituyen una tecnología emergente que está obteniendo cada vez más aceptación entre compradores particulares por diversos factores. Uno de los factores económicos más relevantes a la hora de la compra es el aumento de subvenciones y ayudas, que actualmente llega hasta los 5500 € según el Programa MOVES III de Incentivos a la Movilidad Eficiente y Sostenible recogido en el BOE aprobado en abril de 2021 [**boemoves**]. Otro factor clave en el aumento de flota de turismos eléctricos es la mejora de los propios vehículos que ha incrementado la autonomía y ha mejorado las baterías, abaratando el coste total del vehículo. Por último, se debe tener en cuenta una mejor infraestructura y disponibilidad de recarga, que según EAFO, anteriormente citado, se ha visto aumentada entre 2018 (4000 puntos de recarga) y 2021 (6000 puntos de recarga).

Sin embargo, han de considerarse también los factores económicos de operación del vehículo. Uno de los aspectos fundamentales que afecta directamente a la movilidad es el tipo de combustible y su precio. Actualmente, debido a los conflictos internacionales y a la crisis económica provocada por la pandemia Covid-19, se está pudiendo observar lo volátil que resulta el mercado del combustible y de las fuentes de energía. Los combustibles fósiles han sufrido un crecimiento de su precio hasta alcanzar los 2 €/l en la actualidad, 70 c€ más caro que en 2020 según el Boletín Petrolero de la Unión Europea [**petrol**], lo cual puede resultar un factor determinante para compradores particulares que deben decidir entre un vehículo de combustión o uno eléctrico. Por otro lado, la electricidad también ha sufrido una variación en los precios por la que se ha llegado a duplicar el precio de la electricidad que actualmente tiene una media de 30 c€/kWh, frente a los 15 c€/kWh que costaba en 2021, según informes de la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) [**ocu**]. Todas estas variaciones del coste del combustible afectan de

manera directa en el coste total a lo largo de la vida útil de un vehículo, y a nivel particular, tienen una gran importancia al decidir comprar un tipo de vehículo u otro. El modelo recoge detalladamente las proyecciones de este tipo de parámetros para que el usuario pueda modelarlos según sus hipótesis y escenarios.

Este trabajo se centra en elaborar un modelo de proyección de las decisiones de compra de particulares en España. El valor añadido de este trabajo recae en aportar un modelo de elección discreta para la compra de vehículos nuevos en España, del que actualmente no se dispone para la elaboración de predicciones de flota en investigación. Además se realizará un estudio de distintos escenarios extraídos de informes nacionales e internacionales.

A nivel nacional, no se dispone de un modelo de elección discreta que realice proyecciones sobre la compra de vehículos eléctricos por parte de compradores particulares, aunque a nivel internacional existen países que sí cuentan con un modelo así como el CarStock de Dinamarca e Irlanda, o el MA3T de Estados Unidos. Además, siguiendo los avances de la introducción de vehículos eléctricos en la flota española, se puede observar la diferencia que hay con los objetivos propuestos a nivel nacional como los que se encuentran en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima [pniec], por lo que resulta interesante realizar proyecciones a largo plazo para estudiar la posible evolución de la flota. Por otro lado, la continua mejora de la eficiencia, con baterías con mayor capacidad que generan una mayor autonomía, junto a factores que sufren cambios constantemente como puede ser una mayor disponibilidad de recarga y ayudas y subvenciones hacen que cada vez sea más atractivo para los compradores particulares adquirir un vehículo eléctrico.

Por todo lo anterior, un estudio de los factores económicos para los compradores y su adaptación a una nueva tecnología puede presentar un punto de vista fundamentado y que permita tener una idea concreta de cómo van a evolucionar las decisiones de compra. Este trabajo se ha integrado en el modelo de proyección de flota de vehículos Observatorio del Vehículo Eléctrico y Movilidad Sostenible de la Universidad de Comillas (OVEMS, [ovems]). Se van a utilizar también las bases de datos del Observatorio. Al integrar un modelo de simulación de compra por parte de particulares, se sacia la necesidad del modelo del OVEMS de representar la parte económica y social de la transición hacia la movilidad eléctrica.

Mediante el planteamiento de diferentes escenarios y tomando las hipótesis que se considere oportuno, este modelo permite realizar proyecciones entre 2020 y 2030 de las que se obtienen resultados acerca de los costes totales en la vida útil del vehículo, las cuotas de mercado asociadas, la evolución del parque total de vehículos y las emisiones resultantes de dicho parque. De esta manera, el modelo permite realizar análisis económicos, energéticos y de transporte y, partiendo de parámetros de entrada muy específicos se obtienen resultados a nivel nacional.

Capítulo 2

Revisión del Estado del Arte

Actualmente existe una gran incertidumbre sobre la incidencia que va a tener la movilidad eléctrica como alternativa a la convencional, ya que depende de diversos factores que van desde la propia fabricación hasta la infraestructura necesaria, pasando por la regulación que acompañe a estas nuevas tecnologías. Por un lado, los fabricantes del automóvil están haciendo un gran esfuerzo por optimizar los modelos de los vehículos y mejorar sus baterías y por lo tanto su autonomía. Por otro lado, tanto el sector público como el privado se están adaptando a la movilidad eléctrica desplegando puntos de recarga en las ciudades de forma progresiva. Por último, las ayudas y subvenciones a compradores de vehículos eléctricos pretenden impulsar la movilidad eléctrica pero se encuentran distintos comportamientos por parte de los particulares a la hora de adoptar esta nueva forma de movilidad.

Este trabajo se realiza teniendo en cuenta los objetivos fijados a nivel nacional e internacional. Algunos de estos objetivos son: el Objetivo de Cero Emisiones en 2050 adoptado por un número de países [**estrategia**] y simulado en el ‘World Energy Outlook 2021’ elaborado por la IEA en el que se cifra en un 60 % las ventas de vehículos eléctricos. Por otro lado, el ‘Electric Vehicle Outlook 2021’ cifra en 14 millones de ventas de vehículos eléctricos en 2025 [**evo**]. A nivel nacional, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) elaborado en 2020 recoge el objetivo de tener 5 millones de vehículos eléctricos en la flota para 2025 [**pniec**].

Para representar la manera en la que los consumidores elegirán el tipo de tecnología de su vehículo se pueden utilizar distintos modelos, aquí se presentan tres modelos en concreto que son los más comunes para modelar las decisiones y el comportamiento del consumidor. Los Modelos de Elección Discreta calculan la probabilidad de una decisión individual dentro de un conjunto finito de opciones, basándose en la maximización de utilidad para el individuo. Cada alternativa esta caracterizada por parámetros tangibles e intangibles de forma similar a la explicada anteriormente pero no es útil en este trabajo porque requiere demasiada potencia

computacional ya que trata muchos valores según las distintas alternativas de elección.

El segundo modelo es el modelo de Elasticidades de Sustitución Constantes. El parámetro de elasticidad de sustitución mide la respuesta del coste marginal relativo entre dos parámetros de entrada a un cambio de la proporción de los mismos parámetros. Este modelo se puede ilustrar con su ejemplo más utilizado, el de los factores productivos de capital y trabajo: si en la fabricación de un producto 2 parámetros principales son capital y trabajo en unos porcentajes concretos, y uno de estos dos varía, este modelo estudia cuánto afecta al coste el cambio de los porcentajes de los parámetros de entrada. El modelo de Elasticidades de Sustitución Constantes necesita unos valores para las elasticidades de cada parámetro, lo cual no se puede calcular empíricamente por lo que su uso es complejo y por ello tampoco va a ser el modelo utilizado en este trabajo.

Por último, el modelo de Coste Generalizado que utiliza Disutility Costs incluye costes no monetarios relacionados con la incomodidad o inconveniencia de adoptar una tecnología nueva, como puede ser no encontrar puntos de recarga o la poca variedad de vehículos a elegir [**mulholland**]. Estos costes intangibles se introducen como valores monetarios concretos según la inconveniencia que presente al consumidor y permite caracterizar grupos de consumidores según su facilidad de adaptación a una nueva tecnología y a sus preferencias. Este modelo permite modelar distintos grupos de consumidores con mayor o menor heterogeneidad y es explícito, es decir, cuantifica el valor monetario de los costes intangibles sobre los cuales es posible actuar, por ello el modelo de Coste Generalizado será el utilizado en este trabajo.

En este trabajo se calculan los costes totales de un vehículo como la suma de Costes Tangibles e Intangibles. Esta clasificación se extrae de un trabajo de investigación que ha desarrollado un modelo de elección discreta de decisiones de compra para Dinamarca e Irlanda [**mulholland**]. Los resultados obtenidos para Dinamarca e Irlanda son similares a los que se espera obtener en este trabajo pero la manera de modelar la decisión de compra es distinta y el trabajo mencionado utiliza una herramienta externa llamada Autonomie para la simulación de costes que ha sido desarrollada por el Argonne National Laboratory [**autonomie**]. En cambio, para este trabajo se van a evaluar los costes para España y no se van a utilizar herramientas externas para simular la evolución de los costes.

Los Costes Tangibles se definen como aquellos costes del vehículo que están monetizados y tienen un valor concreto mientras que los Costes Intangibles representan aquellas inconveniencias que pueden existir en la utilización de un tipo de vehículo u otro y que serán más adelante definidas y otorgadas un coste en función de diversos parámetros. Además, los Costes Tangibles se dividen en Coste de Ca-

pital, costes de producción del vehículo en los que incurren los fabricantes, y Coste de Operación, que tiene en cuenta los costes de uso y mantenimiento del vehículo. Por otro lado, los Costes Intangibles hacen referencia a las inconveniencias directamente relacionadas con la elección de una tecnología nueva como es en este caso la compra de un vehículo eléctrico. A partir de distintos estudios, se han obtenido parámetros que cuantifican monetariamente el coste de dichas inconveniencias para el consumidor, como se detalla más adelante en este trabajo.

Para estudiar y proyectar los costes de vehículos en el rango entre 2020 y 2030, se realiza una clasificación de los vehículos en nueve tecnologías. En primer lugar, según su tamaño, basándose en los segmentos de clasificación de vehículos por tamaño en Europa: pequeños (B), medianos (C) y grandes (D). Y en segundo lugar, según el tipo de vehículo: vehículos de combustión (ICE), vehículos híbridos enchufables (PHEV) y vehículos eléctricos de batería (BEV). Se pretende estudiar si los costes de los distintos tipos de vehículos alcanzan la paridad entre 2020 y 2030 y analizar cómo evolucionan los mismos al introducir distintas hipótesis en los costes.

2.1. Costes Tangibles

Los Costes Tangibles son aquellos que repercuten directamente en el precio de venta del vehículo y, por lo tanto, constituyen una gran parte del coste total del vehículo que afecta a la decisión de un comprador particular.

2.1.1. Coste de Capital

Los Costes de Capital son aquellos en los que un comprador particular incurre en el momento de la compra del vehículo, y por ello solo se tiene en cuenta al inicio del ciclo de vida del vehículo. Estos costes varían según el tamaño del vehículo y su tipo de tecnología, ya que fundamentalmente están compuestos por los costes de fabricación, ensamblaje y otros costes indirectos. Un primer objetivo de este trabajo consiste en realizar un estudio de la evolución de los Costes de Capital entre los años 2020 y 2030, tratando de estimar en qué año se alcanza la paridad en dichos costes entre vehículos de combustión y vehículos eléctricos. Algunos trabajos de investigación han realizado proyecciones en las que se alcanza la paridad de Coste de Capital entre vehículos de combustión y vehículos eléctricos entre los años 2025 y 2028 [**cost projections**] y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) sostiene que debido al descenso esperado en el precio de las baterías y según los fabricantes de vehículos, se alcanzará la paridad de costes en 2025 [**pniec**].

Para alcanzar un Coste de Capital similar entre los distintos tipos de vehículos, se considera que en el caso de los vehículos de combustión este coste se mantiene constante en el tiempo, ya que se trata de una tecnología instaurada y un mercado estable, mientras que para los vehículos eléctricos el Coste de Capital se reduce anualmente. Esta reducción proviene principalmente de la reducción del coste de producción de las baterías eléctricas y la mejora del resto de componentes energéticos del vehículo, como se especifica a continuación según el tipo de vehículo eléctrico.

Coste de Capital de vehículos de combustión (ICE)

Una de las hipótesis con las que se trabaja es que los materiales de fabricación de vehículos ICE no tienen una tendencia descendiente de costes por lo que su coste capital se va a mantener constante entre 2020 y 2030. El coste capital se obtiene como suma del coste del tren motriz formado principalmente por el motor y el sistema de dirección y otros costes, que incluyen costes de ensamblaje y costes indirectos como los costes de depreciación, amortización, costes de administración e investigación y desarrollo. Todos ellos extraídos de trabajos en los que se incluyen dichos costes de forma altamente detallada [**cost`projections**].

Coste de Capital de vehículos de eléctricos de batería (PHEV y BEV)

La principal y única diferencia entre el coste de capital de vehículos eléctricos puros de batería e híbridos enchufables es que los segundos están compuestos por el mismo coste de motor o powertrain de los vehículos de combustión a lo que se añade el paquete de batería, que tiene menor capacidad de almacenamiento que los vehículos de batería pura. Así, los vehículos PHEV tienen unos costes que no sufren reducción de costes (el motor de combustión) y el paquete de batería y otros componentes eléctricos cuyo coste se reduce anualmente. Por ello, el Coste de Capital del vehículo PHEV es el mayor de los tres tipos de tecnologías que se comparan en este trabajo (PHEV, BEV e ICE) y su reducción será menos pronunciada con el paso del tiempo que la de los vehículos BEV, cuyos costes de capital en su totalidad se reducen.

Al contrario que los vehículos de combustión, los vehículos eléctricos sufren una evolución en su coste de capital basada principalmente en el abaratamiento y la mejora del paquete de la batería, que supone aproximadamente el 50 % del coste de capital del vehículo. Se utilizan unas hipótesis en las que el coste del precio de la batería pasa de 160\$/kWh en 2020 a 72\$/kWh en 2030 para vehículos eléctricos. Estos valores se extraen como valores medios de distintos trabajos de investigación sobre proyecciones del coste de las baterías entre 2020 y 2030 [**cost`projections**], y distintos artículos sobre fabricantes de coches como Tesla [**tesla**], Volkswagen [**vw**] o General Motors [**generalmotors**], que utilizan un amplio rango de coste de la batería que va desde 191\$/kWh hasta 130\$/kWh en 2020 y entre 80\$/kWh y 50\$/kWh para 2030.

El precio total de la batería se obtiene como el producto del coste de la capacidad de la batería por la propia capacidad de la batería de cada tipo y tamaño de vehículo según muestra la Tabla 2.1.

Tipo de vehículo	Tamaño	Capacidad batería (kWh)
PHEV	Pequeños	15
	Medianos	19
	Grandes	27
BEV	Pequeños	58
	Medianos	69
	Grandes	99

Tabla 2.1: Capacidad de las baterías

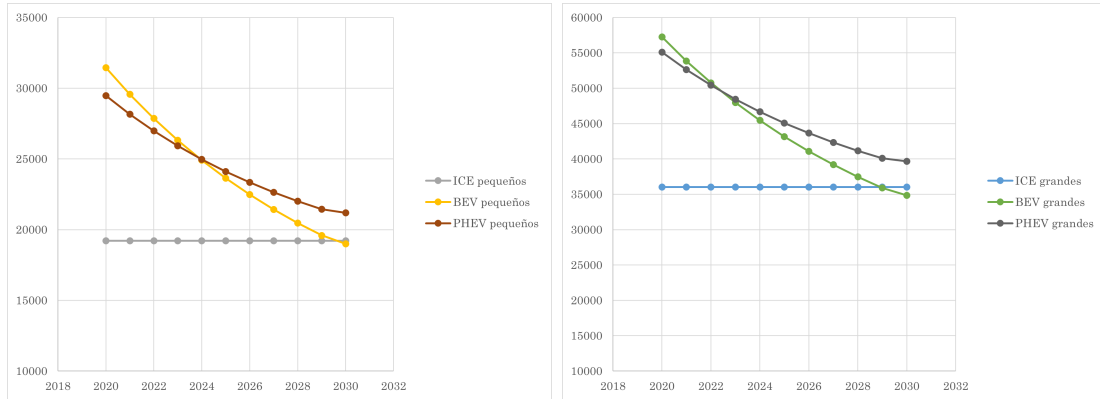
Por otro lado, se tienen en cuenta los costes de otros componentes electrónicos y eléctricos que junto al paquete de la batería conforman el tren motriz de los vehículos eléctricos, a los que se añaden otros costes: ensamblaje y costes indirectos (depreciación, amortización, costes de administración e investigación y desarrollo). El desglose de costes de capital para el año 2020 se recoge en la Tabla 2.2.

Componente	Vehículos ICE	Vehículos PHEV	Vehículos BEV
Tren motriz de combustión	7000 €	7000 €	-
Batería	-	3344 €	12144 €
Otros componentes energéticos	-	3449 €	3449 €
Ensamblaje	13000 €	12600 €	12600 €
Costes indirectos	4000 €	10500 €	10500 €
Total	24000 €	36893 €	38693 €

Tabla 2.2: Desglose de Costes de Capital en 2020

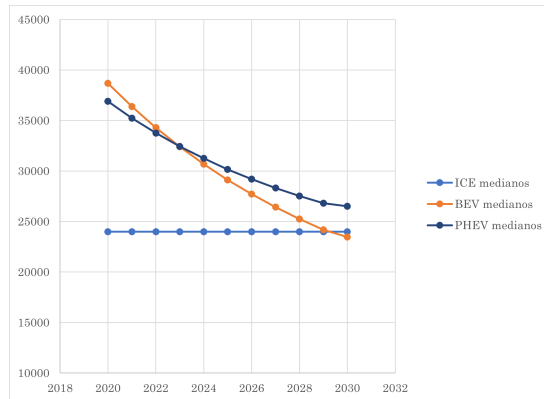
En la Figura 2.1 se aprecia cómo los costes de capital de los vehículos de combustión se mantienen constantes entre 2020 y 2030 mientras que los vehículos PHEV y BEV sufren una reducción de los costes, siendo más pronunciada la de los segundos. En el caso de los vehículos BEV, llegan a la paridad de coste de capital alrededor del año 2029 para los tres tamaños de vehículo debido a la reducción del coste de la batería. El vehículo PHEV también ve su coste reducido por el abaratamiento de su batería pero la curva de reducción es más moderada porque

los costes del motor de combustión son constantes. El vehículo híbrido, a pesar de tener un menor coste que el BEV en el año 2020, pasa a ser el tipo de tecnología más costoso entre 2022 y 2024 según el tamaño, y en ningún momento llega a disminuir su coste lo suficiente como para ser menos costoso que el vehículo ICE. Por último, cabe resaltar que la evolución de los costes en los distintos tamaños de los vehículos es muy similar y los puntos de corte entre las curvas de coste de los distintos tipos de tecnología se dan en el mismo rango de años.



(a) Vehículos pequeños

(b) Vehículos grandes



(c) Vehículos medianos

Figura 2.1: Costes de Capital

2.1.2. Operación y Mantenimiento

Los Costes de Operación y Mantenimiento consisten en los costes del combustible y mantenimiento del vehículo que cada uno requiere para realizar un recorrido anual. Estos costes varían según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor. Los datos extraídos provienen de trabajos de investigación que dividen a los compradores según la misma clasificación [cost projections].

Además, como se quiere obtener el coste del ciclo total de vida del vehículo, cada perfil de conducción tiene asociados unos años de vida útil del vehículo. Para calcular los Costes de Operación y Mantenimiento a lo largo de toda la vida útil del vehículo, se aplica una tasa de reducción a los costes de operación anuales. De esta manera, cada año los costes en los que incurre el comprador tienen menos valor por la incertidumbre que suponen los años alejados en el tiempo a la compra. Esta cuestión se explica más adelante con detalle, en la sección de Calibración de Costes.

Tipo de vehículo	Perfil de conductor	Recorrido anual (km)	Vida útil (años)
Vehículo pequeño	Conductor casual	11.104	20
	Conductor medio	22.208	15
	Conductor frecuente	33.312	12
Vehículo mediano	Conductor casual	11.989	20
	Conductor medio	23.978	15
	Conductor frecuente	35.967	12
Vehículo grande	Conductor casual	12.874	20
	Conductor medio	25.748	15
	Conductor frecuente	38.623	12

Tabla 2.3: Recorrido anual y vida útil

Costes de Uso

Para los vehículos de combustión, se utiliza un coste de la gasolina de 0,177 €/kWh, y para el coste de electricidad consumida por vehículos eléctricos e híbridos, se utiliza un coste de 0,132 €/kWh de acuerdo con el Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), que publica estos costes en el Informe de Precios Energéticos [idaecombust]. Cabe destacar que para el vehículo PHEV, se toma una reparto en la utilización del combustible de 42 % de gasolina y 58 % de electricidad. Se tienen en cuenta las relaciones entre distancia recorrida, uso de combustible o eficiencia energética y coste del combustible o electricidad y se obtienen los costes de uso para los distintos tipos de vehículos y tamaños. La Tabla 2.4 contiene un resumen de los consumos energéticos de las 9 tecnologías.

Tamaño del vehículo	Tipo de tecnología	kWh/km	€/km
Vehículos pequeños	ICE	0,753	0,133
	PHEV	0,314	0,047
	BEV	0,180	0,024
Vehículos medianos	ICE	0,869	0,153
	PHEV	0,365	0,055
	BEV	0,217	0,029
Vehículos grandes	ICE	1,130	0,200
	PHEV	0,543	0,082
	BEV	0,311	0,041

Tabla 2.4: Consumo energético y coste

Por último, se incluyen los costes de la instalación y mantenimiento de un punto de recarga doméstico en los que debe incurrir un comprador particular. Este coste varía según la potencia nominal del mismo (3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW y 22 kW). Según la Guía de la Energía publicada por el IDAE [idae], el precio de dicha instalación oscila entre los 1000 € y los 2000 €, por lo que se utilizará un valor medio de 1500 €.

Costes de Mantenimiento

Para calcular los Costes de Mantenimiento, se utiliza un factor de coste de mantenimiento por distancia recorrida, que corresponde a los valores recogidos en la Tabla 2.5. Estos costes han sido publicados por la EIA en el Annual Energy Outlook 2022 y contiene el coste de mantenimiento según el tamaño del vehículo y el tipo de tecnología [eia].

Tamaño del vehículo	Tipo de tecnología	Coste de mantenimiento
Vehículo pequeño	ICE	0,108 €/km
	BEV y PHEV	0,046 €/km
Vehículo mediano	ICE	0,115 €/km
	BEV y PHEV	0,051 €/km
Vehículo grande	ICE	0,166 €/km
	BEV y PHEV	0,069 €/km

Tabla 2.5: Costes de Mantenimiento

2.1.3. Costes de Fiscalidad

Los Costes de Fiscalidad están incluidos tanto en los Costes Tangibles como en los Costes Intangibles según el impuesto, pero se les dedica un subcapítulo aparte por la importancia que éstos tienen en la evolución de las compras de vehículos. Según las políticas que tome un Estado acerca de estos impuestos y ayudas, más o menos compradores se decantarán por la opción eléctrica a la hora de comprar un vehículo y dicha decisión repercute directamente en la cantidad de emisiones de gases nocivos, consumo de energía y demás consecuencias de la movilidad. Los Costes de Fiscalidad están formados por el Impuesto de matriculación, el Impuesto de circulación y las Ayudas y Subvenciones a la compra, que se introducen como un coste negativo.

