



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO INDUSTRIAL

# **IMPACTO ECONÓMICO DE UNA ELEVADA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA**

Autor: Pilar Alfaro Cerezo  
Director: Jaime Román Úbeda

Madrid  
Julio 2018



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

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

El autor, Dña. Pilar Alfaro Cerezo

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: IMPACTO ECONÓMICO DE UNA ELEVADA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

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

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

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

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

### **4º. Derechos del autor.**

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

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

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

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

intereses a causa de la cesión.

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


**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

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

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

Madrid, a ..29..... de .....junio..... de ..2018..

**ACEPTA**

Fdo.....

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

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**IMPACTO ECONÓMICO DE UNA ELEVADA PENETRACIÓN DE  
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2017-2018 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pilar Alfaro Cerezo

Fecha: 11 / 7 / 2018



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Jaime Román Úbeda

Fecha: 13 / 7 / 2018





# IMPACTO ECONÓMICO DE UNA ELEVADA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA

Autor: Alfaro Cerezo, Pilar

Director: Román Úbeda, Jaime

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### Introducción

La implantación a gran escala del vehículo eléctrico en España se enfrenta a grandes retos que pueden ralentizar su desarrollo. El reto del sector de la automoción y de las autoridades, para lograr una elevada penetración del vehículo eléctrico en el parque móvil español, es proporcionar un vehículo eléctrico fiable, accesible y atractivo para el consumidor, a través del desarrollo tecnológico y regulatorio, de forma que se logre electrificar una parte significativa del sector del transporte. En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Máster pretende analizar la situación actual del vehículo eléctrico en España y la regulación aplicable más relevante; evaluar los costes que debe asumir el consumidor a la hora de adquirir un vehículo eléctrico e identificar qué palancas permitirían al regulador fomentar una elevada penetración de vehículos eléctricos en España; estudiar cómo afectaría a la balanza de pagos la sustitución de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos; definir qué fuentes de ingresos del Estado se perderían y se ganarían debido a la sustitución de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos; analizar modelos de negocio innovadores que cambian la movilidad tradicional por otra sostenible y finalmente, recomendar cambios en la regulación que faciliten la transición a una mayor penetración de vehículos eléctricos

### Metodología y resultados

En primer lugar, se ha llevado a cabo un análisis económico para determinar la variación del Total Cost of Ownership (TCO) que debe asumir un consumidor a la hora de adquirir un vehículo eléctrico, bajo distintos escenarios de evolución de precio de vehículo eléctrico y combustión interna, precios de combustible y electricidad y utilidad derivada de los incentivos y obstáculos no monetarios. El TCO de un vehículo durante  $n$  años se muestra en la Ecuación 1, donde  $P$  es el precio del vehículo en €,  $C$  es el coste del combustible en €/km,  $M$  es el coste de mantenimiento en €/km,  $D$  es la distancia anual recorrida,  $I$  es la utilidad derivada de los distintos incentivos no monetarios, en € y  $r$  es la tasa de descuento. Para realizar la comparación entre vehículo eléctrico y de combustión interna se han seleccionado cuatro parejas de vehículos de distinta gama con especificaciones similares en cuanto a tamaño, velocidad máxima, aceleración, potencia y autonomía: Renault Zoe y Renault Clio; Volkswagen Golf y Hyundai IONIQ; Audi A7 y Tesla S; Porsche Cayenne y Tesla X.

$$\text{Total Cost of Ownership} = P + \sum_{n=1}^N [(C_n + M_n) \cdot D_n + I_n] \frac{1}{(1+r)^n}$$

*Ecuación 1 – Total Cost of Ownership de comprar y utilizar un vehículo al cabo de  $n$  años.*

La Figura 1 muestra los resultados obtenidos en el Escenario base, en el que esencialmente se mantienen los distintos parámetros en sus valores actuales y no se considera el efecto de los incentivos u obstáculos no monetarios existentes. A raíz de analizar distintos escenarios, se han identificado principalmente dos barreras a la adopción a gran escala del vehículo eléctrico: una barrera económica, debida a que el

TCO del vehículo eléctrico es generalmente superior al del vehículo de combustión interna; y una barrera de entrada técnica, asociada a los obstáculos no monetarios que suponen la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga del vehículo eléctrico.

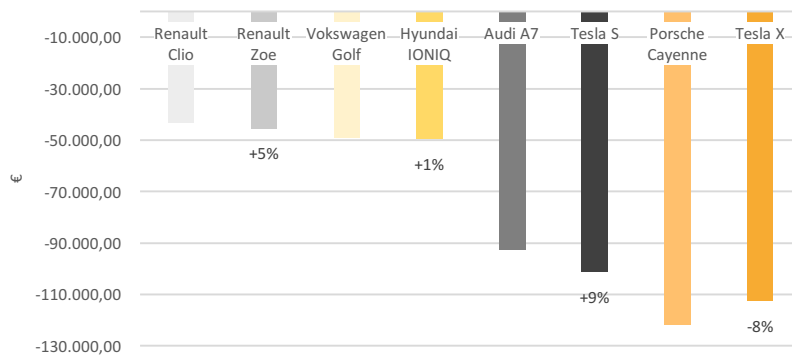


Figura 1 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y su homólogo de combustión interna.