Impuesto sobre Matriculación

Consiste en una tasa variable directamente relacionada con la cantidad de emisiones de CO₂. En el año 2022, este impuesto se calcula en España siguiendo el estándar europeo WLPT, Procedimiento Mundial de Test Armonizado para Vehículos Ligeros [wltp]. El impuesto sobre matriculación tiene un carácter estatal en España, se denomina Impuesto Especial sobre Determinados Medios de Transporte y está recogido en el Decreto-ley 38/1992 publicado en el BOE [ley1992].

Emisiones de CO ₂	Impuesto sobre matriculación
Hasta 120 g CO ₂ /km	0,00 %
Entre 120 y 160 g CO ₂ /km	4,75 %
Entre 160 y 200 g CO ₂ /km	9,75 %
Más de 200 g CO ₂ /km	14,75 %

Tabla 2.6: Impuesto sobre matriculación

Se trata de un impuesto a la compra por lo que en este trabajo estará incluido entre el Coste de Capital. El impuesto sobre matriculación es del 4,75 % para vehículos pequeños, 9,75 % para vehículos medianos y 14,75 % para vehículos grandes. Además a los vehículos eléctricos (tanto BEV como PHEV) se les atribuye unas emisiones menores de 120 g/km por lo que están exentos de dicho coste de fiscalidad.

Impuesto sobre Circulación

Este impuesto consiste en una tasa municipal que se debe pagar anualmente y se denomina fiscalmente Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica (IVTM). En este caso se va a utilizar la normativa del Ayuntamiento de Madrid, recogida en la ordenanza fiscal del diciembre de 1989, actualizada en diciembre de 2018

[**ordfiscal**]. La cuantía está relacionada con el tipo de tecnología y potencia fiscal del vehículo. Los vehículos eléctricos (tanto BEV como PHEV) reciben una bonificación del 75 % en dicho impuesto.

Potencia de los turismos	Impuesto sobre circulación
Hasta 8 caballos fiscales	20 €
Entre 8 y 11, 99 caballos fiscales	59 €
Entre 12 y 15, 99 caballos fiscales	129 €
Entre 16 y 19, 99 caballos fiscales	179 €
Más de 20 caballos fiscales	224 €

Tabla 2.7: Impuesto sobre circulación

Al tratarse de un coste anual para el comprador particular, se calcula el coste a lo largo de su vida útil y se incluye en los Costes de Operación y Mantenimiento. Los impuestos sobre circulación según el segmento de tamaño del vehículo son: 59 € para vehículos pequeños, 129 € para vehículos medianos y 179 € para vehículos grandes.

Ayudas y Subvenciones

El Programa Moves III promovido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, pretende incentivar la adquisición de vehículos eléctricos otorgando ayudas a compradores particulares de hasta 4.500 € en el caso de turismos, como recoge el Real Decreto 266/2021 [**boemoves**]. Al tratarse de una ayuda a la compra, se incluye en los Costes Tangibles.

Por otro lado, el Programa Moves III también incluye ayudas a la implantación de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos del 70 % para particulares y comunidades de propietarios, también recogido en el Real Decreto 266/2021.

La Figura 2.2 recoge el resultado de la suma de los Costes de Capital con aquellos Costes de Fiscalidad que se dan en el momento de la compra (Impuesto sobre Matriculación y Ayudas a la Compra). Al contrario que en los Costes de Capital, los vehículos PHEV llegan a reducir su coste por debajo del coste de los vehículos ICE. El coste de los vehículos ICE continúa manteniéndose constante y aumenta levemente su valor mientras que la reducción de coste de los vehículos eléctricos (BEV y PHEV) se ve más pronunciada haciendo que la paridad de costes se produzca antes en el tiempo. Los vehículos BEV pasan a igualar sus costes con los de los PHEV entre el 2022 y el 2023 y alcanzan los costes de los ICE sobre el año 2024. Los vehículos PHEV, por su parte, también igualan antes los costes de los vehículos ICE, en el año 2026. Al añadir los Costes de Fiscalidad, las curvas de reducción de costes según el tamaño del vehículo continúan siendo muy similares en su forma.

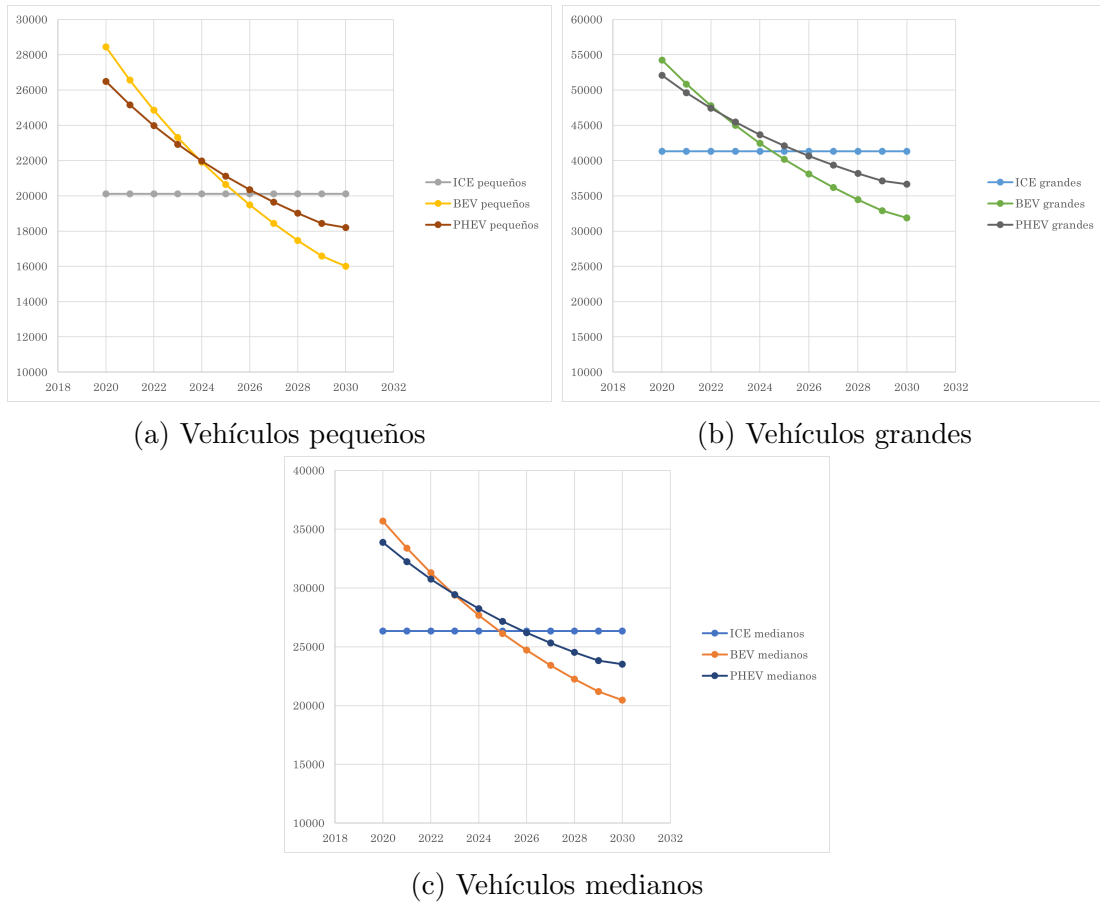


Figura 2.2: Costes de Capital con Costes de Fiscalidad

2.2. Costes Intangibles

Existen diversos factores que podrían considerarse una inconveniencia para el consumidor, como por ejemplo la actitud o comportamiento hacia una tecnología nueva, pero el estudio se va a centrar principalmente en la Disponibilidad de modelos y la Ansiedad de la autonomía del vehículo.

2.2.1. Disponibilidad de modelos

Un indicador de la fiabilidad de un producto es la diversidad de oferta en el mercado. Por ello, la variedad de modelos que un consumidor particular encuentra a la hora de comprar un vehículo afecta mucho al mismo en su decisión. En el mercado de la automoción en España, el amplio dominio de los vehículos ICE sobre los eléctricos, tanto PHEV como BEV, hace que a los vehículos de combustión se les

asocie un riesgo en la compra mucho menor que a los vehículos eléctricos. Es por esto que la baja disponibilidad de modelos de vehículos eléctricos en comparación con los de combustión, hace que a los primeros se les añada un Coste Intangible. Dicho coste se calcula según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor (conductor casual, medio o frecuente) y es extraído a partir de estudios realizados para Dinamarca e Irlanda [mulholland].

2.2.2. Ansiedad de la autonomía

Otra de las grandes preocupaciones de los consumidores de vehículos eléctricos es la falta de infraestructura para lograr unas prestaciones similares a las de un vehículo de combustión, tanto en el ámbito urbano como en el rural. El coste por Ansiedad de la autonomía consiste en valorar la posibilidad de que la autonomía del vehículo eléctrico no sea suficiente para realizar todos los trayectos deseados y, por lo tanto, incluye la posibilidad de agotar la batería sin llegar al destino. Este coste se calcula como la suma de los distintos costes en los que se incurriría en caso de no tener autonomía suficiente para llegar al destino: el coste de un vehículo de alquiler, el coste de servicio de asistencia en carretera y el coste de desviarse del trayecto para llegar a una estación de recarga. Según un estudio del Oak Ridge National Laboratory, dichos costes suponen alrededor de un 50 %, un 30 % y un 20 %, respectivamente [lin].

La Tabla 2.8 contiene un resumen de todos los costes definidos en el modelo y la categoría a la que pertenecen.

Costes Totales	Costes Tangibles	Coste de Capital
		Operación y Mantenimiento
		Costes de Fiscalidad
	Costes Intangibles	Disponibilidad de modelos
		Ansiedad de la autonomía

Tabla 2.8: Desglose de costes totales

Capítulo 3

Metodología

3.1. Modelo de Costes Generalizados utilizando Disutility Costs

Una vez seleccionado el modelo de Costes Generalizados utilizando Disutility Costs como la forma más precisa de modelar las decisiones de compra, se procede a elaborar los costes totales de ciclos de vida para los distintos tipos de vehículos, distintos tamaños y distintos perfiles de conductor. Los Costes Totales de Ciclo de Vida del vehículo (LCC) se calculan como la suma de Costes Tangibles (CT) y Costes Intangibles (CI) para cada tecnología (j), segmento de tamaño (s) y perfil de conductor (j).

$$LCC_{j,s,p} = CT_{j,s,p} + CI_{j,s,p} \quad (3.1)$$

A su vez, los Costes Tangibles (CT) del vehículo están compuestos por los Costes de Capital en los que solo se incurre en una ocasión, en el momento de realizar la compra del vehículo, y los Costes de Operación, que se obtienen como producto de los Costes de Operación anuales por el número de años de vida útil del vehículo que depende del perfil del conductor.

$$CT_{j,s,p} = \text{Costes de Capital}_{j,s} + \text{Costes Operación}_{j,s,p} \cdot n_p \quad (3.2)$$

Por otro lado, los Costes Intangibles (CI) consisten en la suma del Coste de Disponibilidad de modelos, según el perfil del conductor, y el Coste de Ansiedad de la Autonomía, que está relacionado con el tipo de tecnología del vehículo.

$$CI_{j,s,p} = \text{Coste Disponibilidad de modelos}_p + \text{Coste Ansiedad de Autonomía}_j \quad (3.3)$$

Las ecuaciones presentadas anteriormente se utilizan para los años entre 2020 y 2030, ambos incluidos. Además, distintos valores utilizados para modelar los costes están sujetos a factores de reducción y aumento que se pueden modificar para

estudiar distintos escenarios en la evolución de dichos costes. Algunos de los costes que se pueden modificar anualmente en el modelo son: precio del combustible, precio de la electricidad, número de estaciones de recarga o el aumento de ayudas y subvenciones a la compra. De esta forma, se pretende abarcar el Principio de Adaptabilidad en el modelo, es decir, se convierte en una herramienta para modelar escenarios de evolución de los costes, que no solo se pueden modificar en su valor inicial sino que también permite detallar la evolución anual de diversos costes que afectan directamente al coste total.

Por último, se calculan las cuotas de mercado de los distintos tipos de vehículo para modelar cómo serán las compras anuales y en qué medida se introducirán los vehículos eléctricos como alternativa para renovar el parque de vehículos. A partir de las cuotas de mercado, se analizarán las decisiones por parte de un comprador particular. La Cuota de Mercado (MS) según el tipo de vehículo (j) y su tamaño (s) se calcula como la comparación de su Coste Total de Ciclo de Vida Útil (LCC) con el sumatorio de los LCC de todos los tipos de vehículos y tamaños. Además, se introduce un parámetro de varianza (v) para dar a las cuotas de mercado un comportamiento más realista. Dicho parámetro de varianza se extrae de otro estudio acerca de un modelo económico-energético llamado CIMS-US [jaccard] y que otorga a esta variable un valor entre 10 y 25, que se define utilizando estudios de sensibilidad que también están recogidos en el modelo.

$$MS_{j,s,p} = \frac{(LCC_{j,s,p})^{-v_a}}{\sum_{k=1}^K (LCC_{j,s,p})^{-v_a}} \quad (3.4)$$

3.2. Calibración de Costes

Una vez elaborados todos los costes que conforman el coste total del ciclo de vida del vehículo, se observa que en el primer año recogido en el modelo (2020) el coste total de los vehículos eléctricos BEV y PHEV es inferior al de vehículos ICE. La interpretación de este resultado es que desde el año 2020, la decisión de un consumidor particular será la de comprar un vehículo eléctrico por su menor coste total, incluyendo todos los costes. Pero observando los datos publicados por la DGT [dgt] que recogen un 89% de matriculaciones en 2022 son vehículos ICE, frente a un 6% de vehículos BEV y PHEV, se concluye que los costes incluidos en el modelo están incompletos, ya que en el año 2022 los consumidores particulares siguen tomando la decisión de comprar un vehículo ICE frente a uno BEV o PHEV. Por ello se realiza una calibración de los costes del modelo con el objetivo de aportar una mayor precisión a los costes y de representar una realidad conocida como es la de los vehículos comprados por particulares en los primeros años que incluye el modelo.

Por la razón anterior, se realiza una calibración de costes que consiste en aplicar un factor de descuento a los costes futuros para actualizarlos al año de compra del vehículo. Es decir, los costes en los que se incurre cada año de la vida útil del vehículo (Costes de Operación y Mantenimiento) se multiplican por una tasa de reducción (r) que depende del año de vida útil (n) en el que se incurran los costes, dando lugar a los Costes de Operación y Mantenimiento actualizados. La suma de los Costes de Operación actualizados se suman al Coste de Capital para calcular de nuevo los Costes Tangibles (CT), pero esta vez de manera más precisa. La tasa de reducción (r) utilizada es una nueva variable que permite dar un mayor o menor peso a los costes de años futuros dependiendo de lo introducida que este la nueva tecnología de los vehículos eléctricos en el parque total. En este trabajo se utiliza una tasa de reducción de los costes anuales del 20 %, valor extraído de un informe energético elaborado con el objetivo de estimar los potenciales y costes de reducción de la demanda de energía en España [pedrolinares].

$$Costes\ Operación\ Actualizados_{j,s,p,n} = \sum_{n=0}^N (Costes\ Operación_{j,s,p,n} \cdot \frac{1}{(1+r)^n}) \quad (3.5)$$

De esta manera, se refleja en el modelo cómo los costes en los que se incurra en los primeros años de vida útil del vehículo tienen una mayor importancia que aquellos que llegan más adelante por la incertidumbre que estos últimos suponen para el comprador.

3.3. Grupos de consumidores

Al tratarse de un modelo de decisión de compra es fundamental describir con precisión los segmentos o grupos de consumidores cuyo comportamiento se va a proyectar y analizar posteriormente. Para este trabajo se van a clasificar los grupos de consumidores según dos parámetros: perfil de conducción (casual, medio y frecuente) y preferencia de tamaño del vehículo (pequeño, mediano y grande) dando lugar a nueve grupos de consumidores independientes. Se considera que estos parámetros mantienen una relación de dependencia porque en la actualidad se puede observar que por diversos factores como la situación económica, número de hijos o el lugar de residencia, los compradores pasan a formar parte de un grupo concreto y fijo a la hora de tomar la decisión de comprar un vehículo ICE, BEV o PHEV. La Tabla 3.1 describe los grupos de consumidores y cómo se distribuye la población entre ellos, es decir, qué porcentaje de los compradores pertenece a cada grupo.

Nº de grupo	Perfil de conducción	Tamaño del vehículo	Población
1	Conductor casual	Pequeño	7,14 %
2	Conductor casual	Mediano	5,10 %
3	Conductor casual	Grande	4,70 %
4	Conductor medio	Pequeño	8,40 %
5	Conductor medio	Mediano	6,10 %
6	Conductor medio	Grande	5,60 %
7	Conductor frecuente	Pequeño	26,40 %
8	Conductor frecuente	Mediano	18,92 %
9	Conductor frecuente	Grande	17,64 %

Tabla 3.1: Grupos de consumidores

Al haber 9 grupos de consumidores que tienen la posibilidad de decidir qué vehículo comprar entre ICE, BEV o PHEV supone elaborar 27 cuotas de mercado calculadas como se ha explicado previamente. Para calcular las cuotas de mercado sobre las compras totales, se debe tener en cuenta cómo es el reparto de las compras según el grupo de consumidor, es decir, qué porcentaje de compras es realizado por cada grupo de consumidores al año. Para definir la distribución de las compras en función de los grupos de consumidores previamente descritos, se han utilizado datos publicados por la Agencia Tributaria en los que se desglosan las compras en función del tamaño del vehículo, según su cilindrada [**tributaria**]. Además, los datos anteriores se han combinado con el reparto de compras según el perfil de conducción extraído de las encuestas de movilidad Movilia 2006, elaboradas por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana [**encuestas**]. La combinación de estos datos da como resultado las cuotas de mercado de compras totales para cada uno de los 9 grupos de consumidores, por lo que la suma total de las cuotas de mercado da lugar al 100 % de las compras de vehículos anuales.

3.4. Parámetros de entrada e hipótesis del modelo

A manera de resumen, la Tabla 3.2 contiene todos los parámetros de entrada que pueden modificarse para estudiar diversos casos y escenarios. Al tratarse de un modelo de la evolución de las decisiones de compra, hay parámetros en los que resulta muy interesante tanto el valor inicial como su posterior evolución entre los años 2020 y 2030.

Coste afectado	Parámetro de entrada
Coste de Capital	Evolución de ayudas a la compra de vehículos eléctricos
Coste de Operación y Mantenimiento	Evolución coste gasolina
	Evolución coste electricidad
	Recorrido según perfil de conducción
	Vida útil del vehículo según perfil de conducción
	Tasa de reducción para calibración de costes
Costes Intangibles	Evolución de número de modelos de vehículo eléctrico
	Evolución de estaciones de recarga

Tabla 3.2: Parámetros de entrada al modelo

Por otro lado, las hipótesis en las que se basa este modelo de decisión de compra son las siguientes:

- Costes Tangibles
 1. El Coste de Capital de vehículo ICE se mantiene constante.
 2. El Coste de Capital de los vehículos BEV y PHEV se reduce por el abaratamiento y mejora de las baterías.
 3. Al Coste de Operación y Mantenimiento se le aplica un factor de descuento anual por el que se reduce el coste de los años futuros con respecto al año inicial.
- Costes Intangibles
 1. Los Costes Intangibles otorgan un coste a las posibles inconveniencias que puede encontrar un comprador al comprar un tipo de tecnología u otro.
- Cuotas de Mercado
 1. Los 9 Grupos de Consumidores se obtienen como combinación de 3 perfiles de conducción y 3 tamaños de vehículo.

3.5. Integración del modelo en el modelo OVEMS

El modelo OVEMS consiste en un modelo de energía y transporte elaborado por el Observatorio del Vehículo Eléctrico y la Movilidad Sostenible (OVEMS) de la Universidad Pontificia Comillas. Este modelo toma la hipótesis de que el recorrido

total del parque es constante en el tiempo, y con ese parámetro fijado elabora proyecciones de la evolución del parque, su consumo de energía y las emisiones producidas.

En un primer momento, el modelo OVEMS se elaboró como un archivo Excel que incluía macros para resolver el problema de optimización que tomaba como hipótesis un recorrido anual del parque constante. Los parámetros de entrada del modelo se encuentran en otros ficheros Excel que se van actualizando según las instituciones publican los datos oficiales. A medida que los resultados que se obtenían del modelo iban siendo más elaborados y numerosos, se decidió replicar el modelo en formato GAMS con el objetivo de reducir la potencia computacional necesaria para resolver el problema de optimización y extraer los resultados. Actualmente el modelo se encuentra disponible en ambos formatos y permite elaborar escenarios y realizar análisis de los datos históricos y de su evolución.

Dicho modelo tiene en cuenta un total de 8 tipos de tecnología distintos de vehículos. Recoge los vehículos de gasolina (GAL), de gasóleo (GOL), de gas licuado del petróleo (GLP), de gas natural comprimido (GNC), eléctricos puros (BEV), híbridos enchufables (PHEV), híbridos no enchufables (HEV) y otros (OTR). De esta forma todos los vehículos quedan clasificados con precisión según su tipo de tecnología. Otra de las cualidades del modelo OVEMS es que utiliza series históricas recogidas de fuentes oficiales como DGT o EAFO desde el año 1990 hasta la actualidad, lo cual permite realizar estudios y valoraciones de la evolución histórica de los distintos parámetros asociados a la movilidad (parque de vehículos, emisiones, consumo de mercado). El modelo OVEMS también se caracteriza por su variabilidad y adaptabilidad a los escenarios que se quiera elaborar, ya que todos los parámetros de entrada están incluidos de tal forma que se pueden realizar variaciones en variables muy concretas como el porcentaje anual de vehículos que se dan de baja o el efecto de la antigüedad del vehículo en el recorrido que realiza anualmente. El hecho de que este tipo de parámetros estén recogidos explícitamente en el modelo hace que se puedan elaborar escenarios muy concretos, modificando los valores de dichas variables.

El modelo también tiene en cuenta la antigüedad de los vehículos y por ello la proyección del parque se basa en las matriculaciones anuales de cada tipo de tecnología. El modelo calcula un número de bajas anuales y renueva el parque según las matriculaciones, para alcanzar el objetivo de recorrido anual. Por ello, el modelo realizado en este trabajo es complementario al modelo OVEMS, añadiendo el factor económico a las proyecciones de energía y transporte. Las cuotas de mercado según los grupos de consumidores y sus decisiones, que son el resultado de este modelo, se convierten en un parámetro de entrada del modelo OVEMS, que las utiliza para renovar el parque anualmente y calcular la energía consumida y las emisiones producidas anualmente.

3.6. Escenarios de referencia

A continuación, se van a describir diferentes escenarios que se utilizan como referencia en este trabajo. Todos ellos provienen de agencias internacionales o de instituciones nacionales. Más adelante, se analizará si el modelo de decisión de compra se adapta a los objetivos recogidos en estos escenarios y, en caso negativo, se aportarán soluciones y medidas para alcanzarlos.

3.6.1. Escenarios World Energy Outlook

Dentro de estos escenarios, uno de los más importantes es el elaborado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA), que recoge en el World Energy Outlook 2021 el Escenario de Cero Emisiones (NZE) para 2050 [noauthor'world'nodate]. En él, se incluye una hoja de ruta optimista pero posible para que el sector energético global alcance cero emisiones de CO₂ en 2050, en el que las economías avanzadas alcancen dicho objetivo antes que las demás. Según este escenario, en 2050 habrá alrededor de 3 mil millones de vehículos eléctricos (PHEV y BEV) en el mundo, cuyas ventas aumentarán pasando de una cuota de mercado del 4,6 % de ventas totales de vehículos en 2020 al 60 % de la cuota de mercado en 2030. Además, el escenario NZE incluye una reducción del coste de capital en 2050 de alrededor del 23 % para vehículos PHEV y del 39 % para vehículos BEV. Asimismo, el coste de la batería se ve reducido en un 64,5 % según este escenario.

La IEA ha elaborado otro escenario más moderado, llamado Escenario de Compromisos Anunciados (APS) que se basa en las futuras políticas anunciadas por los gobiernos, que también está incluido en el World Energy Outlook 2021. En este escenario, se propone una reducción de emisiones por parte de vehículos nuevos del 55 % para el año 2030 y del 100 % en 2035. Cabe resaltar que este escenario en algunos casos es más optimista que NZE, como por ejemplo en la reducción del coste de capital de vehículos PHEV, que llega al 25,2 % en 2050, algo mayor que el escenario NZE. En cambio, las proyecciones del escenario APS para la reducción del coste de capital de vehículos BEV y reducción del coste de las baterías es muy similar.

El tercer escenario recogido en el World Energy Outlook 2021 es el escenario de Políticas Establecidas (STEPS), que supone un escenario más conservador ya que no da por hecho que se cumplan los objetivos impuestos por los gobiernos. En cambio, este escenario evalúa las políticas existentes y las que están en desarrollo sector por sector. Por ejemplo recoge el paquete de medidas relacionadas con el Pacto Verde Europeo, anunciado por la Comisión Europea en Julio de 2021 en el que se detallan medidas concretas para reducir las emisiones un 55 % en 2030, en comparación con los niveles de 1990 [fit]. Para elaborar este escenario también se

han tenido en cuenta las políticas tomadas por los fabricantes de vehículos que se resumen en la siguiente tabla.

Año	Fabricante	Política
2025	Jaguar	100 % de ventas BEV y PHEV
2027	Alfa Romeo	100 % de ventas BEV y PHEV
2028	Opel	100 % de ventas BEV y PHEV en Europa
2030	Bentley, Fiat, Mini, Volvo	100 % de ventas BEV y PHEV
2030	Ford	100 % de ventas BEV y PHEV en Europa

Tabla 3.3: Políticas de fabricantes

3.6.2. Escenario Electric Vehicle Outlook

Otro de los escenarios de referencia para este trabajo es el Electric Vehicle Outlook 2021 [evo]. En él se recoge un aumento de las ventas de vehículos eléctricos de 3,1 millones en 2020 a 14 millones en 2025, a nivel mundial. Además, en Europa sus proyecciones dan como resultado una cuota de mercado del 50 % por parte de los vehículos eléctricos.

3.6.3. Escenario Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

Por último, el escenario de evolución de la movilidad eléctrica recogido en el PNIEC elaborado por el Gobierno de España pone como objetivos para 2030 alcanzar los 5 millones de vehículos eléctricos incluyendo turismos, furgonetas, autobuses y motos, de los cuales 3 millones corresponden a turismos [pniec]. El PNIEC también incluye una estimación del año en el que se alcance la paridad en el precio de los vehículos eléctricos y los ICE y la sitúa en el año 2025 basándose en la opinión de los fabricantes y debido al esperado descenso en el precio de las baterías.

Capítulo 4

Resultados

Una vez elaborado el modelo de decisión de compra, se procede a evaluar distintos escenarios con el objetivo de estudiar en qué medida los resultados se parecen a los escenarios publicados por agencias y organizaciones nacionales e internacionales. Otro de los principales objetivos es estudiar qué medidas o hipótesis es necesario tomar para motivar la compra del vehículo y alcanzar los objetivos propuestos en los escenarios anteriormente mencionados. Por último, al integrar este modelo en el modelo OVEMS de energía y transporte, se va a estudiar la evolución del parque, el consumo anual y las emisiones producidas que se obtienen como resultado. Entre los resultados buscados, los más relevantes son en qué año se alcanza la paridad de costes totales entre las distintas tecnologías y su evolución, cómo quedan distribuidas las cuotas de mercado y qué distribución del parque resulta.

4.1. Escenario 1: Caso base

En este primer escenario, se pretende realizar proyecciones de un escenario intermedio para analizar cuánta diferencia hay entre los resultados y los objetivos a nivel nacional e internacional. Una vez realizado este análisis, si los resultados no se aproximan a los objetivos se tratará de buscar medidas de regulación y de reducciones de coste que tengan el efecto suficiente para alcanzar dichos objetivos.

4.1.1. Hipótesis

Las hipótesis tomadas en el escenario base tratan de reflejar la realidad con la mayor veracidad y precisión posibles y realiza proyecciones basándose en la evolución normal que se espera que sigan los costes de los vehículos.

- Costes de Capital

1. Como se ha explicado anteriormente, a excepción del coste del motor de combustión del vehículo PHEV, que se mantiene constante para respetar la hipótesis sobre vehículos de combustión, todos los demás costes de capital del vehículo eléctrico se ven reducidos anualmente. La batería tiene un factor de reducción anual del 7,5 % mientras que los demás componentes del tren motriz ven reducido su coste en un 1,5 %, los costes de ensamblaje decrecen un 0,7 % anual y los costes indirectos se reducen un 12 % anual.
- Coste de Operación y Mantenimiento
 1. El coste de la gasolina se mantiene constante mientras que el coste de la electricidad sufre una reducción del 2 % anual que supone una leve disminución de su coste, que pasa de 0,132 €/kWh en 2020 a 0,11 €/kWh en 2030.
 2. La calibración de costes se realiza utilizando una tasa de reducción del 20 %.
 - Costes Intangibles
 1. El coste asociado a la disponibilidad de modelos se mantiene constante, suponiendo que no se introducen nuevos modelos de vehículos BEV o PHEV en el mercado.
 2. El coste asociado a la ansiedad de la autonomía se mantiene constante, es decir, se toma la hipótesis de que no se instalan ni desinstalan nuevas estaciones de recarga de vehículos.

4.1.2. Costes Totales

A partir del modelo, se obtienen unos Costes Totales muy distintos según el perfil de conducción y con leves diferencias según el tamaño del vehículo, como se observa a continuación.

La Figura 4.1 muestra el caso de los vehículos pequeños, que tienen los costes totales más bajos. La mayor diferencia para los tres perfiles de conducción está en la paridad de coste entre los vehículos eléctricos y los vehículos ICE. En el caso del conductor medio es cuando primero se alcanza esta paridad, en el año 2023, mientras que esta situación se da en el 2027 para conductores casuales y nunca llega a ocurrir para conductores frecuentes. Esto se debe a la poca diferencia de costes totales en el 2020 entre vehículos ICE y vehículos eléctricos.

La reducción de costes de vehículos BEV y PHEV tiene una pendiente similar en conductores casuales y medios, lo que hace que a pesar de haber una gran

diferencia de costes totales para conductores casuales en 2020, se alcance la paridad de costes antes de 2030. En el caso de los conductores frecuentes, tiene unos costes intangibles muy elevados comparados con los conductores casuales y medios, que son muy similares entre sí, por lo que hay una reducción en los costes totales pero no se llega a igualar los costes de los vehículos ICE antes de 2030. Esto quiere decir que el elevado número de inconveniencias que sufre el conductor frecuente tiene un gran impacto en los costes totales y hace que los vehículos eléctricos no lleguen a ser competitivos en costes con los vehículos ICE entre 2020 y 2030.

Por otro lado, la paridad de costes entre vehículos BEV y PHEV se logra aproximadamente un año antes de igualar los costes con los vehículos ICE en el caso de los conductores casual y medio. Y para el conductor frecuente, los vehículos BEV igualan sus costes con los PHEV en el año 2024. De esta forma el vehículo BEV termina siendo menos costoso que el vehículo PHEV en los tres casos a pesar de ser el vehículo más costoso en 2020. Cabe resaltar que en el caso de los conductores frecuentes, los costes de los vehículos eléctricos no se reducen como para alcanzar la paridad de costes con los de combustión. La razón es que el ahorro de los vehículos PHEV y BEV en combustible y en las baterías no consigue contrarrestar los elevados costes intangibles que se asocia a este perfil de conductor por la escasez de modelos y la ansiedad de autonomía

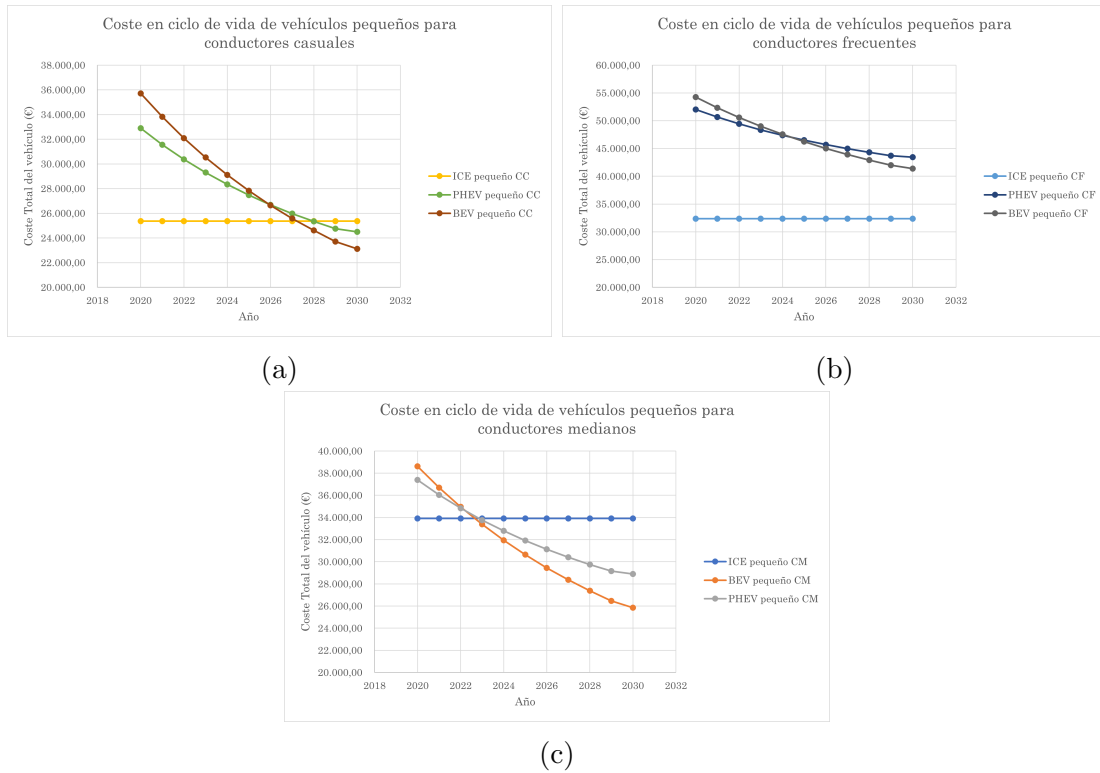


Figura 4.1: Costes Totales de vehículos pequeños

La Figura 4.2 contiene los Costes Totales en la vida útil para vehículos medianos. En comparación con los vehículos pequeños, estos costes aumentan alrededor de 7000€ en todos los tipos de vehículos y todos los perfiles de conducción pero su evolución en el tiempo sigue la misma tendencia que en los vehículos pequeños. Para los conductores frecuentes no se alcanza la paridad de costes entre vehículos ICE y eléctricos antes de 2030 pero para conductores medios y casuales sí se da esta situación en el 2022 y 2026, respectivamente. De esta forma, la paridad de costes se alcanza un año antes en los vehículos medianos que en los pequeños.

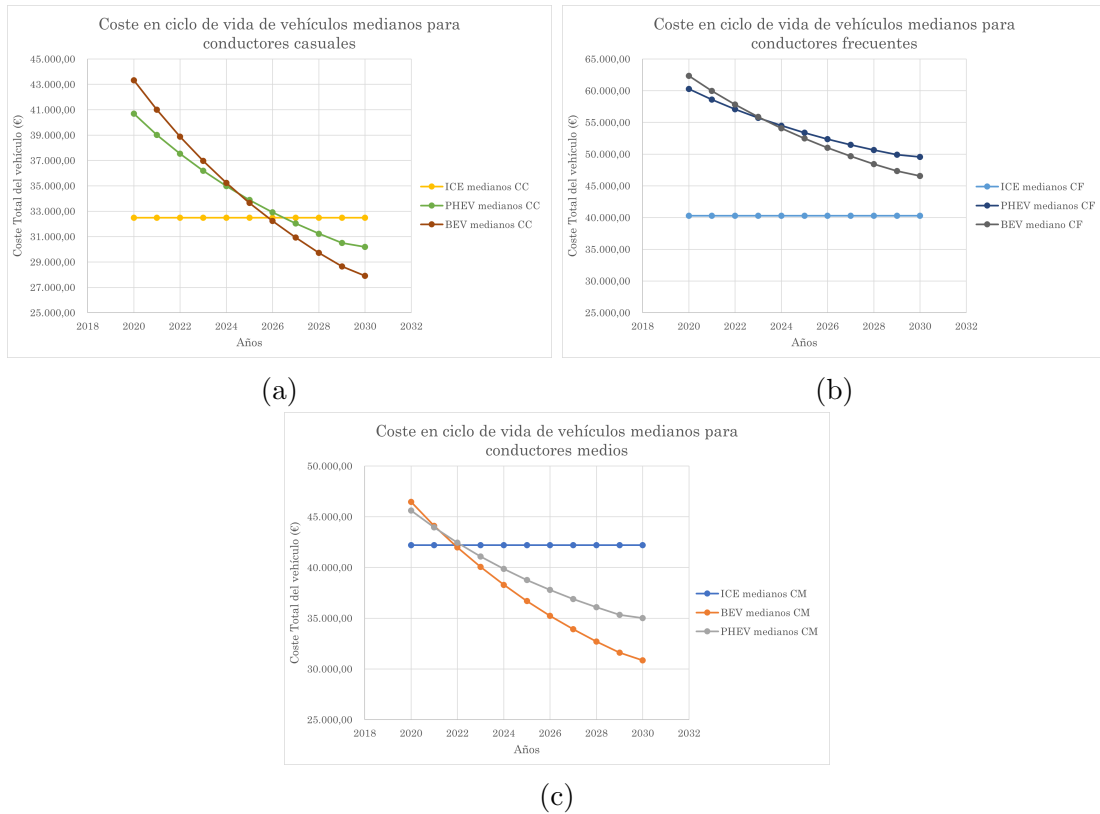


Figura 4.2: Costes Totales de vehículos medianos

En el caso de los vehículos grandes mostrado en la Figura 4.3, se observa que un aumento de tamaño del vehículo vuelve a hacer que la paridad de costes se alcance antes e incluso en el caso del conductor frecuente, sucede antes de 2030, lo cual no ocurre para vehículos medianos y pequeños. La paridad de costes para conductores casuales ocurre en 2025 y para conductores medios en 2021, lo que supone que se adelanta un año respecto a los vehículos medianos y dos frente a los pequeños. Por otro lado, en el caso del conductor frecuente, el vehículo BEV es el que alcanza la paridad de costes en 2030 debido a una gran reducción de sus costes.

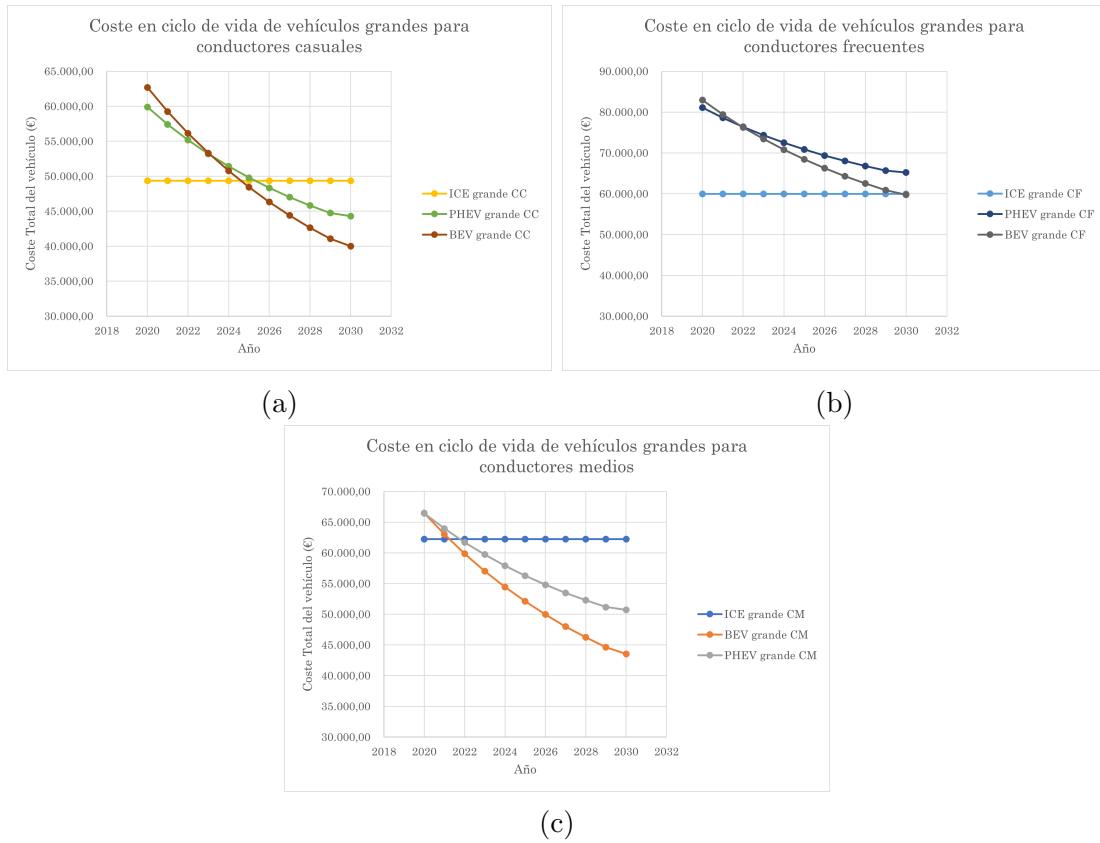


Figura 4.3: Costes Totales de vehículos grandes

A continuación se incluye un resumen de los resultados en cuanto a la paridad de costes en el Escenario 1, recogido en la Tabla 4.1.

Año paridad de costes (vehículos ICE y eléctricos)	Grupo de consumidores
2021	8: Conductor medio y vehículo grande
2022	5: Conductor medio y vehículo mediano
2023	2: Conductor medio y vehículo pequeño
2025	7: Conductor casual y vehículo grande
2026	4: Conductor casual y vehículo mediano
2027	1: Conductor casual y vehículo pequeño
2030	9: Conductor frecuente y vehículo grande
Después de 2030	6: Conductor frecuente y vehículo mediano 3. Conductor frecuente y vehículo pequeño

Tabla 4.1: Resumen de Resultados de Costes Totales

4.1.3. Cuotas de mercado

La Figura 4.4 muestra la evolución de las compras de vehículos BEV y PHEV en el mercado año a año. En el escenario base, entre 2020 y 2022 el reparto de cuota de mercado entre los vehículos eléctricos es aproximadamente de la mitad para cada tipo de tecnología (BEV y PHEV). Pero a partir del año 2022 el vehículo BEV va tomando gran relevancia en el mercado, que coincide con el año en el que se alcanza la paridad de costes totales entre vehículos ICE y eléctricos. Por su parte, las compras de vehículos PHEV aumentan hasta alcanzar el máximo de cuota de mercado hacia el año 2025 pero a continuación se ve reducida por la diferencia de coste comparado con la opción del vehículo BEV.

Finalmente, en el año 2030 los vehículos eléctricos alcanzan un 46,6 % de las compras anuales, repartidas en un 42,5 % para vehículos BEV y 4,1 % para los vehículos PHEV.

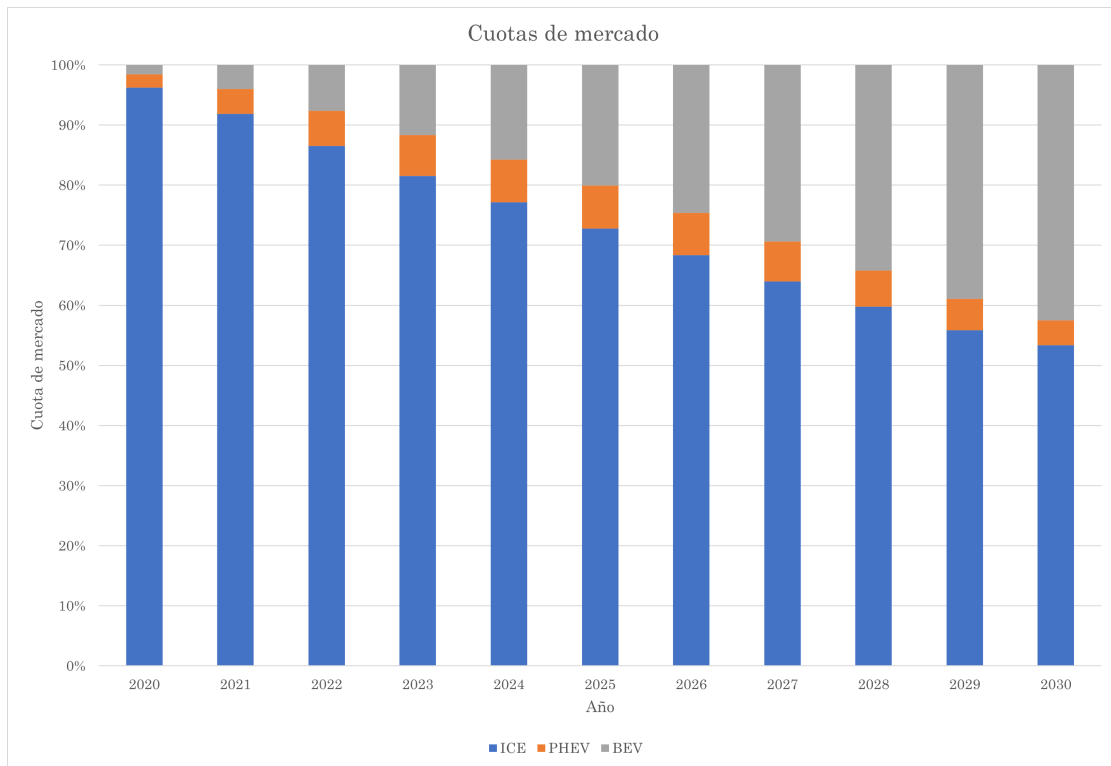


Figura 4.4: Cuotas de mercado

Las proyecciones del escenario base sobre la distribución de las cuotas de mercado se ajustan a la perfección a los datos publicados por EAFO para los años 2020, 2021 y 2022 en España [eafomarketshare]. Estos datos están recogidos en la Tabla 4.2.