Por otro lado, la Figura 2 muestra que el impacto de la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga aumenta con el número de kilómetros recorridos al día. Para un uso ocasional o en entorno urbano el impacto de las limitaciones de autonomía y el prolongado tiempo de recarga se podrían suplir con la utilización de sistemas de recarga rápida. Sin embargo, su uso regular tiene un elevado impacto en la vida útil de las baterías por lo que no podrían utilizarse para compensar el elevado impacto que estas limitaciones suponen para un conductor que realice un uso intensivo del vehículo.

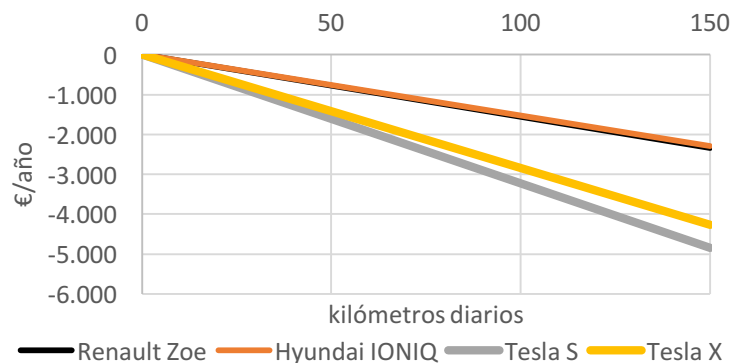


Figura 2 – Utilidad anual de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico, en función del vehículo y de los kilómetros diarios recorridos.

En segundo lugar, dada la elevada proporción de los combustibles y lubricantes en el total de las importaciones españolas - un 12,6% de las importaciones totales realizadas por España en 2017 - se ha analizado cómo se vería afectada la balanza comercial española en distintos escenarios de penetración del vehículo eléctrico en el parque móvil español. Para ello, se ha evaluado el saldo derivado de las importaciones de combustibles asociados a los vehículos de combustión interna y eléctricos, tal y como se muestra en la Ecuación 2, donde D es la distancia anual recorrida, P es el precio del combustible, C es el consumo de combustible o electricidad anual y  $\eta$  es el rendimiento o factor de conversión entre la cantidad de combustible y la electricidad producida



$$\begin{aligned}
\text{Saldo}_{\text{Comb}} (\text{€}) = & \\
= \sum_{n_{\text{ELEC}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{elec}} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right] & \left( 0,282 \cdot \eta_{\text{gas}} \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{kWh}} \right] \cdot P_{\text{gas}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] + 0,209 \cdot \eta_{\text{uranio}} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{kWh}} \right] P_{\text{uranio}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] + 0,175 \cdot \eta_{\text{carbón}} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{kWh}} \right] P_{\text{carbón}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] \right) + \\
& + \sum_{n_{\text{VCI,gasolina}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{gasolina}} \left[ \frac{\text{l}}{\text{km}} \right] \cdot \eta_{\text{gasolina}} \left[ \frac{\text{barril crudo}}{\text{l}} \right] \cdot P_{\text{crudo}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{barril}} \right] + \\
& + \sum_{n_{\text{VCI,diesel}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{diesel}} \left[ \frac{\text{l}}{\text{km}} \right] \cdot \eta_{\text{diesel}} \left[ \frac{\text{barril crudo}}{\text{l}} \right] P_{\text{crudo}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{barril}} \right] +
\end{aligned}$$

Ecuación 2 - Saldo derivado de las importaciones de combustibles asociadas a los vehículos de combustión interna y eléctricos.

La Figura 3 muestra la variación del valor de las importaciones de combustibles en distintos escenarios de penetración de vehículo eléctrico, considerando el nivel actual de cobertura de la demanda eléctrica a partir de energías renovables. En los distintos escenarios de penetración de renovables analizados en este estudio, las importaciones asociadas a los combustibles consumidos por el transporte por carretera descienden linealmente con la penetración de vehículos eléctricos, ya que estos consumen significativamente menos combustibles importados, y a un menor precio. Reducir las importaciones de crudo permitiría reducir la exposición de la economía española a las variaciones de precio del petróleo, el cual está sometido a tensiones geopolíticas y puede ser muy volátil.

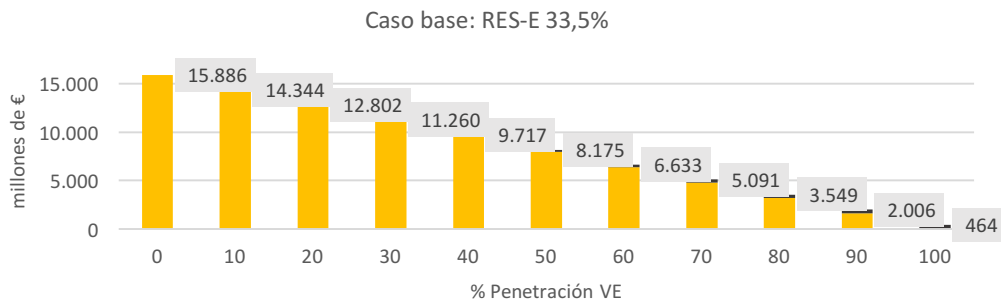


Figura 3 – Variación del valor de las importaciones en distintos escenarios de penetración de vehículo eléctrico, considerando un 33,5% de renovables en el mix de generación.