Año matriculación	Tipo de tecnología	Cuota de mercado
2020	BEV	2,14 %
	PHEV	2,79 %
2021	BEV	2,82 %
	PHEV	5,01 %
2022	BEV	4,30 %
	PHEV	7,59 %

Tabla 4.2: Cuotas de mercado vehículos eléctricos

4.1.4. Parque

En la Figura 4.5 está representada la evolución del parque que se obtiene como resultado de la introducción de las cuotas de mercado anteriormente explicadas en el modelo OVEMS. Queda reflejado cómo la evolución de las cuotas de mercado crecientes de los vehículos BEV y PHEV tiene un gran impacto en el parque. En el año 2020 hay un total de 24,2 millones de vehículos ICE en el parque español, formados por vehículos GAL (gasolina), GOL (gasóleo), GLP (gas licuado del petróleo), GNC (gas natural comprimido), HEV (híbridos no enchufables) y OTR (otros). En cambio los vehículos eléctricos (BEV y PHEV) alcanzan los 60 mil vehículos en el mismo año. Todas las hipótesis tenidas en cuenta en este escenario, entre la que destaca una importante reducción del coste de las baterías de vehículos eléctricos, tienen como resultado que el parque español de turismos llega a los 3,9 millones de vehículos eléctricos en 2030, lo que supone un 16 % del parque. Estos vehículos eléctricos aparecen como renovación del parque año a año, por lo que ocupan el lugar de los vehículos ICE que caen en desuso por su antigüedad. Los vehículos ICE que más sufren la irrupción en el mercado de los vehículos eléctricos son los de gasóleo o diésel (GOL) que tienen una diferencia de 2,5 millones de vehículos entre 2020 y 2030, seguidos por los de gasolina (GAL) que se reducen en 1,8 millones de vehículos en el mismo tiempo.

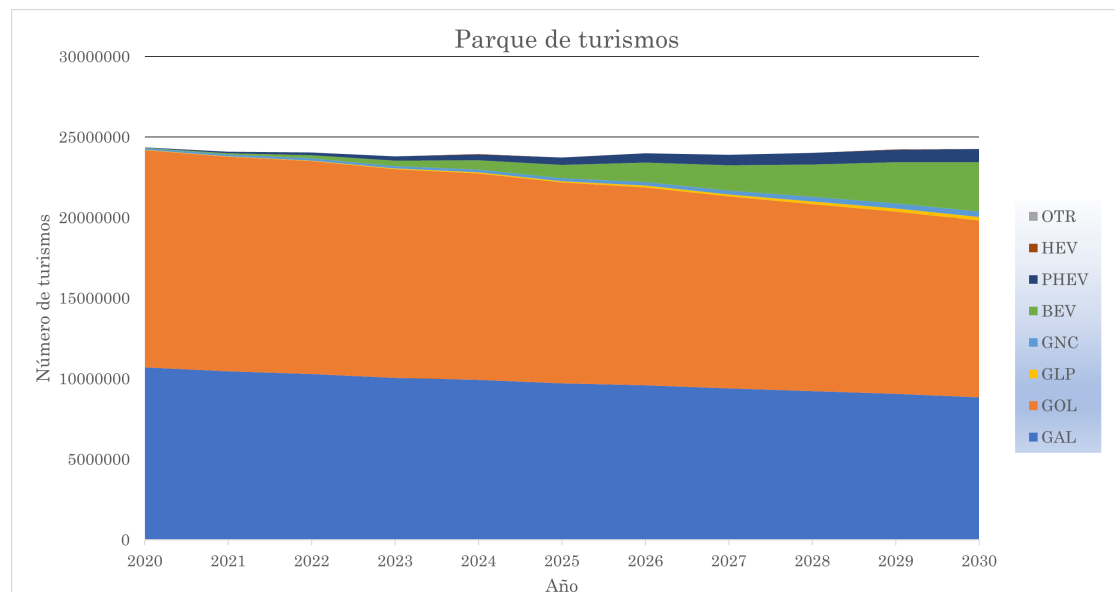


Figura 4.5: Parque de turismos

4.1.5. Emisiones

En cuanto a las emisiones asociadas al parque total de turismos en España, se observa una tendencia descendente entre 2020 y 2030 como indica la Figura 4.6. A nivel general, las emisiones totales disminuyen por la menor cantidad de vehículos ICE en el parque, como se ha explicado anteriormente, y evolucionan desde 54 Mt CO₂ eq en 2020 hasta llegar a 38 Mt CO₂ eq en 2030. Los vehículos GAL ven sus emisiones reducidas de 17 Mt CO₂ eq a 13 Mt CO₂ eq entre 2020 y 2030 pero la mayor reducción de emisiones viene por las asociadas a los vehículos GOL, que va de 37 Mt CO₂ eq a 23 Mt CO₂ eq en el mismo periodo de tiempo. El resto de tipos de vehículos tienen unas emisiones asociadas muy bajas como es el caso de los vehículos BEV y PHEV, y la totalidad de emisiones del resto de vehículos suma 2 Mt CO₂ eq.

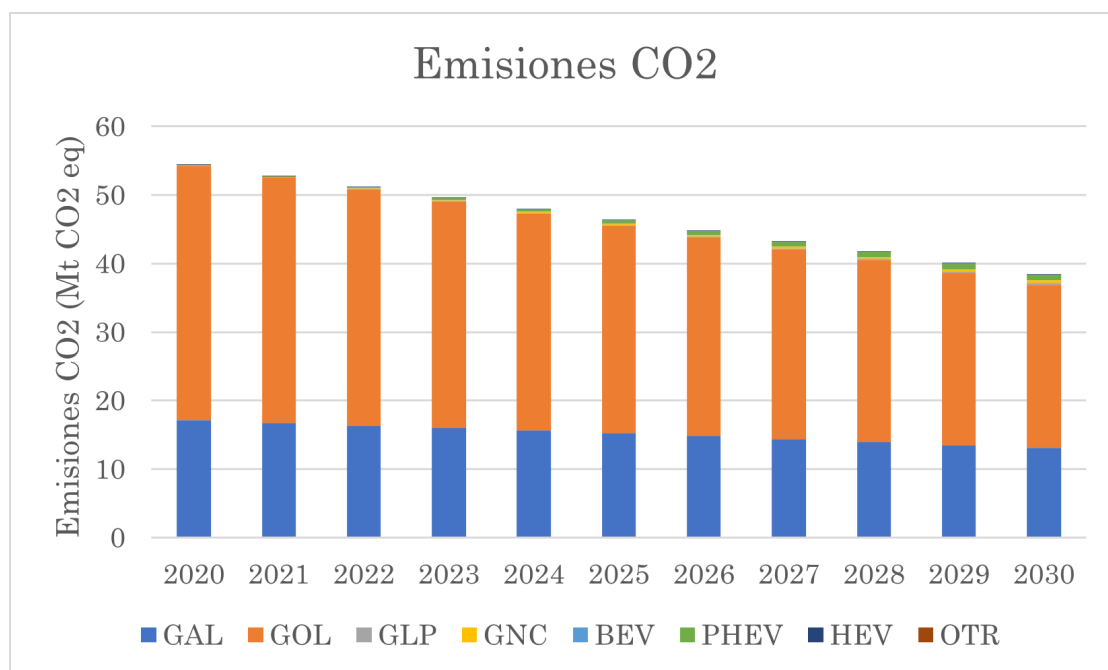


Figura 4.6: Emisiones de CO₂

4.2. Escenario 2: Estudio de sensibilidad del coste de las baterías

A la vista de los resultados del escenario base y de la precisión con la que realizan proyecciones de cuotas de mercado y de parque de vehículos que se reflejan en la realidad, se determina que no es necesario elaborar escenarios que añadan otras

medidas adicionales para representar la realidad, que ya ha quedado representada con las proyecciones del escenario base. Es por ello que se procede a estudiar la sensibilidad del modelo frente a otros valores de entrada que actualmente son plausibles. Uno de los estudios de sensibilidad de mayor importancia es el del coste de las baterías ya que es una de las hipótesis más discutibles actualmente, ya que depende directamente del coste del litio que es uno de sus componentes principales. Este estudio está elaborado mediante el Escenario 2. El objetivo de este escenario es estudiar qué sucedería con las cuotas de mercado y el parque de vehículos en caso de que la reducción del coste de la batería se viera frenada o disminuida con respecto a la actualidad. El aumento del coste de los minerales críticos para la fabricación de las baterías como el litio podría frenar el crecimiento de la electromovilidad.

Se va a estudiar también si la paridad de costes entre el vehículo ICE y los vehículos eléctricos se sigue alcanzando entre los años 2020 y 2030 como recoge el escenario base o si, por el contrario, esta paridad de costes deja de suceder en ese tiempo y se ve retrasada. Para realizar proyecciones y analizar el efecto de una reducción del coste de las baterías menos pronunciada se modifica una hipótesis según se explica a continuación.

4.2.1. Hipótesis

Al tratarse de un estudio de la sensibilidad de los resultados frente al cambio en un parámetro, en este escenario solo se ve modificada la siguiente variable de entrada:

- Costes de Capital

1. Se reduce la mejora y el abaratamiento en las baterías haciendo que su evolución y su reducción de costes sean más leves. Para ello, la batería adquiere un factor de reducción anual del 5% frente al 7,5% del escenario base y los demás componentes del Coste de Capital de los vehículos eléctricos ven reducido su coste siguiendo la misma relación. Así, los demás componentes del tren motriz se reducen en un 1% y los costes indirectos se reducen un 8% anual.

4.2.2. Costes

Para analizar los resultados de costes obtenidos del Escenario 2, se selecciona un grupo de consumidores concreto que sea representativo de todo el escenario y permita ver las diferencias que existen frente al Escenario 1. El resto de costes para

los demás grupos de consumidores siguen la misma tendencia que el caso utilizado y se encuentran recogidos en su totalidad en el Anexo A.

La Figura 4.7 contiene una comparación entre los Costes totales en la vida útil del Escenario 1 y el Escenario 2 para el caso de los vehículos medianos y un perfil de conductor medio, que es representativo de cada escenario. En ella se puede observar que en el Escenario 2, la evolución de costes es mucho más moderada que en el Escenario 1 debido a la menor reducción del coste de las baterías. Esto hace que la paridad de costes se retrase un año, es decir se alcanza en 2023 en el Escenario 2, mientras que en el Escenario 1 ésta se alcanza en 2022. Por otro lado, el coste total en el año 2030 aumenta unos 3000 € para vehículos BEV y PHEV y son los BEV los que continúan siendo los menos costosos este año.

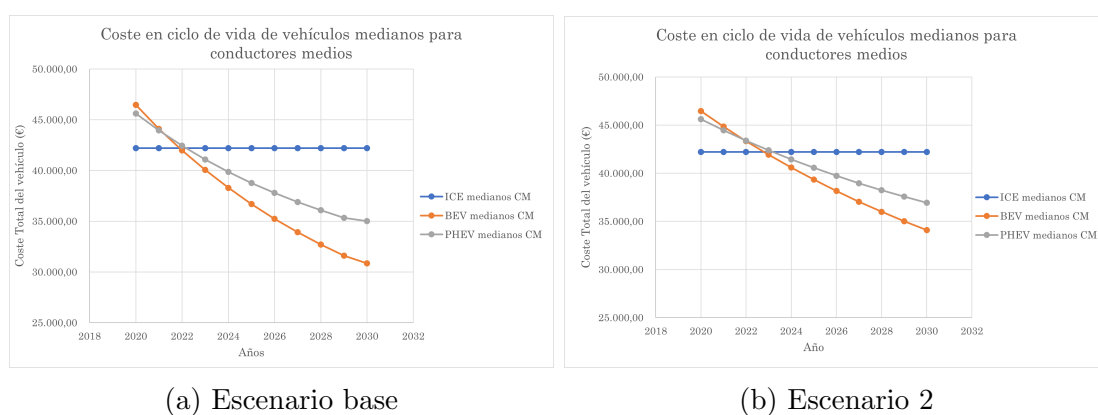


Figura 4.7: Comparativa Costes Totales (conductor medio y vehículo mediano)

4.2.3. Cuotas de mercado

En el caso de la cuota de mercado del Escenario 2, representada en la Figura 4.8, se observan variaciones con respecto al Escenario 1. En el año 2020 la distribución de las compras es similar pero las cuotas de mercado de los vehículos eléctricos sufren un aumento menos pronunciado, haciendo que en el año 2030 la cuota de mercado combinada de vehículos BEV y PHEV sea del 36% en este escenario, lo que supone un 10% menos que en el Escenario 1. Además, entre los vehículos eléctricos hay un reparto distinto de las cuotas de mercado y en este escenario los vehículos PHEV tienen un mayor peso que en el escenario base y tiene una evolución distinta. En el Escenario 1, la cuota de mercado de vehículos PHEV alcanza su máximo en 2025, con un 7% y a partir de ese momento se reduce, pero en el Escenario 2 el vehículo PHEV tiene una cuota de mercado que aumenta anualmente entre 2020 y 2030: alcanza el 7% en 2024 y continúa en aumento hasta llegar al 10% en 2030.

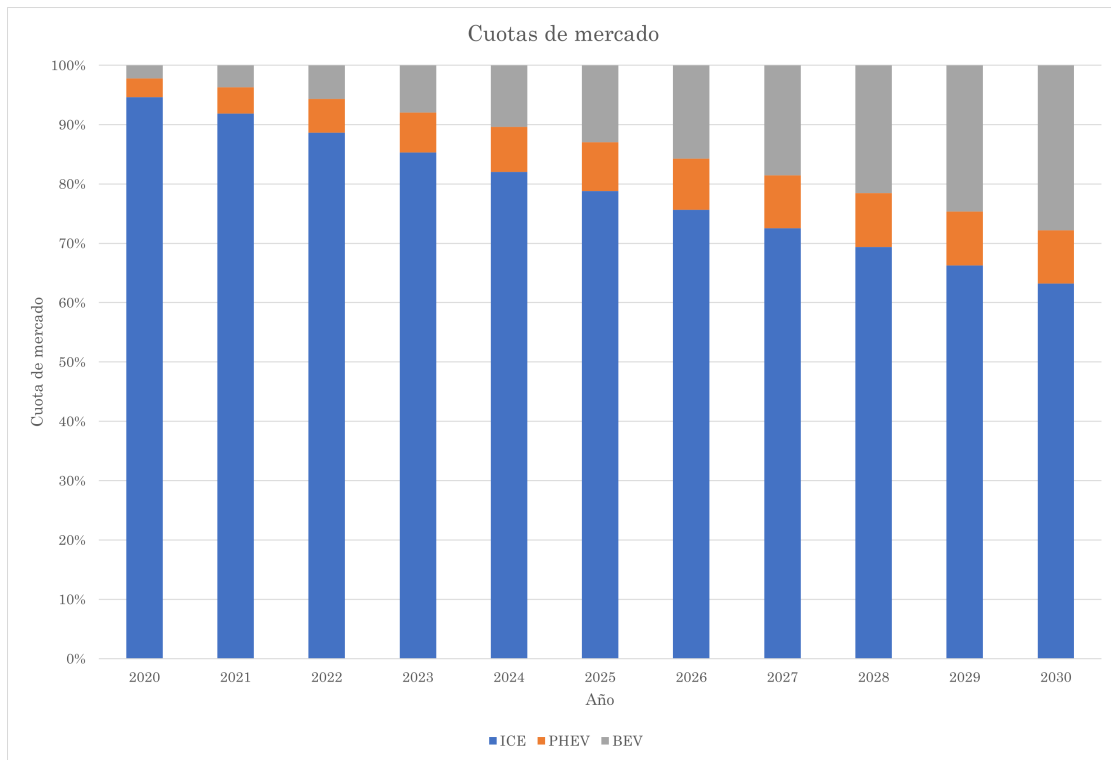


Figura 4.8: Cuotas de mercado

4.2.4. Parque

El parque total de turismos en España está representado en la Figura 4.9. En ella se puede observar cómo incide la cuota de mercado previamente explicada en el parque total. Los datos del año 2020 son los mismos que en el Escenario 1, es decir, ambos escenarios parten de un punto de partida común a partir del cual evolucionan de manera distinta. En este caso, los vehículos eléctricos en el año 2030 alcanzan los 3 millones de vehículos, lo que supone un millón menos frente a los casi 4 millones que se obtienen en el escenario base. Esta diferencia se ve reflejada en la disminución de vehículos GAL y GOL, que en 2030 están formados por 9 millones y 11 millones de vehículos, respectivamente. Por último, debido a las cuotas de mercado más favorables para vehículos PHEV, el resultado en 2030 para vehículos BEV es menor comparado con el escenario base, y los vehículos PHEV presentes en el parque aumentan en este escenario.

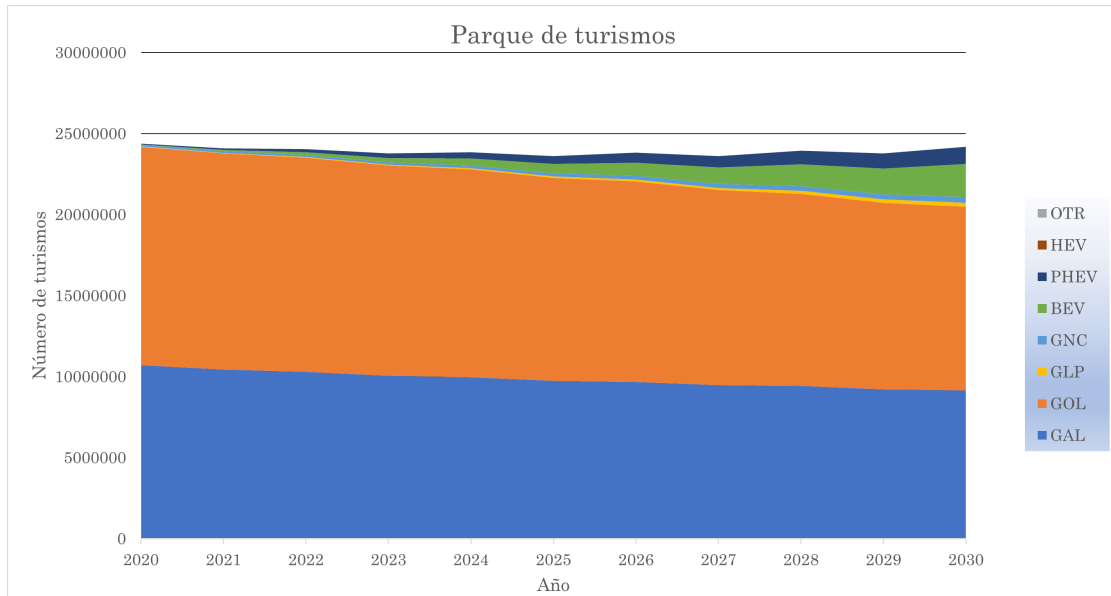


Figura 4.9: Parque de turismos

4.2.5. Emisiones

En cuanto a las emisiones asociadas al parque del Escenario 2, el resultado en el año 2030 es de 40 Mt CO₂ eq, como muestra la Figura 4.10. Al igual que en el escenario base, la mayor parte de las emisiones provienen de los vehículos GAL y GOL y la diferencia es de unos 2 Mt CO₂ eq con respecto al mismo, debido al mayor número de vehículos PHEV en el Escenario 2. Al tener los vehículos PHEV unas emisiones asociadas mayores que las de vehículos BEV, el impacto de estas emisiones en este escenario es más elevado. Además, los vehículos GAL reducen sus emisiones en unos 5 Mt CO₂ eq, mientras que los vehículos GOL son los que más reducción sufren, disminuyendo de 37 Mt CO₂ eq en 2020 a 24 Mt CO₂ eq en 2030, lo cual sucede de manera similar en el Escenario 1.

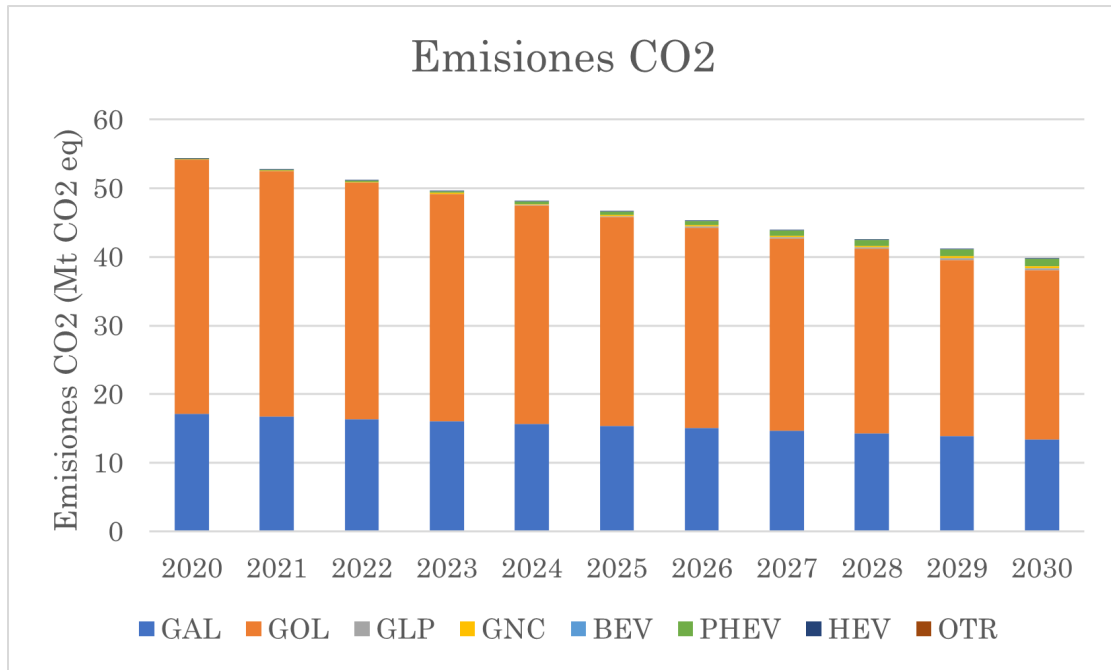


Figura 4.10: Emisiones de CO₂

4.3. Escenario 3: Estudio de sensibilidad del coste de la electricidad

Al igual que en el Escenario 2, se realiza un estudio de la sensibilidad de un parámetro cuya evolución es incierta. Además de la evolución del coste de las baterías, otra de las variables básicas de este modelo es la evolución de los costes del combustible (gasolina y electricidad). La situación actual de inestabilidad en el sector económico y energético hace que sea de gran interés estudiar el impacto que tendría mantener los costes de la electricidad actuales durante los 10 años de estudio de este trabajo. Para ello se elabora el Escenario 3 como estudio del efecto que tendría en la movilidad española utilizar los costes actuales de la electricidad en el modelo, como se explica en las siguientes hipótesis.

4.3.1. Hipótesis

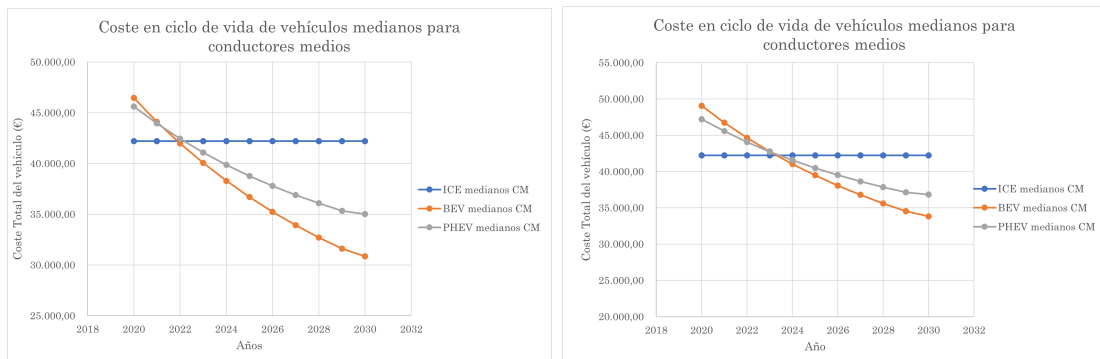
- Costes de Operación y Mantenimiento
 1. Se aumenta el coste de la electricidad que afecta a los Costes de Uso de los vehículos BEV y PHEV de acuerdo con los costes actuales, publicados a diario por Red Eléctrica Española [ree]. Se toma un valor

medio de 0,279 €/kWh que supone un aumento del 44 % con respecto al escenario base en el que se utilizaba un coste de la electricidad de 0,132 €/kWh.

- Además, para aumentar el impacto de este coste, se elimina la reducción anual del 2 % utilizada en el escenario base y su coste se mantiene constante entre 2020 y 2030.

4.3.2. Costes

Al igual que en el Escenario 2, se procede a analizar los resultados de costes totales en la vida útil del escenario 3 mediante el estudio de un grupo de consumidores concreto, que sea representativo del escenario. El resto de resultados de costes se encuentran recogidos en el Anexo A. La Figura 4.11 contiene una comparativa de los costes totales para vehículos medianos y perfil de conductor medio. Al igual que sucede en el Escenario 2, las hipótesis tomadas en este escenario hacen que la evolución de los costes sean más moderadas y tiene un efecto similar en el momento de alcanzar la paridad de costes. En el Escenario 3, la paridad de costes entre vehículos ICE y vehículos eléctricos se retrasa un año respecto al escenario base y se alcanza en 2023. La tendencia que se observa en la gráfica del Escenario 3 es mucho más similar al escenario base que la del Escenario 2 porque en este caso mantiene una forma más parabólica en la evolución de costes, mientras en el Escenario 2 las líneas de evolución eran mucho más rectilíneas. Además, los costes iniciales de los 3 tipos de vehículos son iguales a los del escenario base y los costes en 2030 aumentan en 4000 € para vehículos eléctricos, al igual que sucedía en el Escenario 2.



(a) Escenario base

(b) Escenario 3

Figura 4.11: Comparativa Costes Totales (conductor medio y vehículo mediano)

4.3.3. Cuotas de mercado

Las cuotas de mercado del Escenario 3 está recogidas en la Figura 4.12, y en ellas se puede observar cómo los vehículos eléctricos alcanzan una cuota de mercado del 40 % entre BEV y PHEV en el 2030. En este escenario, los vehículos PHEV tienen un gran peso en las compras anuales, y alcanzan su máxima cuota de mercado en el año 2028, en el que llega a casi el 12 %. Por su parte, los vehículos BEV forman el 29 % de cuota de mercado en el 2030 y el 60 % restante en 2030 está ocupado por los vehículos ICE. Con respecto al escenario base, en este caso también tienen un mayor peso los vehículos PHEV en el mercado, como también sucede en el Escenario 2.

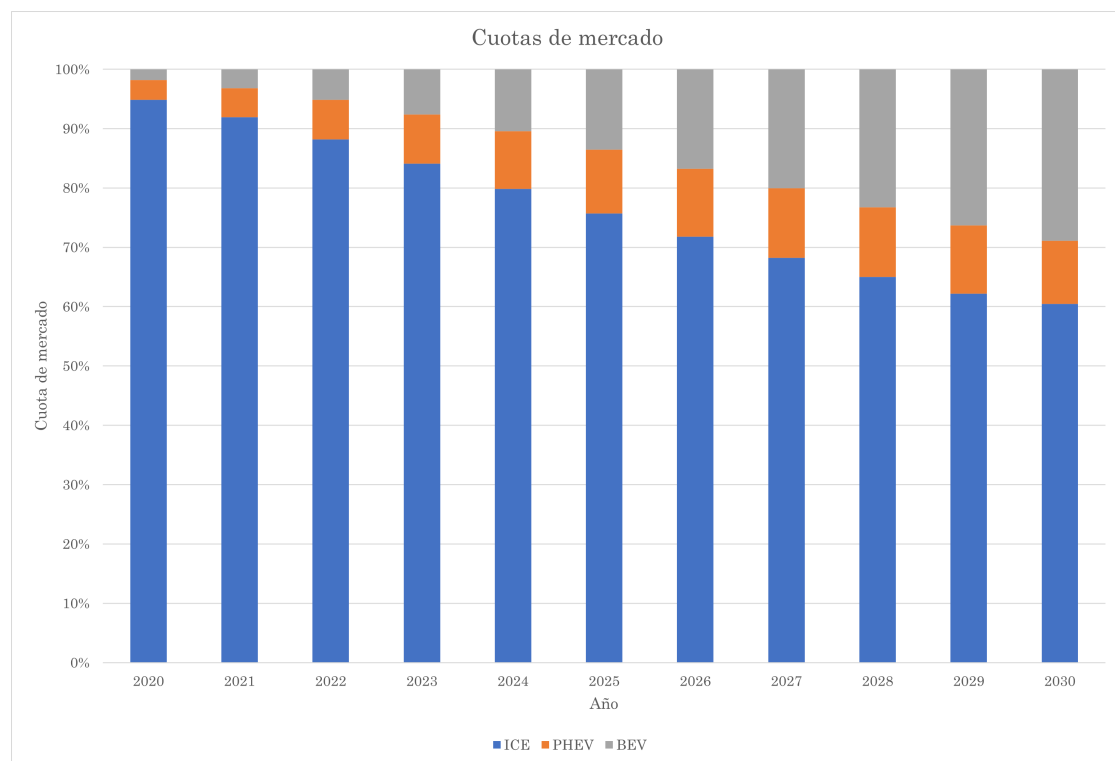


Figura 4.12: Cuotas de mercado

4.3.4. Parque

El impacto de la cuota de mercado en el resultado de parque de turismos del Escenario 3 queda reflejado en la Figura 4.13. En este escenario, el número total de vehículos eléctricos en 2030 es de 3,4 millones, lo cual supone un resultado intermedio entre el Escenario base y el Escenario 2. Esta cantidad se reparte en 2,1 millones para vehículos BEV y los 1,3 millones de vehículos restantes son

PHEV. La evolución tiene una forma similar al Escenario 2, pero la reducción de vehículos GAL y GOL es más pronunciada en este caso. Los vehículos GAL sufren una disminución de 1 millón de vehículos entre 2020 y 2030 y los vehículos GOL vuelven a ser los más afectados por el aumento de vehículos eléctricos en el parque, pasando de 13,5 millones de vehículos en 2020 a 11,1 millones en 2030.

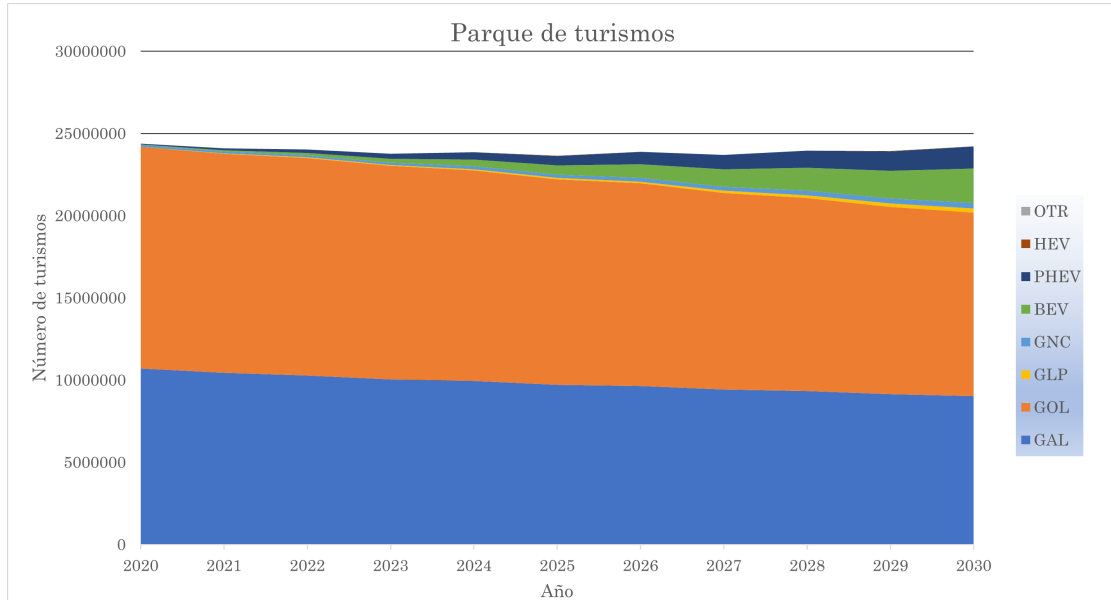
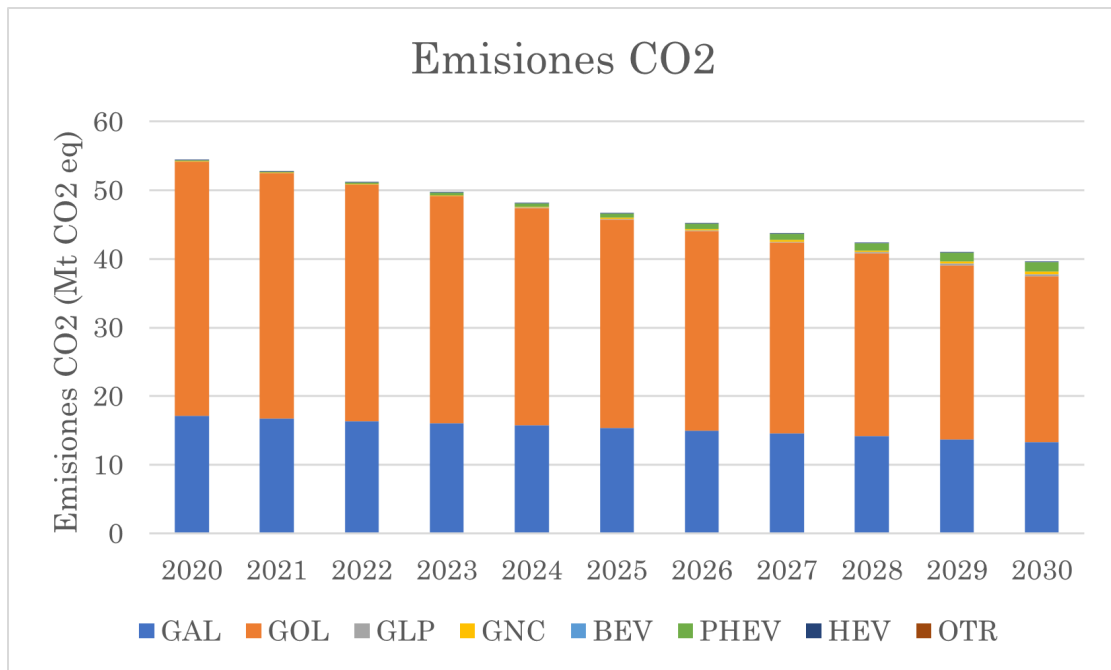


Figura 4.13: Parque de turismos

4.3.5. Emisiones

Por último, las emisiones asociadas al parque de vehículos en el Escenario 3 quedan recogidas en la Figura 4.14. En este caso, las emisiones son muy similares a las del Escenario 2 porque también se reducen desde 54,3 Mt CO₂ eq en 2020 hasta 39,5 Mt CO₂ eq en 2030. Como en este escenario los vehículos PHEV tienen un mayor peso que en el escenario base, sus emisiones asociadas son de 1,4 Mt CO₂ eq en el año 2030, frente a las 0,9 Mt CO₂ eq que se obtenían en el escenario base para el mismo año. Al igual que en los demás escenarios, las emisiones asociadas a vehículos GAL y GOL se reducen de 17 a 13 Mt CO₂ eq en el primer caso y de 37 a 24 Mt CO₂ eq para vehículos GOL.

Figura 4.14: Emisiones de CO₂

4.4. Resumen de Resultados

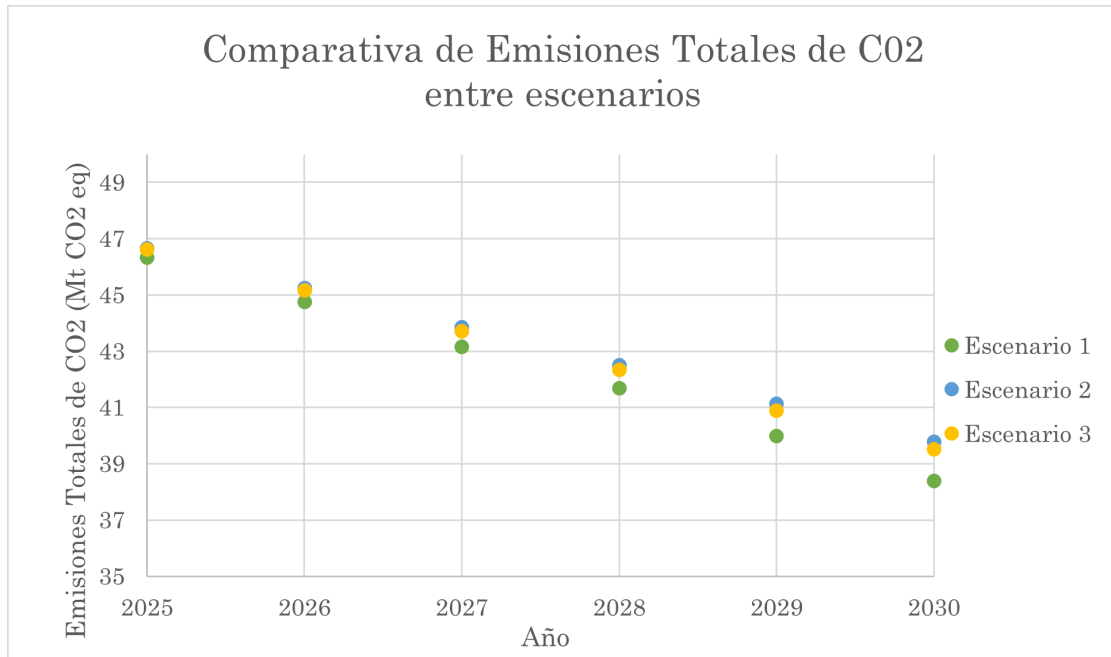
Las Tablas 4.3 y 4.4 contiene un resumen de los resultados más relevantes del trabajo para comparar los efectos que tienen las distintas hipótesis tomadas según el escenario. Además, la Figura 4.15 representa gráficamente la evolución de las emisiones de CO₂ según los distintos escenarios.

Escenario	Año de paridad de costes (vehículo mediano, conductor medio)	Cuotas de mercado en 2030 (BEV, PHEV, ICE)
Escenario 1: Caso base	2022	42,5 %, 4,1 %, 53,4 %
Escenario 2: Estudio de sensibilidad coste de batería	2023	27,9 %, 8,9 %, 63,2 %
Escenario 3: Estudio de sensibilidad coste de electricidad	2023	28,9 %, 10,6 %, 60,5 %

Tabla 4.3: Resumen de resultados 1

Escenario	Parque de vehículos en 2030	Emisiones en 2030
Escenario 1: Caso base	3,9 millones de vehículos	38 Mt CO2 eq
Escenario 2: Estudio de sensibilidad coste de batería	3 millones de vehículos	40 Mt CO2 eq
Escenario 3: Estudio de sensibilidad coste de electricidad	3,4 millones de vehículos	39,5 Mt CO2 eq

Tabla 4.4: Resumen de resultados 2

Figura 4.15: Comparativa Escenarios Emisiones de CO₂

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Escenario 1

El escenario base presenta unos resultados muy interesantes y de gran valor para la proyección de costes y decisión de compras de vehículos por parte de particulares. La hipótesis principal de este escenario es la reducción del coste del precio de la batería y se puede considerar válida en este estudio porque los resultados de las proyecciones coinciden con los datos publicados desde 2020 hasta la actualidad. A continuación, se procede a describir las conclusiones inferidas a partir de los resultados del modelo, que se basan en cuatro aspectos fundamentales: los costes totales, las cuotas de mercado, el parque total de vehículos y las emisiones asociadas a dicho parque.

Según los resultados, de este primer escenario se puede extraer la conclusión de que los Costes Totales de los vehículos eléctricos alcanzarán la paridad de costes con los vehículos ICE entre los años 2022 y 2028 según el tamaño y el perfil del conductor, exceptuando a los conductores frecuentes en cuyo caso no se alcanza la paridad de coste antes de 2030. Según el grupo de consumidores del que se forme parte, el coste total de la vida útil de un vehículo eléctrico igualará al de vehículos ICE antes de 2030 en 7 de los 9 grupos en los que se divide a los compradores. Por lo tanto, la decisión de compra de un comprador particular en España será la de optar por la tecnología eléctrica del vehículo en casi todos los casos. Esto se debe a que, a pesar de incurrir en unos costes más elevados en el momento de la compra, la reducción de los costes de operación y de las inconveniencias de los vehículos eléctricos hacen que a lo largo de la vida útil del vehículo acaben siendo menores sus costes y, por lo tanto, la decisión más acertada sea la de optar por un vehículo BEV o PHEV frente a uno de combustión.

Además, se puede concluir que es correcta la calibración de costes realizada en este proyecto por la que el valor de los costes más cercanos en el tiempo es mayor

que el de costes futuros, es decir, el comprador se fija en los costes en los que va a incurrir en el momento de la compra y los considera constantes en vez de tener en cuenta la tendencia de evolución de dichos costes. Los resultados de este trabajo muestran que el riesgo e incertidumbre en los que se incurre en el momento de la compra de un vehículo son muy relevantes para el comprador y, por lo tanto, éste toma la decisión de compra fijándose más en la situación actual de los costes que en la proyección a lo largo de toda la vida útil del vehículo.

Otra de las conclusiones de este trabajo es que si se cumplen las hipótesis descritas en el escenario base, se alcanzarían los objetivos propuestos y detallados en el PNIEC de 3 millones de turismos eléctricos en el parque de vehículos español [pniec], ya que según las proyecciones de este trabajo, en 2030 habrá 3 millones de vehículos BEV y 800 mil vehículos PHEV. Esto supone que sería necesario mantener las ayudas y subvenciones a la compra de vehículos eléctricos que existen en la actualidad, reducir el coste de la electricidad un 2 % anual e incentivar la investigación y mejora de las baterías eléctricas hasta alcanzar un abaratamiento del 12 % anual de las mismas para lograr este objetivo. El PNIEC también sitúa la paridad de costes entre vehículos eléctricos e ICE en el año 2025, lo cual se ajusta perfectamente a los resultados obtenidos en este escenario. En los Costes Totales del escenario base se puede observar como la paridad de costes se da entre el año 2022 y el 2028, por lo que el 2025 queda como valor intermedio y representativo de todos los grupos de consumidores.

Por otro lado, los objetivos del escenario incluido en el Electric Vehicle Outlook estarían cerca de cumplirse con los resultados del escenario base. Dicho informe prevee una cuota de mercado del 50 % de los vehículos eléctricos [evo], y la proyección de la cuota de mercado en este escenario es del 46,6 % (42,5 % del vehículo BEV y 4,1 % del PHEV).

Por último, las proyecciones del modelo acerca de las emisiones de CO₂ muestran una reducción del 29,6 % entre 2020 y 2030. Es decir, una renovación del parque de vehículos promovida por el abaratamiento de las baterías eléctricas haría que se redujeran en un tercio las emisiones de CO₂. Y para que se produjera esta evolución de las emisiones, sería necesario cumplir con las hipótesis del escenario base, las cuales no se alejan de la situación actual ni tienen un carácter excesivamente optimista. Esta es una conclusión de gran importancia porque permite analizar los esfuerzos requeridos para abarcar un problema de tal relevancia como son las emisiones de gases de efecto invernadero.

5.2. Escenario 2

En el Escenario 2 o Estudio de sensibilidad del coste de las baterías, los resultados muestran el efecto que tendría una evolución del coste de las baterías más moderada.

En primer lugar, en comparación con el escenario base, se observa que la paridad de costes se retrasa un año debido al menor abaratamiento de la batería. Esto se sustenta porque al ser más costosa la batería en el Escenario 2 que en el escenario base, se retrasa el momento en el que la reducción de costes de los vehículos eléctricos alcanza al coste constante de los vehículos ICE. También cabe destacar que los costes de la batería no son los únicos que se reducen para vehículos eléctricos, ya que se mantiene una reducción anual del coste de la electricidad que afecta al coste de operación y que también tiene un gran impacto sobre el coste total en la vida útil del vehículo.

En cuanto a las cuotas de mercado, se observa una clara disminución de la cuota asociada a vehículos BEV porque el coste de la batería es su coste principal en el momento de la compra. En cambio, los vehículos PHEV tienen una mayor cuota comparada con el Escenario 1 ocupando de esta manera un porcentaje de la cuota que pierden los vehículos PHEV. De esta manera, las proyecciones dejan de alcanzar la cuota de mercado del 50% de vehículos eléctricos propuesta por el EVO [evo]. Suponiendo un mayor coste anual de la batería con respecto al escenario base se obtiene una disminución de casi el 50% en la cuota de mercado del vehículo BEV y un aumento de la cuota del vehículo PHEV, por lo que se puede concluir que las cuotas de mercado son altamente sensibles a la variación del coste de la batería.

La evolución del parque de vehículos según las cuotas de mercado anteriormente explicadas alcanza 3 millones de vehículos eléctricos en 2030 para el Escenario 2. De esta forma se sigue cumpliendo el objetivo del PNIEC [pniec], porque a pesar de que exista una menor introducción del vehículo BEV en el parque, los vehículos PHEV toman más peso y de esta forma se consigue alcanzar el objetivo propuesto por dicho organismo nacional.

Por último, las emisiones asociadas al parque de vehículos aumentan en 2 Mt CO₂ eq en 2030 frente al Escenario 1 por la diferencia de 900.000 vehículos eléctricos que se observa entre ambos escenarios. Incluso con esta diferencia en el parque, las emisiones se reducen en un 25,9% entre 2020 y 2030, es decir, con las hipótesis tomadas en el Escenario 2 se reducirían en un cuarto las emisiones asociadas al parque de turismos.

5.3. Escenario 3

El Escenario 3 recoge el Estudio de sensibilidad del coste de la electricidad, por lo que en este caso los resultados se basan en un aumento del coste de la electricidad con respecto al escenario base y se mantiene constante dicho coste entre 2020 y 2030.

Con respecto al resultado de paridad de costes extraído del modelo, se observa que el aumento del coste de la electricidad tiene un efecto similar al Escenario 2, ya que ambos retrasan el momento de paridad de costes en un año. De este resultado se puede inferir que un mayor coste de la electricidad afecta directamente al coste de operación pero la reducción del coste de capital debido al abaratamiento de la batería equilibra este aumento de coste haciendo que se obtenga el mismo resultado que en el Escenario 2.