En tercer lugar, se ha cuantificado la variación que se produciría en los ingresos públicos debido a una elevada penetración de vehículos eléctricos. La Figura 4 muestra los ingresos obtenidos por el Estado a lo largo de la vida útil de un vehículo eléctrico y de su homólogo de combustión interna. En el caso de los vehículos eléctricos de gama media y baja, el aumento de la partida asociada al IVA compensa, en gran medida, la reducción en la partida asociada a los Impuestos Especiales. Sin embargo, en el caso de vehículos de gama alta y deportiva, el elevado consumo de combustible y las emisiones asociadas hacen que el Impuesto Especial sobre Hidrocarburos, el Impuesto Especial sobre Vehículos de Tracción Mecánica y el Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte sean significativamente más elevados que en el resto de casos. Por ello, su homólogo eléctrico tendría que hacer frente a lo largo de su vida útil a una carga fiscal mucho más reducida.

En cuarto lugar, el presente estudio ha analizado distintos modelos de negocio innovadores que permitirían impulsar la movilidad eléctrica. Estos se centran en:

- Reducir el Total Cost of Ownership del vehículo eléctrico, aumentando el número de usuarios del vehículo (Car2Go) o maximizando la eficiencia económica del mismo mediante la optimización del proceso de recarga (p.e. EV-Box, EnerNOC)

- Reducir la utilidad asociada a la limitada autonomía o el elevado tiempo de recarga mediante soluciones orientadas al cliente, como poner a disposición del cliente un vehículo de combustión interna para trayectos que superen la autonomía del vehículo eléctrico (p.e. Renault).

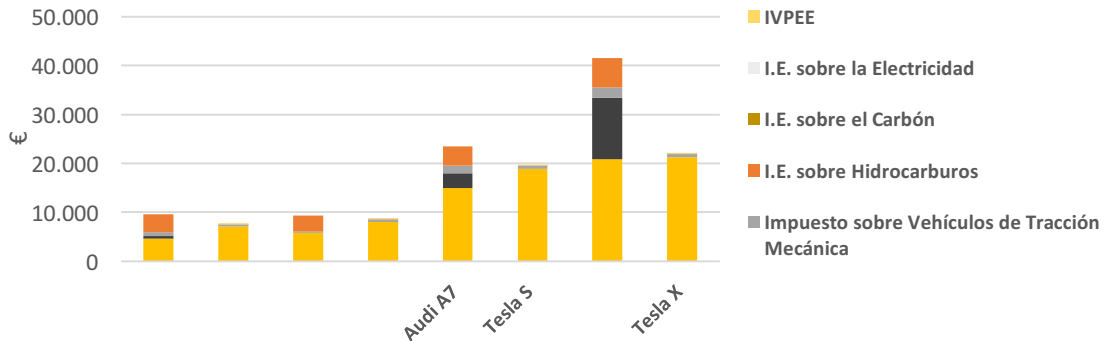


Figura 4 – Ingresos obtenidos por el Estado a lo largo de la vida útil de un vehículo. Comparación entre vehículo eléctrico y de combustión interna.

## Conclusiones

En los últimos años, el vehículo eléctrico se ha presentado como una alternativa a los vehículos de combustión interna que permitiría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para combatir el cambio climático, mejorar la calidad del aire en las ciudades y reducir la dependencia externa de combustibles fósiles y no sostenibles. Sin embargo, aunque las ventajas asociadas a una elevada penetración de vehículos eléctricos parecen obvias, el nivel de penetración del vehículo eléctrico en España es reducido, y se encuentra por debajo de la media de la Unión Europea. En España, las principales barreras a la adopción a gran escala del vehículo eléctrico, identificadas en este estudio son dos: una barrera económica, debida a que el TCO del vehículo eléctrico es generalmente superior al del vehículo de combustión interna; y una barrera técnica, asociada a los obstáculos no monetarios que suponen la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga del vehículo eléctrico.

En primer lugar, el TCO del vehículo eléctrico en las gamas de vehículos baja, media y alta es superior al TCO de sus homólogos de combustión interna: el ahorro derivado de un menor coste de recarga y mantenimiento del vehículo eléctrico no es suficiente para compensar la diferencia de precio inicial entre los dos vehículos. En el presente estudio, se han analizado distintas medidas que el regulador podría introducir o mejorar con el objetivo de reducir esta diferencia a corto plazo: subvencionar parte del coste inicial del vehículo eléctrico e introducir beneficios fiscales para la compra de vehículos eléctricos. Las subvenciones directas del estado español a la compra de vehículos eléctricos no son de aplicación para vehículos cuyo precio antes de impuestos supere los 32.000 € y la partida presupuestaria destinada a dichas ayudas es insuficiente para lograr una sustitución apreciable de vehículos eléctricos por vehículos de combustión interna. Se propone instaurar un plan estructural de incentivos directos a la compra de vehículos eléctricos, con una mayor partida presupuestaria y de forma transversal para todas las gamas de vehículos eléctricos. Además, bajo la fiscalidad actual, no se observan incentivos fiscales significativos para la compra de un vehículo eléctrico de baja o media gama, aunque en el caso de los vehículos de alta gama o deportiva, el elevado consumo de combustible y las emisiones asociadas de un vehículo de combustión interna, hacen que su homólogo eléctrico tenga que hacer frente a una carga fiscal más reducida. En este contexto, se propone aumentar los Impuestos Especiales sobre Hidrocarburos, lo que

permitiría reducir la diferencia en términos de TCO entre los vehículos eléctricos y sus homólogos de combustión interna. En concreto, situar dichos impuestos en el entorno de Italia y Países Bajos – los más elevados de la UE – prácticamente eliminaría esa diferencia. Alternativamente, se propone la imposición de un IVA reducido para vehículos eléctricos, de modo que la fiscalidad asociada a la vida útil de un vehículo eléctrico sea efectivamente inferior al de su homólogo de combustión interna. En caso de ser así, una elevada penetración de vehículos eléctricos se traduciría en una reducción de los ingresos percibidos por el Estado (el IVA y los Impuestos Especiales suponen la primera y cuarta fuente de ingresos del Estado, respectivamente). Es fundamental que la regulación sea prudente y sostenible económicamente, para evitar un gasto público excesivo. Por ello, se debe plantear una vía de compensación de dichas partidas que sea coherente con los objetivos medioambientales. Por ejemplo, la carga fiscal del vehículo eléctrico podría ir aumentándose progresivamente, a medida que disminuye su coste de fabricación.

En segundo lugar, la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga suponen una gran barrera para la adopción a gran escala del vehículo eléctrico en España, especialmente en el caso de un conductor que realice un uso intensivo del vehículo. Aunque a largo plazo se puede esperar un aumento de la autonomía del vehículo eléctrico y una reducción del tiempo de recarga, en el corto plazo el regulador podría introducir o mejorar ciertas medidas para mitigar su impacto. En España, hasta 2016 no se introdujeron ayudas a la instalación de puntos de recarga. Atenuar el impacto de estos obstáculos no monetarios en la aceptación del vehículo eléctrico requiere de incentivos efectivos a la instalación de puntos de recarga, y en concreto, la planificación de una infraestructura de recarga rápida a nivel nacional. Del mismo modo, resulta fundamental que la regulación sobre acceso y conexión a la red de distribución no suponga una barrera de entrada regulatoria a la instalación de puntos de recarga públicos y privados. Además, los incentivos no monetarios (preferencia de aparcamiento, acceso preferencial...) únicamente existen a nivel municipal y son escasos y heterogéneos. Se hace necesaria la homogeneización regulatoria a nivel estatal de este tipo de ayudas, estableciendo una serie de incentivos mínimos a implementar por los distintos municipios. Análisis futuros podrían cuantificar la capacidad de los incentivos no monetarios de compensar la utilidad negativa derivada de la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga, especialmente en las grandes ciudades.

En tercer lugar, el presente estudio ha concluido que los principales modelos de negocio que se están desarrollando con el objetivo de impulsar la movilidad eléctrica se centran en reducir el TCO del vehículo eléctrico o en reducir la utilidad asociada a la reducida autonomía o el elevado tiempo de recarga mediante soluciones orientadas al cliente. Es crucial que el sector de la automoción, uno de los principales sectores económicos y empleadores de España, abandere la transición hacia la movilidad eléctrica. El desarrollo de modelos de negocio innovadores como los mencionados podría permitir mitigar la incertidumbre a la que se enfrentan las empresas del sector de la automoción debido a la transformación progresiva del sector del transporte, así como reducir la barrera de entrada que suponen la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga. Resulta necesario que el regulador genere condiciones que fomenten la innovación, tanto tecnológica como de negocio.



# ECONOMIC IMPACT OF HIGH ELECTRIC VEHICLE MARKET-SHARE IN SPAIN

Author: Alfaro Cerezo, Pilar

Director: Román Úbeda, Jaime

Partner: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## ABSTRACT

### Introduction

High-scale deployment of electric vehicles in Spain faces big challenges that may delay their adoption. Today, the main challenge faced by the automotive sector and regulatory authorities in order to achieve a high market-share of electric vehicles in Spain is to provide a reliable, accessible and attractive for consumers electric vehicle, through technological and regulatory developments. In this context, this Master Thesis aims at understanding the current situation of electric vehicles in Spain and the regulation behind it; analyze the costs that a consumer has to face over the useful life of an electric vehicle, in order to identify which levers can be used by the regulator in order to increase electric vehicle market-share; study how trade balance would be affected by an increase in electric-vehicle market share in Spain; determine which public income sources will increase or decrease due to a higher market share of electric vehicles in Spain; analyze existing innovative business models and propose regulatory changes that will facilitate the transition to an electric mobility.

### Methodology and results

First, an economic analysis was carried out, with the objective of determining the difference in Total Cost of Ownership (TCO) between an electric vehicle and an internal-combustion vehicle, under different scenarios of electric vehicle and internal combustion vehicle prices, fuel and electricity prices and utility derived from nonmonetary incentives and obstacles. TCO calculation is shown in Equation 1, where P is the vehicle's purchase price in €, C is the fuel/electricity cost in €/km, M is the operation and maintenance cost, in €/km, D is the total annual distance travelled in km, I is the utility derived from nonmonetary incentives and obstacles in € and r is the discount rate. Four pairs of vehicles of different ends were selected, considering their similarities in size, maximum speed, acceleration, power and range: Renault Zoe and Renault Clio; Volkswagen Golf and Hyundai IONIQ; Audi A7 and Tesla S; Porsche Cayenne and Tesla X.

$$Total\ Cost\ of\ Ownership = P + \sum_{n=1}^N [(C_n + M_n) \cdot D_n + I_n] \frac{1}{(1+r)^n}$$

*Equation 1 – Total Cost of Ownership of a vehicle in n years*

Figure 1 shows the obtained results in the Business As Usual scenario, where the different parameters were kept constant in their present values and the effect of utility derived from nonmonetary incentives and obstacles was not considered. Two main barriers to high-scale deployment of electric vehicles in Spain were identified after analyzing several scenarios: an economic one, due to the fact that an electric vehicle TCO tends to be higher than an internal-combustion vehicle TCO; and a technical one, associated to nonmonetary obstacles such as the reduced driving range and the longer refueling/recharging time of electric vehicles.