Las cuotas de mercado obtenidas en el Escenario 3 son muy similares a las del Escenario 2, aunque en este caso las cuotas asociadas a vehículos BEV y PHEV son levemente mayores. Por ello, se concluye que las proyecciones del modelo son sensibles frente a una variación del coste de la electricidad. Las cuotas de mercado de vehículos eléctricos no alcanza el objetivo del 50 % en 2030 propuesto por el PNIEC [pniec], al igual que sucede en el Escenario 2.

El parque de vehículos que resulta de este escenario es intermedio entre el del Escenario 1 (3,9 millones de vehículos en 2030) y el del Escenario 2 (3 millones de vehículos en 2030). Esto quiere decir que el Escenario 3, con su hipótesis de aumento de coste de la electricidad, afecta en menor medida al parque total de vehículos eléctricos que el Escenario 2, que supone un menor abaratamiento de las baterías. Es decir, el parque de vehículos eléctricos en 2030 es más sensible a la variación en el precio de la batería que al aumento de coste de la electricidad. Esto se debe a la calibración de costes realizada para calcular los costes de operación a lo largo de la vida útil, que amortiguan el efecto de una variación en los costes de operación en años futuros.

En cuanto a las emisiones asociadas, los resultados de este escenario también son intermedios entre el Escenario 1 (38 Mt CO₂ eq) y el Escenario 2 (40 Mt CO₂ eq), ya que se obtienen 39,5 Mt CO₂ eq en 2030. Este resultado depende únicamente del parque de vehículos y, como se ha explicado anteriormente, el parque de vehículos no es tan sensible a la variación en el coste de la electricidad incluida en el Escenario 3, por lo que el resultado obtenido respecto a las emisiones es coherente con el resto de resultados para este escenario. Además, cabe resaltar que pese a que la electricidad viera su coste aumentado, las decisiones de compra formarían un parque que en el año 2030 tendría unas emisiones asociadas del 26,9%.

5.4. Conclusiones generales

En definitiva, tras el análisis de todos los resultados obtenidos por el modelo en los distintos escenarios realizados, se puede concluir que los factores más determinantes para la introducción de vehículos eléctricos en el parque son el coste de las baterías y el coste de la electricidad. Si uno de estos dos factores no favorece la compra del vehículo eléctrico, como sucede en los Escenarios 2 y 3, el resto de hipótesis continúan haciendo que el comprador

En el escenario base se toman hipótesis favorables para la evolución del coste del vehículo eléctrico (abaratamiento de la batería y del coste de la electricidad), pero en los Escenarios 2 y 3 se realizan estudios de sensibilidad introduciendo hipótesis menos positivas para los vehículos eléctricos. En el Escenario 2, un abaratamiento del coste de las baterías menos pronunciado afecta gravemente a las cuotas de mercado y, como consecuencia, al parque de vehículos eléctricos obteniendo el menor número de vehículos BEV y PHEV de los tres escenarios. Esto hace que las emisiones asociadas a este Escenario sean las más elevadas. Como conclusión, si componentes de la batería como el litio no ven reducido su coste y la capacidad de las baterías no mejora, tendrá un importante efecto en el coste del vehículo eléctrico y por consiguiente en las decisiones del comprador. El Escenario 3 por su parte, con una reducción de los precios de las baterías similar al caso base pero con un aumento del coste de la electricidad, tendrá un efecto más leve en los costes totales del vehículo y en el parque de vehículos eléctricos, obteniendo así un resultado intermedio de número de vehículos y emisiones en 2030.

Anexo A

Resultados completos

El siguiente Anexo contiene la totalidad de los resultados obtenidos a partir del modelo de decisión de compra de un vehículo y del modelo de proyección del parque de vehículos del OVEMS.

A.1. Escenario 1: Caso Base

A.1.1. Costes Totales en Ciclo de Vida según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor

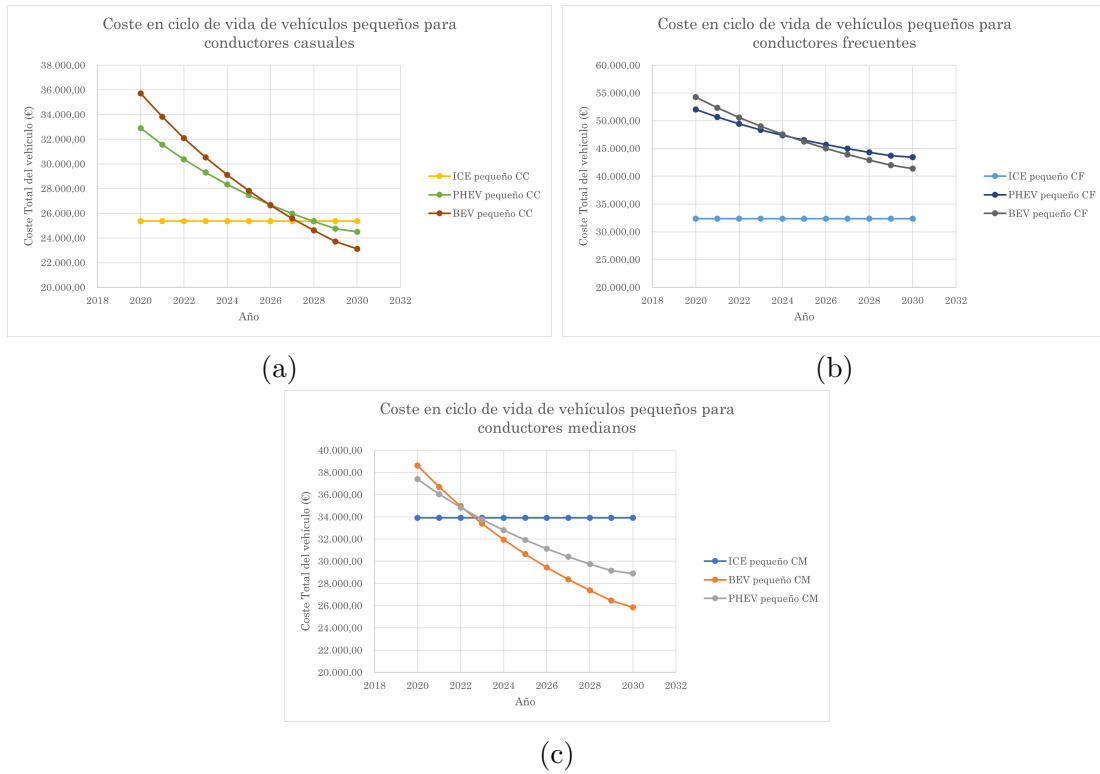


Figura A.1: Costes Totales de vehículos pequeños

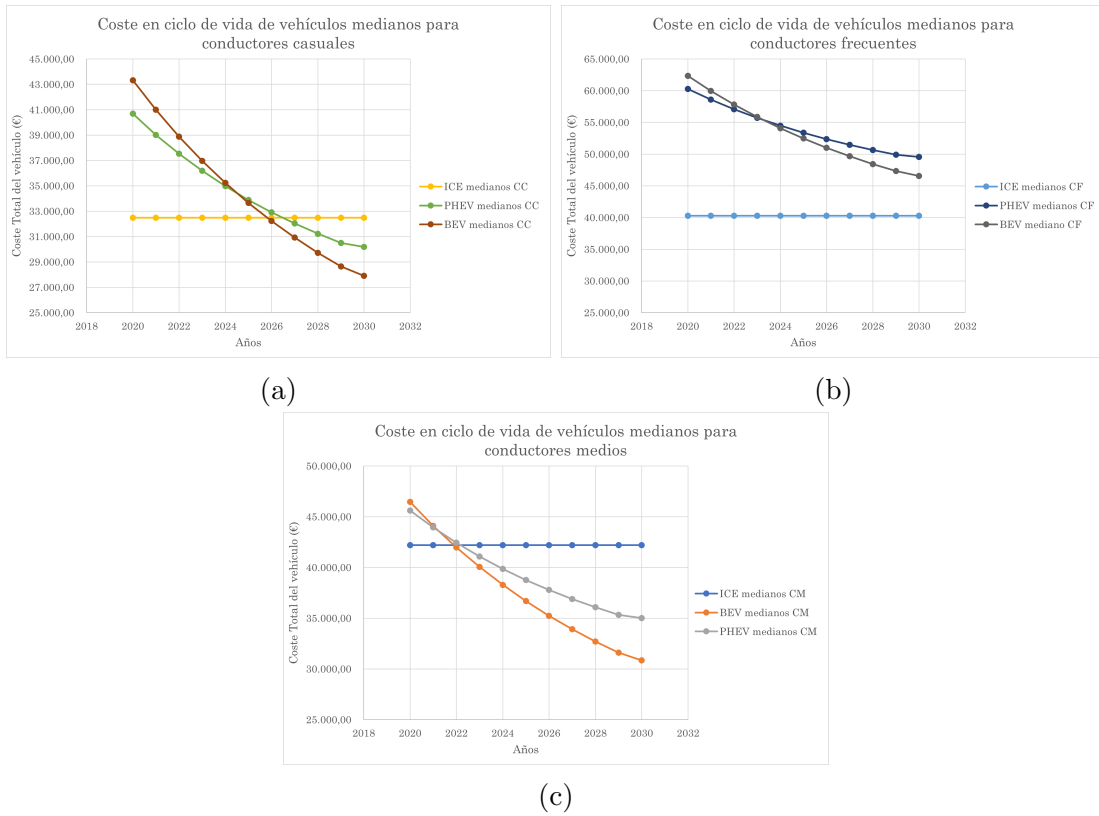


Figura A.2: Costes Totales de vehículos medianos

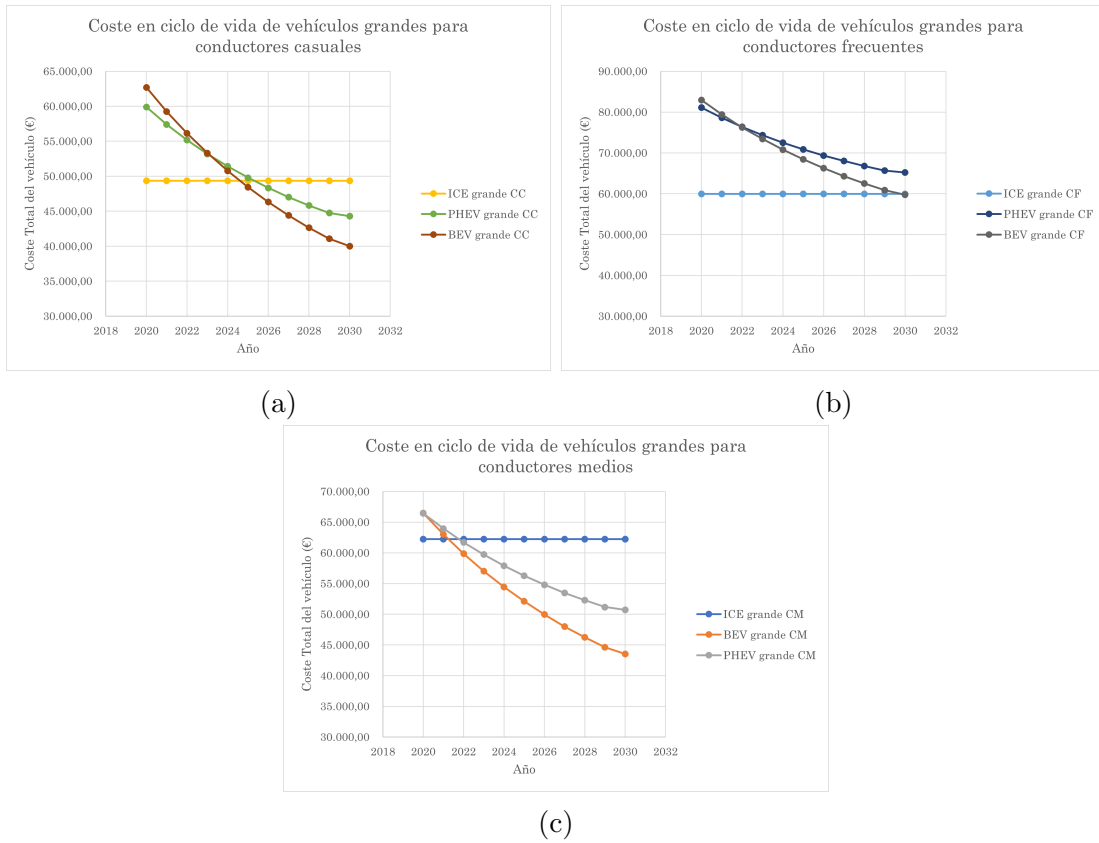


Figura A.3: Costes Totales de vehículos grandes

A.1.2. Cuotas de mercado

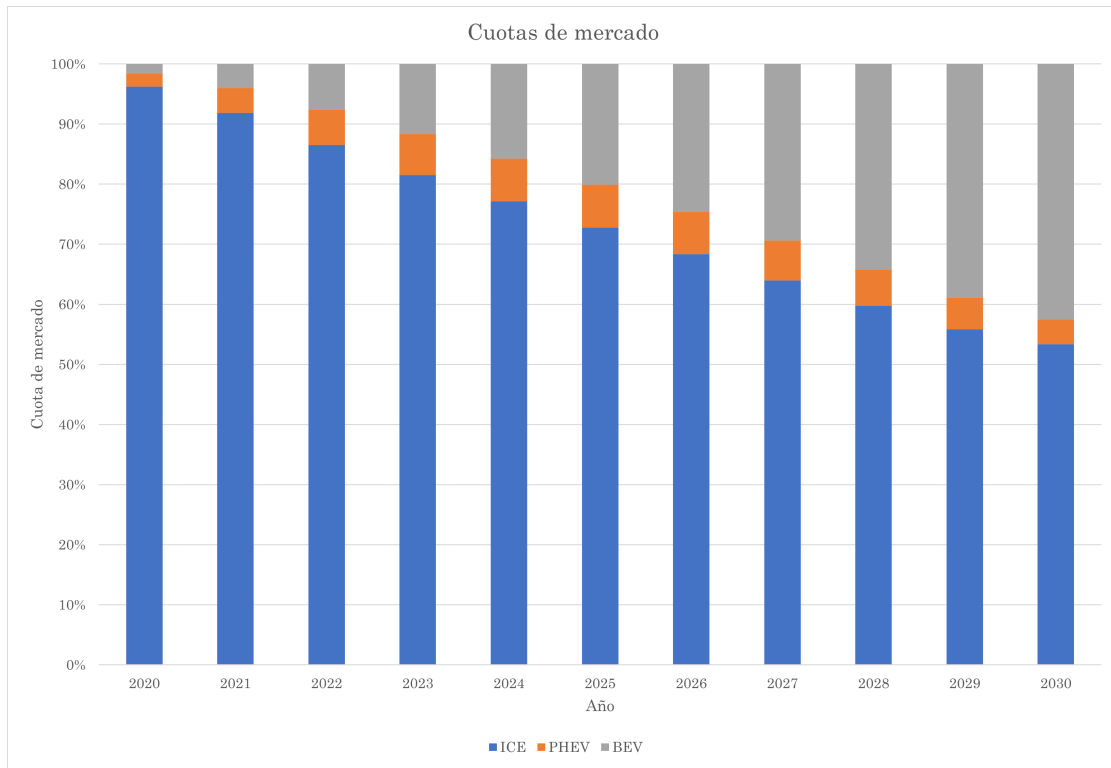


Figura A.4: Cuotas de mercado

A.1.3. Parque de vehículos

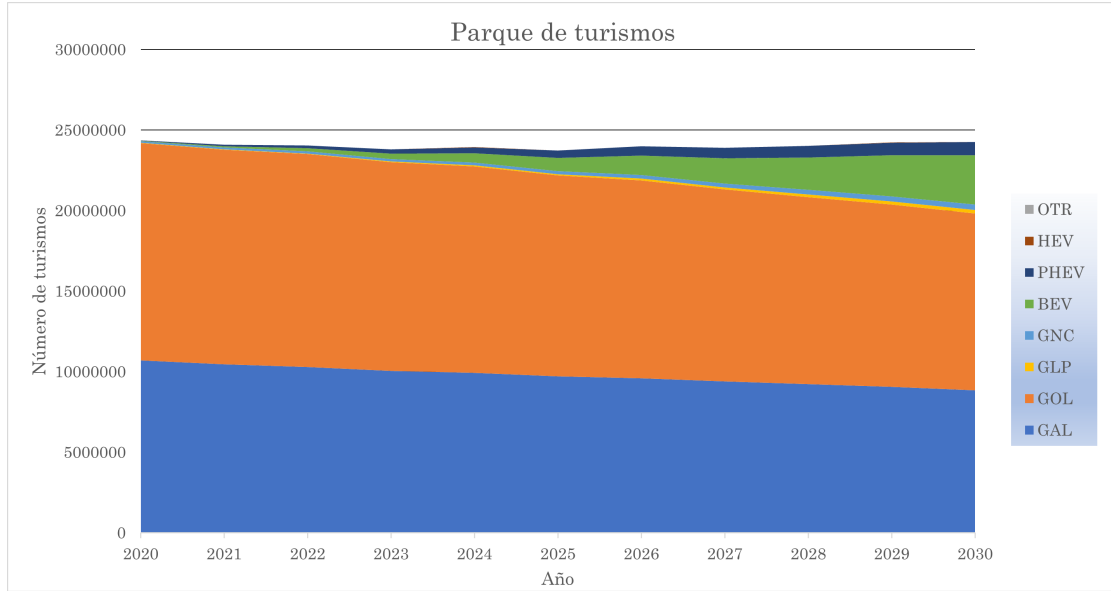


Figura A.5: Parque de turismos

A.1.4. Emisiones de CO₂

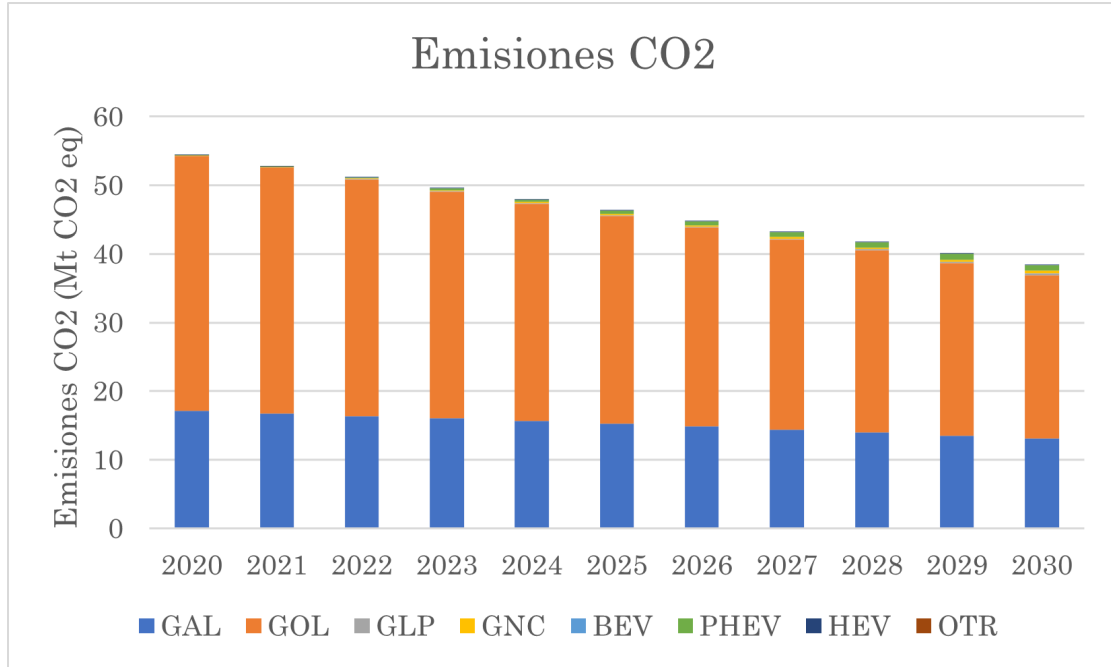


Figura A.6: Emisiones de CO₂

A.2. Escenario 2: Estudio de sensibilidad del coste de las baterías

A.2.1. Costes Totales en Ciclo de Vida según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor