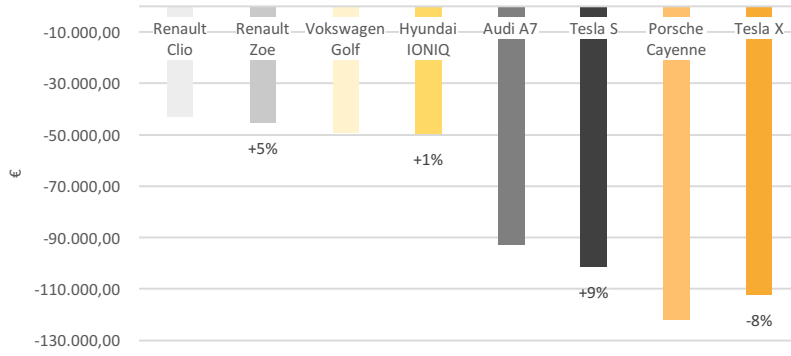


Figure 1 – TCO comparison between electric and internal-combustion vehicles.

On the other hand, Figure 2 shows that impact on TCO of reduced driving range and longer refueling/recharging time of electric vehicles increases with daily distance travelled. When vehicle's use is occasional and daily distance travelled is small, the impact of reduced driving range and the longer refueling/recharging time on TCO could be offset by the use of fast-recharge systems. However, their regular use can affect the useful life of batteries, so they could not be used to compensate the higher impact of these limitations when daily distances travelled are much higher.

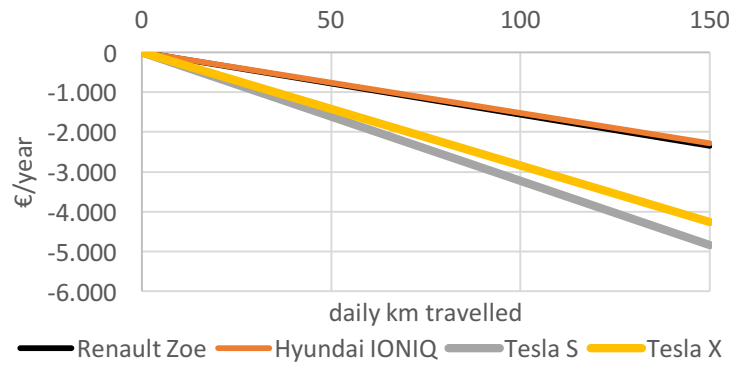


Figure 2 –Utility derived from nonmonetary incentives and obstacles for different vehicles and annual distance travelled

Second, given that fuels and lubricants constitute a high share of total Spanish imports – 12,6% in 2017 – how would different shares of electric vehicles affect the Spanish trade balance was analyzed. To do so, fuels' imports and exports balance for electric and internal-combustion vehicles was computed, as shown in Equation 2, where D is the annual distance travelled, P is fuel's price, C is the annual fuel or electricity consumption and  $\eta$  is a conversion factor between the fuel consumed and the electricity produced.

$$\begin{aligned}
 \text{Balance}_{\text{Fuel}} (\text{€}) &= \\
 &= \sum_{n_{\text{ELEC}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{year}} \right] C_{\text{elec}} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right] \left( 0,282 \cdot \eta_{\text{gas}} \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{kWh}} \right] \cdot P_{\text{gas}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] + 0,209 \cdot \eta_{\text{uranio}} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{kWh}} \right] P_{\text{uranio}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] + 0,175 \cdot \eta_{\text{coal}} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{kWh}} \right] P_{\text{coal}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] \right) + \\
 &\quad + \sum_{n_{\text{VICI, gasolina}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{gasolina}} \left[ \frac{\text{l}}{\text{km}} \right] \cdot \eta_{\text{gasolina}} \left[ \frac{\text{barril crudo}}{\text{l}} \right] \cdot P_{\text{crudo}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{barril}} \right] + \\
 &\quad + \sum_{n_{\text{VICI, diesel}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{diesel}} \left[ \frac{\text{l}}{\text{km}} \right] \cdot \eta_{\text{diesel}} \left[ \frac{\text{barril crudo}}{\text{l}} \right] P_{\text{crudo}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{barril}} \right] +
 \end{aligned}$$

Equation 2 –Fuel imports and exports balance related to electric and internal-combustion vehicles.

Figure 3 shows the variation of imports in different scenarios of electric vehicle market-share, considering today's renewable share in generation mix. In every scenario of renewable share in the generation mix, imports would decrease linearly with electric vehicle market share, due to their lower consumption of imported fuels. Reducing crude oil imports could help reduce Spain's exposure to oil's price fluctuations, which is affected by geopolitical issues and can be very volatile.

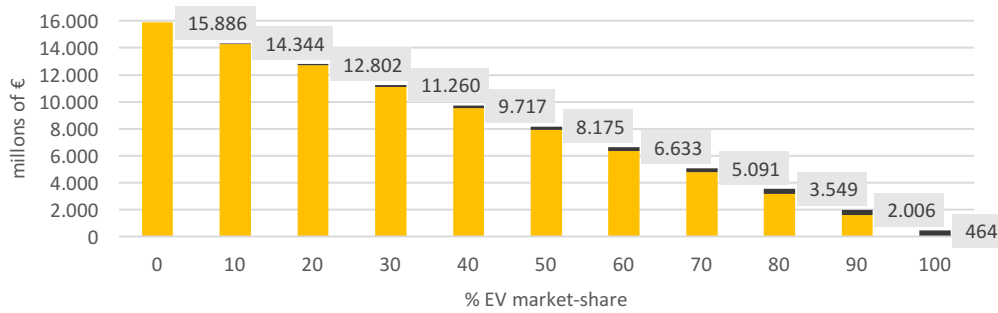


Figure 3 – Variation of imports in different scenarios of electric vehicle market-share, considering today's renewable share in generation mix (33,3%).

Third, public income sources variation due to a higher market share of electric vehicles in Spain was analyzed. Figure 4 shows State revenues over the useful life of an electric vehicle and an internal-combustion vehicle. In the case of low and medium-end vehicles, the increase in VAT proceeds offsets the reduction in Special Taxes proceeds. However, when it comes to high-end vehicles, Special Taxes proceeds are significantly higher due to higher fuel consumption and emissions. Therefore, the tax burden of a high-end electric vehicle is substantially lower than high-end internal-combustion vehicles'.

Lastly, several innovative business models promoting the transition to electric mobility were analyzed. Two main focus were identified:

- To reduce electric vehicle's Total Cost of Ownership by increasing the number of users (Car2Go) or maximizing the economic efficiency by optimizing the recharge process (EV-Box, EnerNOC)
- To reduce the utility of limited driving range and high recharging time through customer-oriented solutions, such as providing an internal-combustion vehicle for traveled distances exceeding electric vehicle's driving range (Renault).

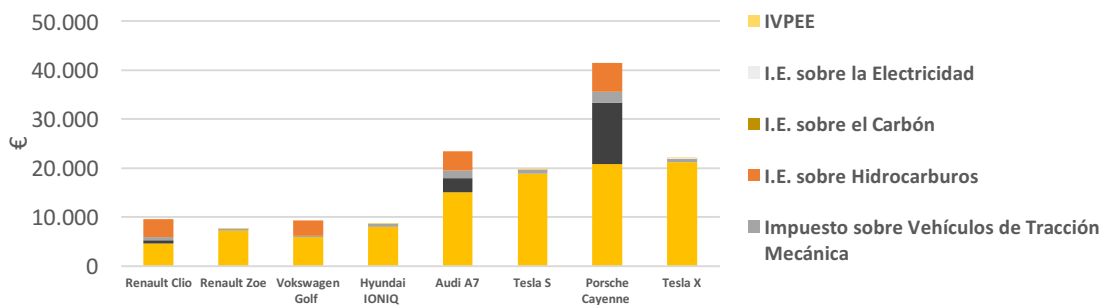


Figure 4 – State income over the useful life of a vehicle. Comparison between electric and internal-combustion vehicles.

## Conclusions

In the past years, electric vehicles have been proved to be an alternative to internal-combustion vehicles that would allow to reduce GHG emissions in order to fight climate change, improve air quality in city centers and reduce external energy dependence on fossil fuels. However, even though electric vehicle's advantages seem obvious, EV's market share in Spain is small and remains under the European Union's average. The main barriers to large-scale deployment of electric vehicles in Spain identified in this analysis are two: an economic barrier, due to the fact that electric vehicle's TCO is generally higher than internal-combustions'; and a technical barrier, associated to nonmonetary obstacles such as reduced driving range and longer recharging times.

Firstly, low and medium-end electric vehicle's TCO tends to be higher than those of internal-combustion: the savings associated to a lower recharging and maintenance costs are not enough to offset the initial purchase price difference. Measures that could be taken to overcome this difference in the short-term have been identified: the regulator could subsidize part of the required initial investment or introduce fiscal benefits for electric vehicles. Direct subsidies to electric vehicle purchase in Spain do not apply for cars whose price before taxes exceeds 32.000 €, and the total budget aimed at these is not enough to achieve a noticeable substitution of internal-combustion vehicles by electric vehicles. It is proposed to introduce a framework plan of direct subsidies to electric vehicle purchase in Spain, with a higher allocated budget and including all types of vehicles. Moreover, under today's fiscal policies, real fiscal benefits do not exist for medium and low-end electric vehicles. However, due to high fuel consumption and emissions of high-end internal-combustion vehicles, high-end electric vehicles do face a lower tax burden. In this context, it is proposed to increase Special Taxes on Hydrocarbons, which would reduce TCO difference between electric and internal combustion vehicles. Actually, taxes on hydrocarbons around Italian or Dutch levels – the highest in the European Union – would eliminate that difference. Alternatively, it is proposed to reduce VAT on electric vehicles, in order to achieve real fiscal benefits for electric vehicles, from low to high-end cars. In this case, State revenue in terms of VAT would be reduced. It is crucial that regulation is cautious and sustainable, in order to avoid excessive public expenses. Income lost by the State should be somehow compensated. For example, tax burden on electric vehicles could progressively increase, as their production cost is reduced.