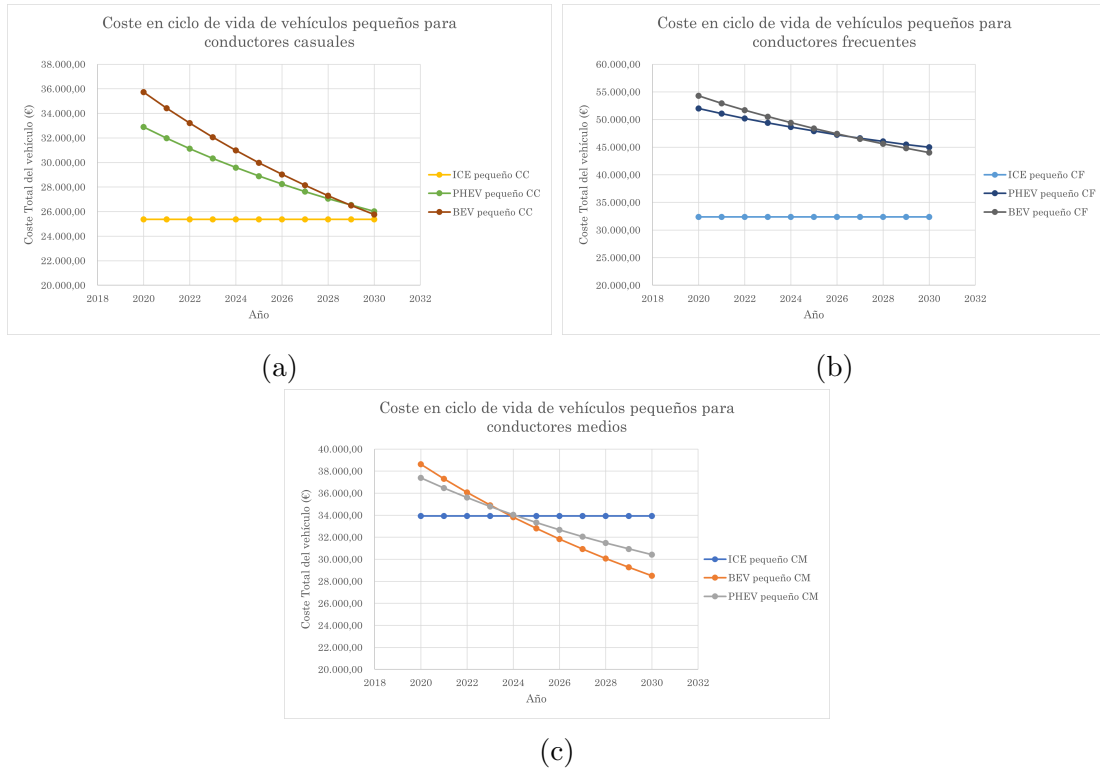


Figura A.7: Costes Totales de vehículos pequeños

A.2. Escenario 2: Estudio de sensibilidad del coste de las baterías

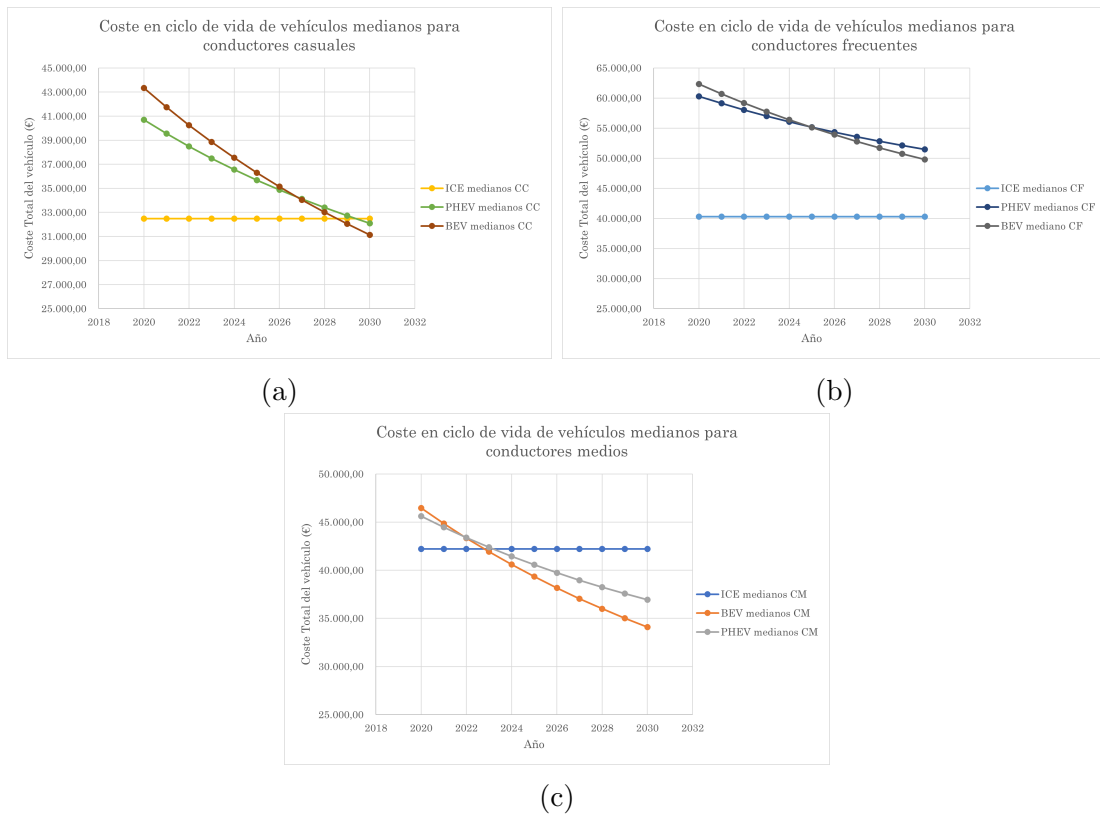


Figura A.8: Costes Totales de vehículos medianos

A.2. Escenario 2: Estudio de sensibilidad del coste de las baterías

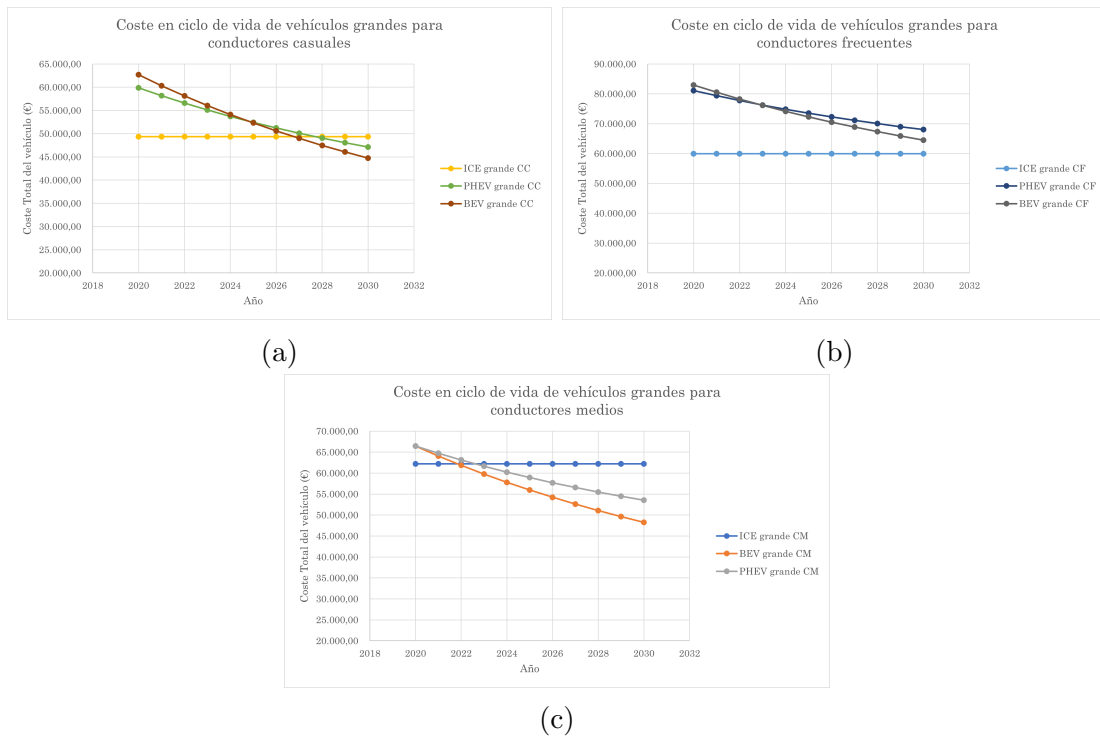


Figura A.9: Costes Totales de vehículos grandes

A.2.2. Cuotas de mercado

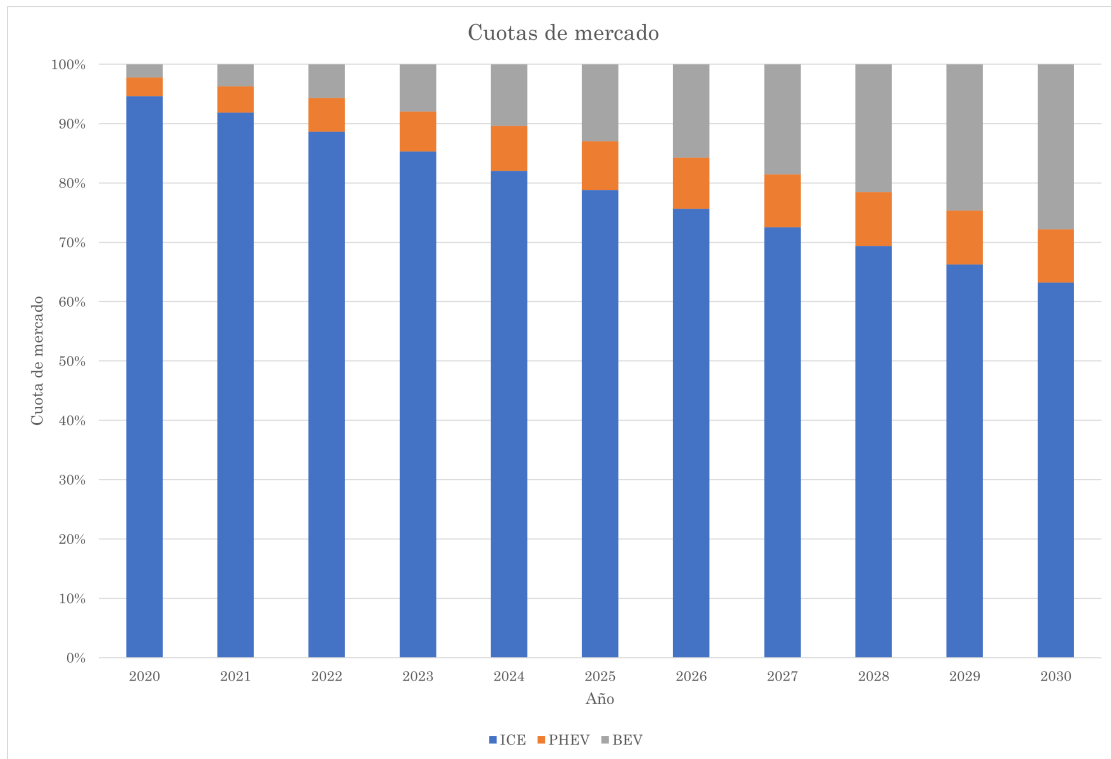


Figura A.10: Cuotas de mercado

A.2.3. Parque de vehículos

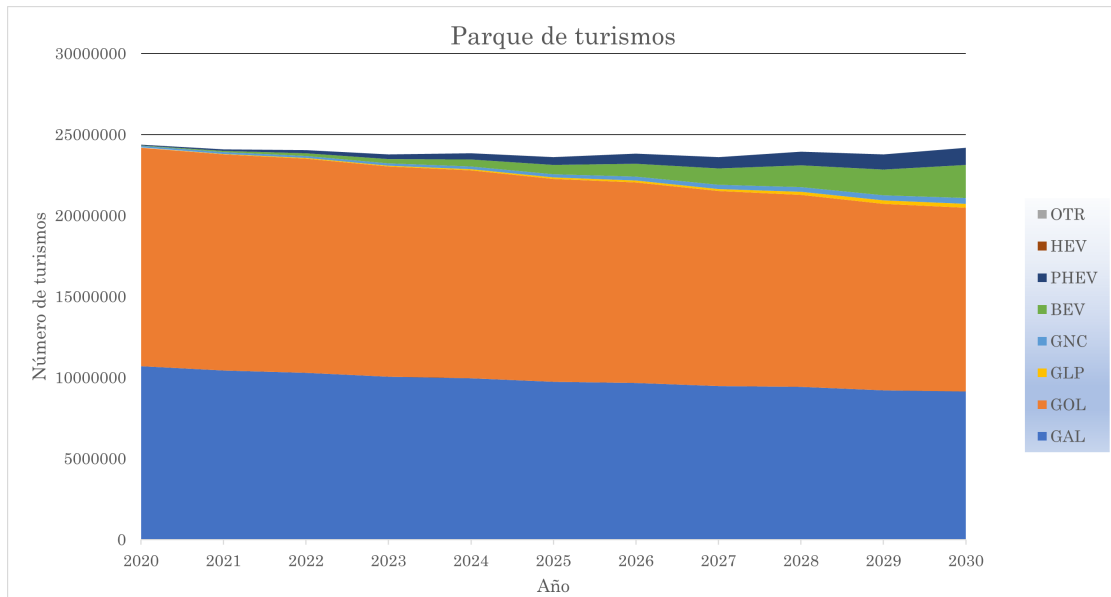


Figura A.11: Parque de turismos

A.2.4. Emisiones de CO₂

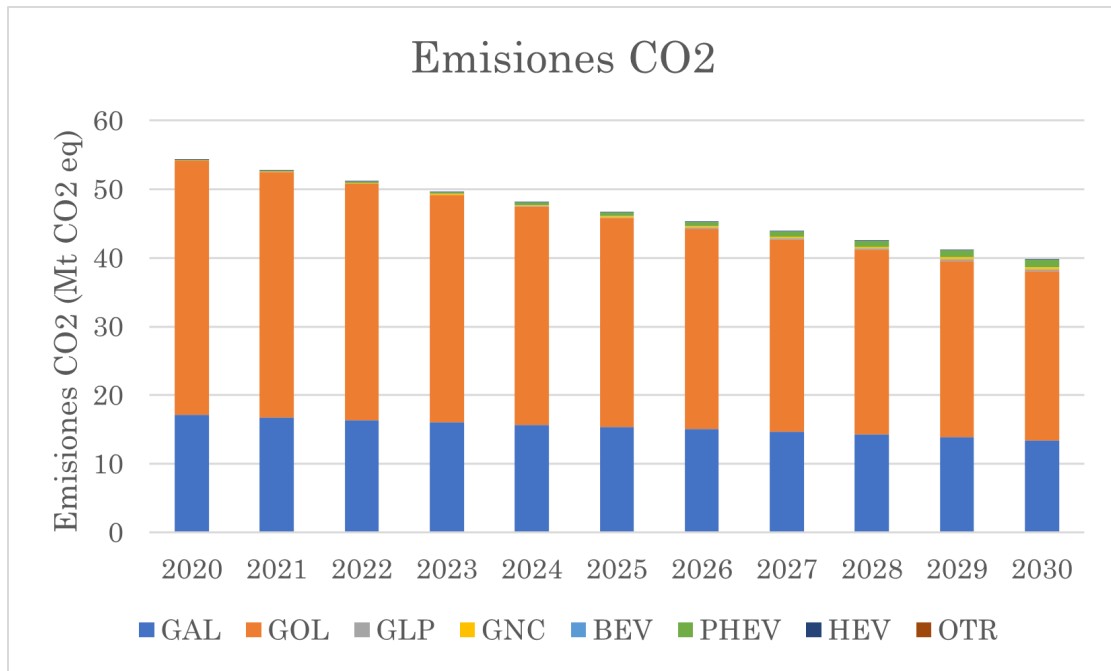


Figura A.12: Emisiones de CO₂

A.3. Escenario 3: Estudio de sensibilidad del coste de la electricidad

A.3.1. Costes Totales en Ciclo de Vida según el tamaño del vehículo y el perfil del conductor