Secondly, reduced driving range and long recharging times are an important barrier to large-scale deployment of electric vehicles in Spain. The impact of these nonmonetary obstacles increases with daily distance travelled. When vehicle's use is occasional and daily distance travelled is small, the impact of reduced driving range and longer refueling/recharging times on TCO could be offset by the use of fast-recharge systems. However, their regular use can affect the useful life of batteries, so they could not be used to compensate the higher impact of these limitations when daily distances travelled are much higher. Even though, in the long-term, an increase in driving range and a reduction in recharge times can be expected, in the short-term, regulators should take measures to mitigate their effect on electric vehicle deployment. In Spain, until 2016, there were not any subsidies to recharging infrastructure. Mitigating the impact of nonmonetary obstacles requires incentives to recharging infrastructure deployment, and specially, fast-charging infrastructure planning nation-wide. Also, distribution grid access and connection must not be a regulatory barrier to public and private recharging point installations. Moreover, nonmonetary incentives such as preferential access are scarce, heterogeneous and only exist on a municipal level. Regulatory homogeneity is required,



so that at least minimum requirements on these incentives are met in every council. Future analysis could further explore the ability of nonmonetary incentives to offset the impact of reduced driving range and long recharging times, especially in large cities.

Finally, several innovative business models promoting the transition to electric mobility were analyzed. Two main focus were identified: to reduce electric vehicle's Total Cost of Ownership and to reduce the utility of limited driving range and high recharging time through customer-oriented solutions. It is of highly importance that the automotive industry, one of the main economic and employment sectors in Spain, leads the transition to electric mobility. The development of innovative business models could reduce electric vehicle entry barriers and mitigate some of the uncertainty faced by automotive firms due to this transition. To make this possible, regulators must be able to generate a technological and business innovation climate.



## Índice

### Capítulo 1

Introducción.....	16
1. Estado de la cuestión .....	17
2. Motivación .....	19
3. Objetivos del proyecto.....	19
4. Metodología de trabajo y recursos a emplear. ....	20

### Capítulo 2

El vehículo eléctrico.....	22
1. Introducción .....	22
2. Tecnologías.....	22
3. Niveles de penetración en España.....	26
4. Regulación aplicable en España.....	27
5. Conclusiones.....	30

### Capítulo 3

Análisis del impacto económico de adquirir un vehículo eléctrico para el consumidor .....	32
1. Introducción .....	32
2. Metodología .....	32
3. Escenario base: Business As Usual.....	35
4. Análisis de la variación del coste del vehículo eléctrico .....	38
5. Análisis de la variación del coste de los hidrocarburos .....	39
6. Análisis de la variación del coste de la electricidad.....	42
7. Análisis de la variación en la utilidad percibida de incentivos/obstáculos no monetarios .....	47
8. Conclusiones.....	51

### Capítulo 4

Impacto económico en el sector público de una elevada penetración de vehículos eléctricos .....	54
1. Impacto en la balanza comercial .....	54
2. Impacto en los ingresos públicos.....	60

### Capítulo 5

Impacto económico en el sector privado: modelos de negocio innovadores. ....	72
1. Introducción .....	72
2. Aumentar el número de usuarios del vehículo: Car2Go .....	73
3. Maximizar la eficiencia económica del vehículo: EV-Box, EnerNOC .....	74
4. Reducir la utilidad negativa asociada a la reducida autonomía de los vehículos eléctricos o el elevado tiempo de recarga mediante estrategias orientadas al cliente: Renault .....	74
5. Conclusiones.....	75

### Capítulo 6

Conclusiones: mejoras en la regulación aplicable al vehículo eléctrico .....	78
--	----