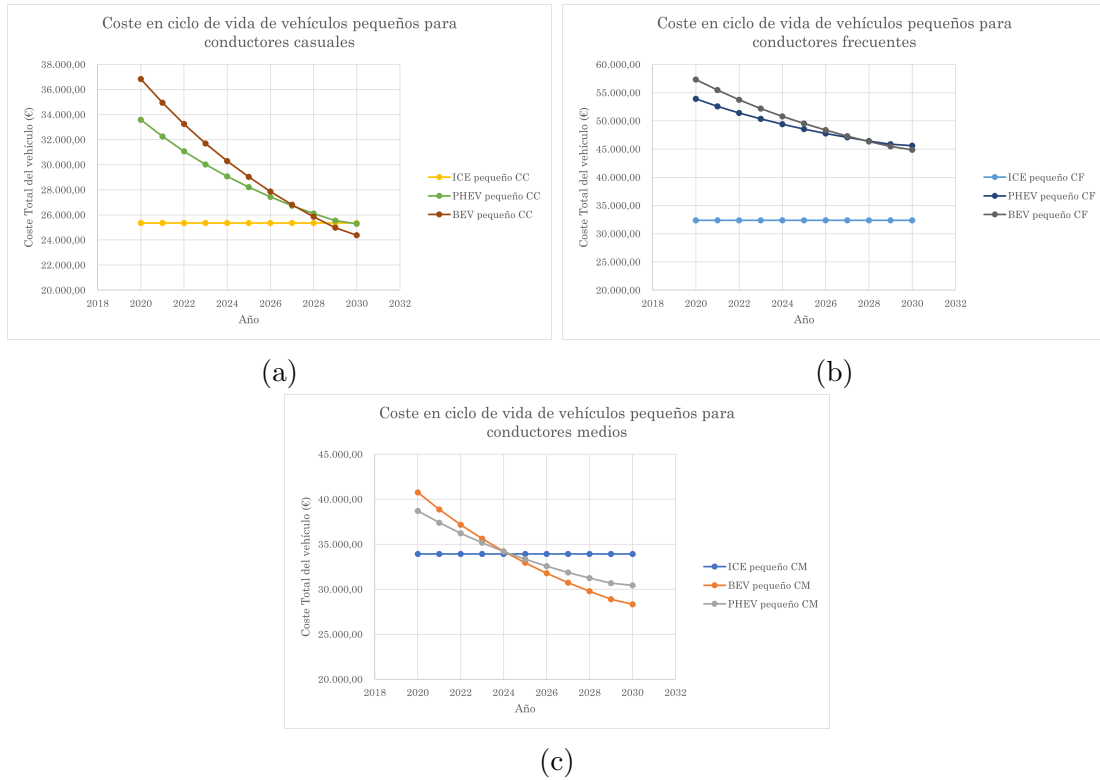


Figura A.13: Costes Totales de vehículos pequeños

A.3. Escenario 3: Estudio de sensibilidad del coste de la electricidad

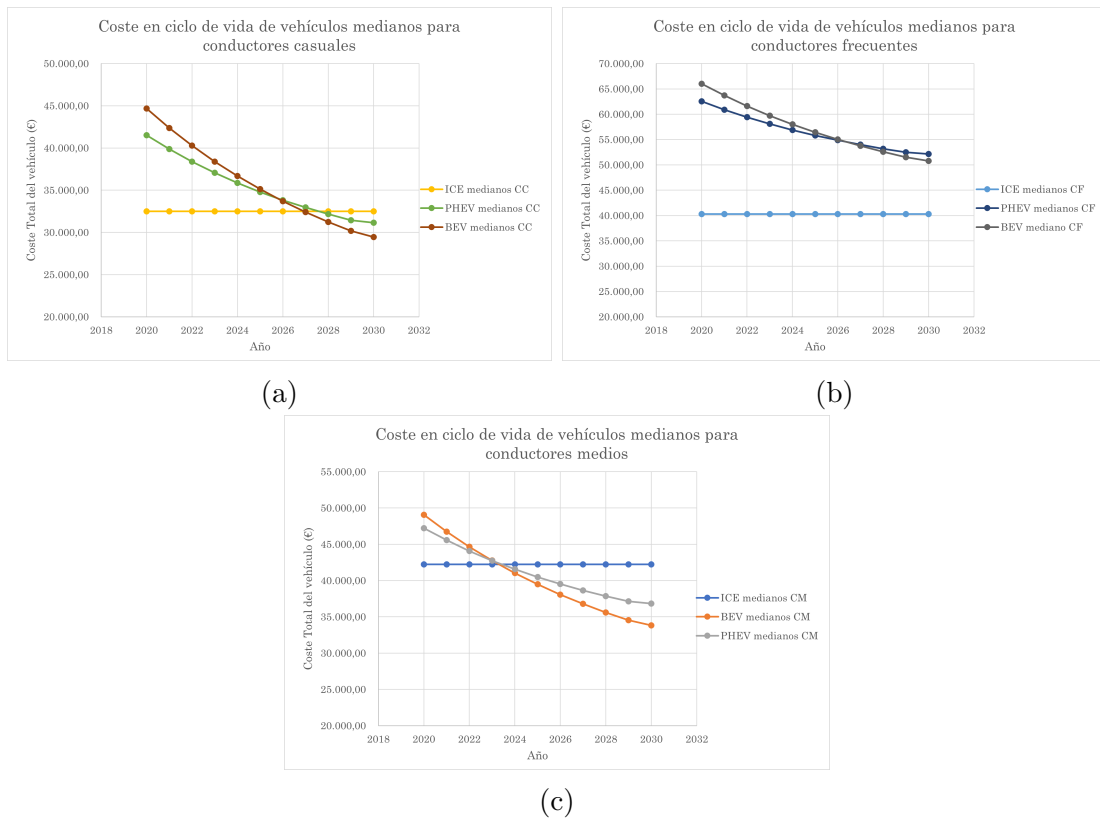


Figura A.14: Costes Totales de vehículos medianos

A.3. Escenario 3: Estudio de sensibilidad del coste de la electricidad

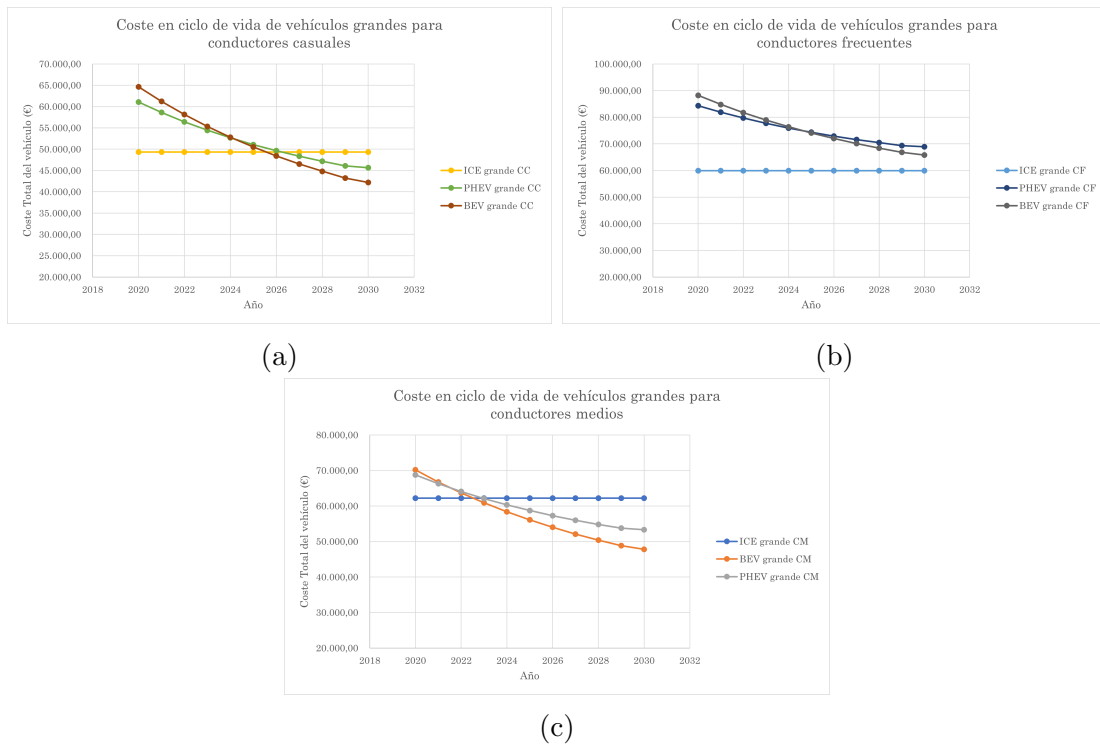


Figura A.15: Costes Totales de vehículos grandes

A.3.2. Cuotas de mercado

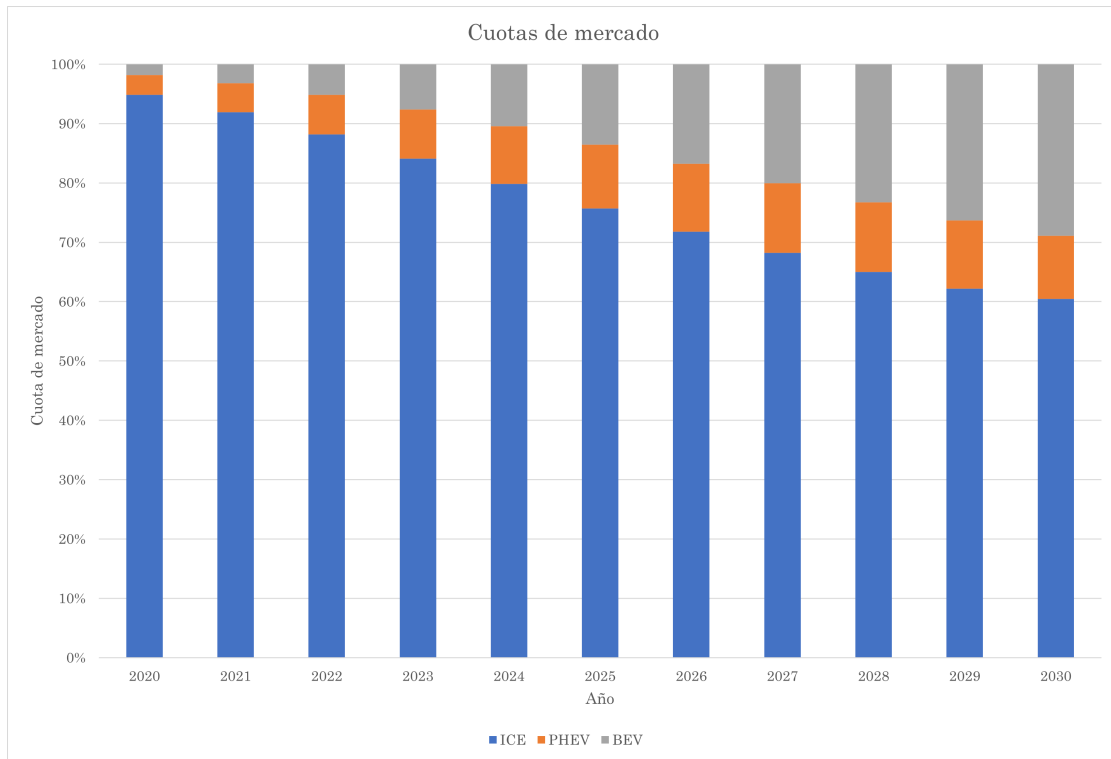


Figura A.16: Cuotas de mercado

A.3.3. Parque de vehículos

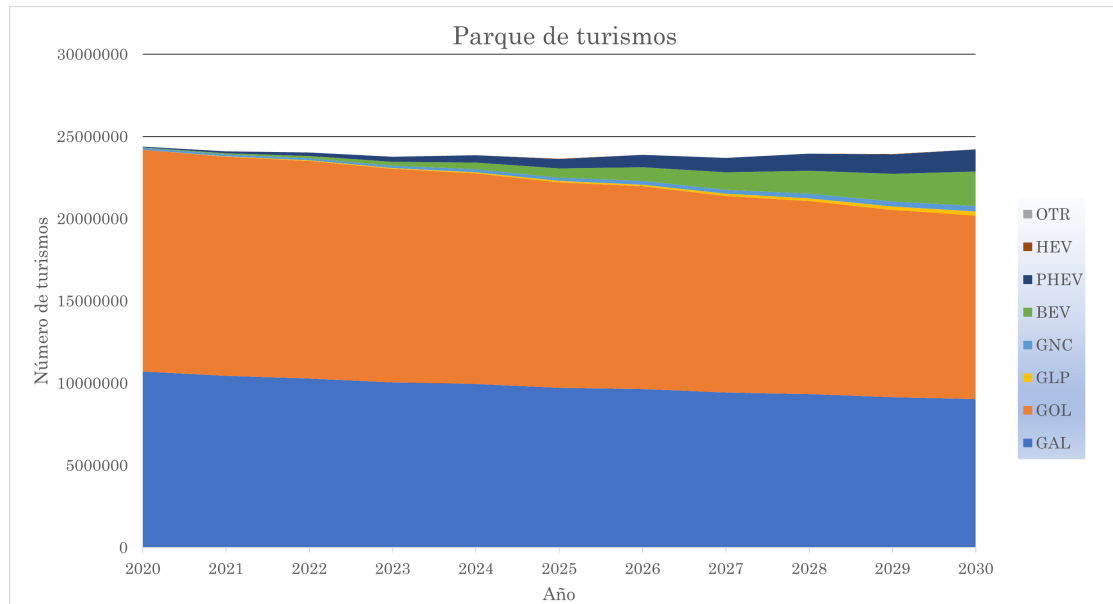


Figura A.17: Parque de turismos

A.3.4. Emisiones de CO₂

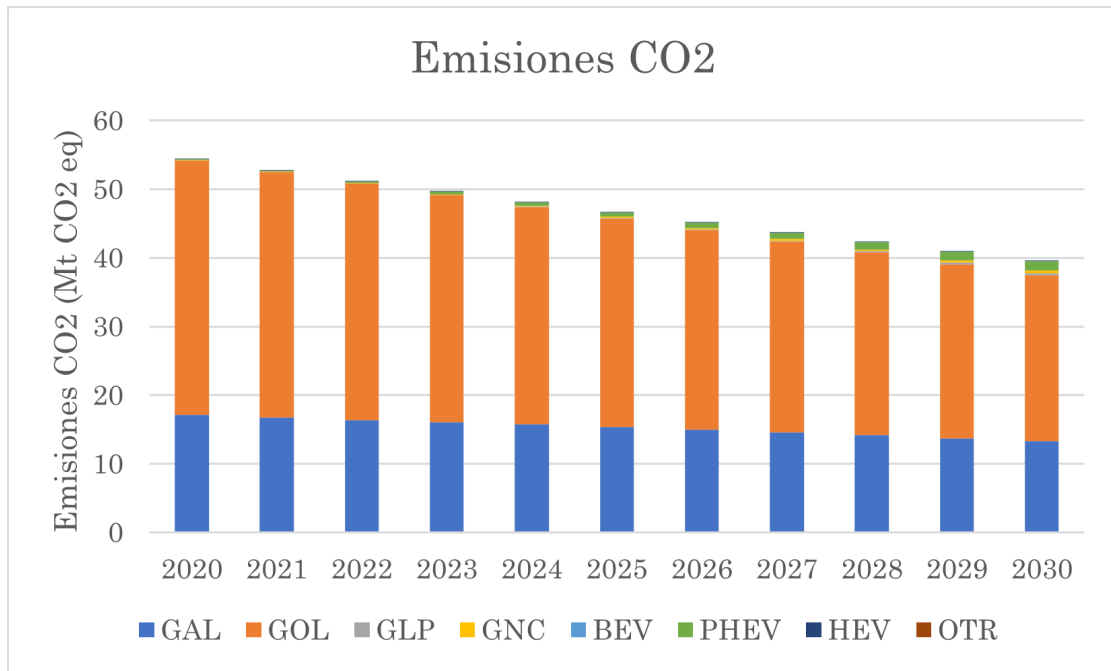


Figura A.18: Emisiones de CO₂

Anexo B

Explicación del modelo

En este Anexo, se va a realizar una explicación general del modelo elaborado en Excel y de las partes del archivo.

B.1. Partes del fichero

B.1.1. Pestañas generales

Esta primera sección del fichero contiene 3 pestañas generales que son comunes a todo el modelo y son las siguientes:

- **Equivalencias** Contiene equivalencias de unidades para distintas variables como distancia, volumen, consumo energético y moneda. Es una pestaña fundamental porque los datos del modelo se extraen de diferentes fuentes que utilizan unidades distintas, y mediante las equivalencias se unifican las unidades de las variables del modelo.
- **Referencias** Esta pestaña incluye una breve lista de las fuentes más relevantes para el modelo y a las que más se ha recurrido para elaborar todos los parámetros de entrada.
- **Inputs** Por último, la pestaña Inputs mostrada en la Figura B.1 recoge un resumen de todos los parámetros de entrada que se mencionan en el capítulo de Metodología al que están referenciadas todas las proyecciones del modelo. Es una de las pestañas más útiles del modelo porque permite modificar los parámetros de entrada con gran facilidad para elaborar escenarios y automáticamente se generan los nuevos resultados.

			2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030		
COSTES TOTALES	COSTE CAPITAL	Coste Capital	Aumento ayudas (sobre 1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			Gasolina (sobre 1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	COSTES TANGIBLES	Evolución costes combustible	Electricidad (sobre 1)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
				Recomido(miles) Años de vida del vehículo	4000	20									
		Vehículo pequeño	Conductor casual	4000	20										
			Conductor medio	8000	15										
			Conductor frecuente	12000	12										
		Vehículo mediano	Conductor casual	4000	20										
			Conductor medio	8000	15										
			Conductor frecuente	12000	12										
		Vehículo grande	Conductor casual	4000	20										
			Conductor medio	8000	15										
			Conductor frecuente	12000	12										
		Calibración de coste	Factor de descuento	20%											
		COSTES INTANGIBLES		Número modelos EV nuevos (absoluto)	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Model Availability	Factor aumento VE		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Factor aumento estaciones (Anxiety)	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Range Anxiety	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
MARKET SHARE	Varianza Market Share	-25													
	Compras vehículos anuales	1000000													
	Reparto Compras por grupo de consumidor	7,14%													
		7,14%													
		7,14%													
	5,10%														
	5,10%														
	5,10%														
	4,70%														
	4,70%														
4,70%															
8,40%															
8,40%															
8,40%															
5,10%															
5,10%															
5,10%															

Figura B.1: Pestaña Inputs del fichero Excel

B.1.2. Pestañas de cálculo de costes

En esta sección del fichero se realizan los cálculos y las proyecciones entre 2020 y 2030 de los costes de los distintos tipos de vehículo. Los Costes Totales se dividen en Costes Tangibles y Costes Intangibles y el fichero sigue la misma estructura:

- Coste Capital sin Costes de Fiscalidad El Coste Capital tiene en cuenta todos los costes de fabricación del vehículo, de sus componentes y su variación entre 2020 y 2030 según el tamaño y tipo de vehículo, basándose en los parámetros de entrada de la pestaña Input.
- Coste Capital Esta pestaña es exactamente igual a la anterior pero incluye los Costes de Fiscalidad asociados al momento de la compra: el impuesto de matriculación y las ayudas a la compra. La Figura B.2 muestra la pestaña Coste Capital del fichero.

B.1. Partes del fichero

MEDIANOS		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Costes tangibles (ICE)	Tren motriz	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	
	Batería												
	Otros	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	
	Ensamblaje	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	
	Costes indirectos	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	
	TOTAL ICE	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	
	Impuesto matriculación	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975	
	TOTAL ICE con impuestos	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	
Costes tangibles (PHEV)	Tren motriz	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	
	(\$/kWh)	160	148	136,9	126,6325	117,13506	108,34993	100,22369	92,706911	85,753893	79,322351	72	
	KWh	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	Batería	3344	3093,2	2861,21	2646,6193	2448,1228	2264,5136	2094,6751	1937,5744	1792,2564	1657,8371	1504,8	
	Otros componentes energéticos	3449	3397,265	3346,306	3296,1114	3246,6698	3197,9697	3150,0002	3102,7502	3056,2089	3010,3658	2907	
	Total paquete de batería	6793	6490,465	6207,516	5942,7307	5694,7926	5462,4833	5244,6752	5040,3246	4848,4653	4668,2029	4411,8	
	Otros	23100	21751,8	20555,417	19492,704	18547,688	17706,316	16956,218	16286,509	15687,61	15151,09	15100	
	Ensamblaje	12600	12511,8	12424,217	12337,248	12250,887	12165,131	12079,975	11995,415	11911,447	11828,067	11900	
	Costes indirectos	10500	9240	8131,2	7155,456	6296,8013	5541,1851	4876,2429	4291,0938	3776,1625	3323,023	3200	
	TOTAL PHEV	36893	35242,265	33762,933	32435,435	31242,481	30168,799	29200,893	28326,834	27536,075	26819,293	26511,8	
Instalación punto recarga	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500		
Ayudas	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500		
TOTAL PHEV con impuestos y ayudas	33893	32242,265	30762,933	29435,435	28242,481	27168,799	26200,893	25326,834	24536,075	23819,293	23511,8		
Costes tangibles (BEV)	Tren motriz												
	(\$/kWh)	160	148	136,9	126,6325	117,13506	108,34993	100,22369	92,706911	85,753893	79,322351	72	
	KWh	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	
	Batería	12144	11233,2	10390,71	9611,4068	8890,5512	8223,7599	7606,9779	7036,4546	6508,7205	6020,5664	5464,8	
	Otros componentes energéticos	3449	3397,265	3346,306	3296,1114	3246,6698	3197,9697	3150,0002	3102,7502	3056,2089	3010,3658	2907	
	Total paquete de batería	15593	14630,465	13737,016	12907,518	12137,221	11421,73	10756,978	10139,205	9564,9294	9030,9322	8371,8	
	Otros	23100	21751,8	20555,417	19492,704	18547,688	17706,316	16956,218	16286,509	15687,61	15151,09	15100	
	Ensamblaje	12600	12511,8	12424,217	12337,248	12250,887	12165,131	12079,975	11995,415	11911,447	11828,067	11900	
	Costes indirectos	10500	9240	8131,2	7155,456	6296,8013	5541,1851	4876,2429	4291,0938	3776,1625	3323,023	3200	
	TOTAL BEV	38693	36382,265	34292,433	32400,222	30684,909	29128,046	27713,196	26425,714	25252,539	24182,022	23471,8	
Instalación punto recarga	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500		
Ayudas	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500		
TOTAL BEV con impuestos y ayudas	35693	33382,265	31292,433	29400,222	27684,909	26128,046	24713,196	23425,714	22252,539	21182,022	20471,8		
Variaciones de coste	Costes indirectos	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	
	Batería	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	
	Otros componentes energéticos	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	
	Ensamblaje	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	

Figura B.2: Pestaña Coste Capital del fichero Excel

- Coste Operación y Mantenimiento En esta pestaña se calculan los costes anuales de uso y mantenimiento según el tamaño del vehículo, el tipo de tecnología y el perfil de conductor. Se utilizan unos factores de consumo y de mantenimiento que dependen del recorrido del vehículo como muestra la Figura B.3.

MEDIANOS		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Costes tangibles (ICE)	Recorrido (miles)	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
	Recorrido (km)	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4
	Uso combustible (mpg)	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035	0,6941035
	Uso combustible (kWh/km)	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545
	Coste combustible (\$/kWh)	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727
	Impuesto circulación	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154
	Coste aparcamiento	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
	Coste uso	520	520	520	520	520	520	520	520	520	520	520
	Mantenimiento (\$/milla)	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232
	TOTAL ICE	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615	574,3384615
Costes tangibles (PHEV)	Recorrido (miles)	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
	Recorrido (km)	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4
	Uso combustible (mpg)	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339	0,55133339
	Uso combustible (kWh/km)	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545	0,16004545
	Coste combustible (\$/kWh)	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727	117,272727
	Impuesto circulación	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154
	Coste aparcamiento	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	Coste uso	520	520	520	520	520	520	520	520	520	520	520
	Mantenimiento (\$/milla)	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232
	TOTAL PHEV	621,66	621,66	621,66	621,66	621,66	621,66	621,66	621,66	621,66	621,66	621,66
Costes tangibles (BEV)	Recorrido (miles)	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
	Recorrido (km)	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4	12874,4
	Eficiencia eléctrica (kWh/milla)	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586	0,21748586
	Coste electricidad (\$/kWh)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	Impuesto circulación	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154	54,33846154
	Coste aparcamiento	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	Coste uso	520	520	520	520	520	520	520	520	520	520	520
	Mantenimiento (\$/milla)	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232
	Coste Mantenimiento	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232
	TOTAL BEV	568,07	568,07	568,07	568,07	568,07	568,07	568,07	568,07	568,07	568,07	568,07

Figura B.3: Pestaña Coste Operación y Mantenimiento del fichero Excel

- Calibración de Costes Para la calibración de costes, se aplica una tasa de reducción de costes anual como muestra la Figura B.4. Cabe resaltar que se utiliza una pestaña de Calibración de Costes para cada uno de los perfiles de conductor (casual, medio y frecuente) porque los años de vida útil son distintos según esta variable.

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	
ICE	Años vida útil	15															
	Tasa descuento	0.8333333	0.6944444	0.5787037	0.4822551	0.4018776	0.334898	0.2790816	0.232568	0.1938067	0.1615056	0.134588	0.1121567	0.0934639	0.0778866		
	Coste año 0	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	0 Coste O&M año 2020	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	1 Coste O&M año 2021	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	2 Coste O&M año 2022	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	3 Coste O&M año 2023	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	4 Coste O&M año 2024	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	5 Coste O&M año 2025	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	6 Coste O&M año 2026	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
	7 Coste O&M año 2027	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46
8 Coste O&M año 2028	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46	
9 Coste O&M año 2029	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46	
10 Coste O&M año 2030	2677.7079	2231.4233	1859.5194	1549.5995	1291.3329	1076.1108	896.75897	747.29914	622.74928	518.95774	432.46478	360.38732	300.32276	250.26897	208.55747	15023.46	

Figura B.4: Pestaña Calibración de Coste del fichero Excel

- Costes Tangibles Para calcular los costes Tangibles totales, se utiliza esta pestaña que suma todas las anteriores (Coste Capital, Coste Operación y Mantenimiento con Calibración de Costes) como muestra la Figura B.5.

		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
MEDIANOS	Costes	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340	26340
	Costes tangibles	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
	(ICE) Coste O&M Vida útil	15023,46018	15023,4602	15023,4602	15023,4602	15023,4602	15023,4602	15023,4602	15023,4602	15023,4602	15023,4602	15023,4602
	TOTAL ICE	42213,46018	42213,4602	42213,4602	42213,4602	42213,4602	42213,4602	42213,4602	42213,4602	42213,4602	42213,4602	42213,4602
Conductor medio	Costes	33893	32242,265	30762,9334	29435,4346	28242,481	27168,7994	26200,8932	25326,8336	24536,0751	23819,2931	23511,8
	Costes tangibles	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
	(PHEV) Coste O&M Vida útil	5838,06	5812,63	5787,71	5763,29	5739,35	5715,90	5692,91	5670,39	5648,31	5626,68	5605,47
	TOTAL EV	40631,05817	38954,8941	37450,6421	36098,7211	34881,8339	33784,6973	32793,8053	31897,2195	31084,3854	30345,9693	30017,2288
Conductor medio	Costes	35693	33382,265	31292,4334	29400,2221	27684,9094	26128,0457	24713,196	23425,7137	22252,5392	21182,0224	20471,8
	Costes tangibles	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
	(BEV) Coste O&M Vida útil	3686,42	3644,95	3604,31	3564,48	3525,44	3487,19	3449,70	3412,96	3376,96	3341,67	3307,09
	TOTAL EV	40279,42316	37927,2148	35796,7394	33864,6971	32110,3501	30515,2327	29062,8944	27738,6733	26529,4948	25423,694	24678,8933

Figura B.5: Pestaña Costes Tangibles del fichero Excel

- Costes Intangibles Para completar los Costes, se calculan los Costes Intangibles según se ha explicado previamente, para los diferentes perfiles de conductor.

B.1.3. Pestañas de resultados

Una vez se han calculado todos los costes de los vehículos, se procede a elaborar los resultados del modelo, que se detallan a continuación:

- Costes Totales en la Vida Útil de Vehículos Con los costes Tangibles e Intangibles calculados anteriormente, se procede a sumarlos según el tamaño del vehículo, su tipo de tecnología y el perfil del conductor, como muestra la Figura B.6.

MEDIANOS				2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ICE	Conductor casual	Coste Total		32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86	32.482,86
	Conductor medio	Coste Total		42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46	42.213,46
	Conductor frecuente	Coste Total		40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88	40.290,88
MEDIANOS				2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PHEV	Conductor casual	Coste Total		40.685,54	39.021,56	37.529,26	36.189,04	34.983,62	33.897,73	32.917,85	32.032,06	31.229,80	30.501,76	30.183,22
	Conductor medio	Coste Total		45.623,10	43.946,94	42.442,69	41.090,77	39.873,88	38.776,74	37.785,85	36.889,27	36.076,43	35.338,02	35.009,32
	Conductor frecuente	Coste Total		60.282,71	58.595,76	57.080,94	55.718,66	54.491,62	53.384,53	52.383,89	51.477,75	50.655,55	49.907,95	49.570,27
MEDIANOS				2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BEV	Conductor casual	Coste Total		43.329,48	40.997,15	38.886,15	36.973,20	35.237,56	33.660,78	32.226,40	30.919,79	29.727,87	28.638,97	27.910,75
	Conductor medio	Coste Total		46.461,47	44.109,26	41.978,79	40.046,74	38.292,40	36.697,28	35.244,94	33.920,72	32.711,54	31.605,74	30.860,94
	Conductor frecuente	Coste Total		62.326,29	59.956,49	57.808,77	55.859,83	54.088,93	52.477,58	51.009,34	49.669,54	48.445,08	47.324,32	46.564,85

Figura B.6: Pestaña Resultados Costes del fichero Excel

- Cuotas de Mercado Con los Costes Totales calculados y los 9 grupos de consumidores definidos, y utilizando la distribución de compras anuales entre grupos de consumidores se calculan las cuotas de mercado como se observa en la Figura B.7.

B.1. Partes del fichero

				2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
1	CONDUCTOR CASUAL	PEQUEÑOS	ICE	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	
			PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
			BEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,05
			TOTAL	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
2	CONDUCTOR CASUAL	MEDIANOS	ICE	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	
			PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
			BEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	
			TOTAL	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
3	CONDUCTOR CASUAL	GRANDES	ICE	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
			PHEV	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	
			BEV	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04		
			TOTAL	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
4	CONDUCTOR MEDIO	PEQUEÑOS	ICE	0,07	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			PHEV	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	
			BEV	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	
			TOTAL	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08		
5	CONDUCTOR MEDIO	MEDIANOS	ICE	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			PHEV	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	
			BEV	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	
			TOTAL	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		
6	CONDUCTOR MEDIO	GRANDES	ICE	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			PHEV	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
			BEV	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
			TOTAL	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		
7	CONDUCTOR FRECUENTE	PEQUEÑOS	ICE	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
			PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			BEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			TOTAL	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26		
8	CONDUCTOR FRECUENTE	MEDIANOS	ICE	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	
			PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			BEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			TOTAL	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19		
9	CONDUCTOR FRECUENTE	GRANDES	ICE	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,12	0,10	0,08	
			PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	
			BEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09	
			TOTAL	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18		
MARKET SHARE TOTAL (unitario)				1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		

Figura B.7: Pestaña Resultados Cuotas de Mercado del fichero Excel

Anexo C

Alineación con los ODS

Este Anexo recoge la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible del trabajo [ods].

El trabajo tiene una relación muy estrecha con los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados en septiembre de 2015 en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en el Acuerdo de París. Al tratarse de un modelo que incorpora Energía y Transporte, varios de los Objetivos aparecen de manera explícita como resultado de este trabajo.

ODS-03: “Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos y todas en todas las edades.” Este Objetivo está muy ligado con la movilidad y las distintas formas de transporte, ya que la transición hacia la movilidad eléctrica tiene como consecuencia directa la reducción de emisiones de contaminantes nocivos para la salud. ODS-07: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.” La reducción de emisiones por la electrificación del transporte tiene como resultado una energía más segura y sostenible y la innovación y reducción de costes de la misma satisfacen el objetivo de una energía más asequible y moderna. ODS-09: “Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.” La disponibilidad de recarga es un factor clave a la hora de decidir adquirir un vehículo eléctrico, por lo que infraestructuras como redes de distribución y puntos de recarga son fundamentales para la movilidad eléctrica. ODS-11: “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.” La introducción de vehículos eléctricos lleva consigo la necesidad de infraestructuras tanto para la recarga como para las redes de distribución, por lo que tiene un gran impacto en las ciudades. ODS-12: “Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.” Los objetivos de transición hacia una movilidad más sostenible marcan una hoja de ruta para fabricantes y administraciones públicas. Algunas de las medidas que se les requieren son un número mínimo de ventas de vehículos eléctricos para las compañías y un presupuesto fijo dirigido a ayudas y subvenciones que incentiven la compra de

vehículos eléctricos. ODS-13: “Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.” Este último objetivo se analizará mediante el estudio de los gases emitidos a la atmósfera como resultado de la flota de vehículos y el tipo de tecnología que utilicen estos.