Bibliografía .....	82
--------------------	----



## Índice de Figuras

Figura 1 - Emisiones de efecto invernadero en España por sectores.	16
Figura 2 - Demanda de pasajeros en España y emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte en 2014.	17
Figura 3 - Matriculaciones de vehículos eléctricos en 2015, desglosados por categorías.	18
Figura 4 – Esquema básico de los componentes de un vehículo 100% eléctrico.	22
Figura 5 – Esquema básico de los componentes de un vehículo híbrido.	23
Figura 6 - Conector Shucko (izquierda) y conector Mennekes (derecha).	25
Figura 7 - Tiempos de recarga estimados para obtener 100 km de autonomía en función del punto de recarga.	26
Figura 8 - Penetración de vehículo eléctrico en España y Europa.	26
Figura 9 - Precio medio combustibles y electricidad en 2017.]	33
Figura 10 - Vehículos eléctricos y de combustión interna de gamas baja, media, alta y deportivo. Especificaciones.	34
Figura 11 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y su homólogo de combustión interna.	35
Figura 12 - Escenario 1: Business As Usual. Parámetros	37
Figura 13 – Reducción del coste del vehículo eléctrico requerida para su competitividad frente al vehículo de combustión interna.	38
Figura 14 - Reducción en el coste de la batería necesaria que permite que el VE sea competitivo en cada gama	38
Figura 15 – Aumento del coste de los hidrocarburos requerido para la competitividad del vehículo eléctrico frente al de combustión interna.	39
Figura 16 – Desglose del precio de los hidrocarburos por países de la Unión Europea.	40
Figura 17 – Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión interna en un escenario de aumento de los impuestos especiales aplicados a los hidrocarburos.	41
Figura 18 - Reducción porcentual en el coste del PVPC que permitiría al vehículo eléctrico competir con su homólogo de combustión interna.	42
Figura 19 - Término de energía y de potencia de las tarifas de peajes de acceso para <10 kW contratados.	43
Figura 20 - Horas correspondientes a cada periodo en cada una de las tarifas de peajes de acceso para <10 kW: Periodos 1 (Punta), 2 (Valle) y 3 (Supervalle).	44
Figura 21 - Evolución PVPC para cada una de las tarifas de peajes de acceso para <10 kW (14/05/2018)	44
Figura 22 - Comparación entre las tarifas de peajes de acceso 2.0A y 2.0DHS en 2017.	44
Figura 23 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión interna aplicando el periodo 3 de la tarifa 2.0 DHS de los peajes de acceso	45
Figura 24 – Desglose de los costes regulados y de mercado contabilizados en la liquidación del sector eléctrico en 2017.	45
Figura 25 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión interna aplicando el periodo 3 de la tarifa 2.0 DHS de los peajes de acceso, en caso de retirar de los peajes de acceso la retribución a las instalaciones renovables.	46
Figura 26 – Utilidad anual de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico, en función del vehículo y de los kilómetros diarios recorridos.	48
Figura 27 – Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión considerando la utilidad derivada de los obstáculos no monetarios, considerando un uso del vehículo eléctrico de 10 km/día.	49
Figura 28 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión considerando la utilidad derivada de los obstáculos no monetarios, considerando un uso del vehículo eléctrico de 35 km/día.	50
Figura 29 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión considerando la utilidad derivada de los obstáculos no monetarios, considerando un uso del vehículo eléctrico de 100 km/día.	50
Figura 30 - Balanza comercial española 1990-2017 en millones de euros.	54

Figura 31 - Exportaciones e importaciones españolas en 2017. Desglose de los 20 primeros productos.	55
Figura 32 - Cobertura de la demanda eléctrica por tecnologías en 2017, en GWh.	56
Figura 33 - Parámetros utilizados para el estudio.	57
Figura 34 – Variación del valor de las importaciones en distintos escenarios de penetración de vehículo eléctrico y de energías renovables en el mix de generación.	58
Figura 35 - Tipo impositivo del impuesto especial sobre determinados medios de transporte en función de las emisiones del vehículo.	61
Figura 36 – Tarifas del Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica aplicables a turismos en el Ayuntamiento de Madrid.	62
Figura 37 - Tipos impositivos general, especial y autonómico de aplicación en la Comunidad de Madrid en 2018.	63
Figura 38 – Ingresos tributarios por partidas en España en el año 2016.	64
Figura 39 – Parámetros utilizados en el análisis	67
Figura 40 – Ingresos obtenidos por el Estado a lo largo de la vida útil de un vehículo. Comparación entre vehículo eléctrico y de combustión interna.	68

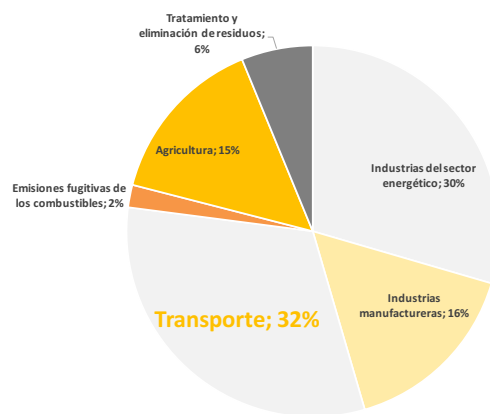
### Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 – Total Cost of Ownership de comprar y utilizar un vehículo al cabo de n años.	33
Ecuación 2 - Monetización de la utilidad negativa de los obstáculos no monetarios percibidos por el usuario de un vehículo eléctrico.	48
Ecuación 3 - Saldo derivado de las importaciones de combustibles asociadas a los vehículos de combustión interna y eléctricos.	57
Ecuación 4 - Potencia fiscal en caballos fiscales a partir de las especificaciones del motor de un vehículo de combustión interna.	62
Ecuación 5 - Potencia fiscal en caballos fiscales a partir de las especificaciones del motor de un vehículo eléctrico.	62

# Capítulo 1

## Introducción

El transporte es imprescindible para el correcto funcionamiento logístico de una ciudad [1] y, por tanto, para su desarrollo económico y social. Por ello, con el crecimiento y la formación de nuevas ciudades en el mundo, han aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación ambiental procedentes del sector del transporte. Según datos de la Agencia Internacional de la Energía, en 2014, un 20,44 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles en todo el mundo fueron generadas por el sector del transporte [2]. En España, es el sector que más emisiones de gases de efecto invernadero produce y aquel con mayor potencial de reducción [3], como se observa en la Figura 3.



*Figura 3 - Emisiones de efecto invernadero en España por sectores. Fuente: [3]*

El 4 de noviembre de 2016 entró en vigor el Acuerdo de París con el fin de reforzar la respuesta mundial ante la amenaza del cambio climático. En él, se establece como objetivo a largo plazo mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2°C frente a los niveles preindustriales [4]. Para ello serán necesarios esfuerzos en la reducción de emisiones de efecto invernadero en todos los sectores, incluido el del transporte.

En 2013, según la Agencia Europea de Medio Ambiente, 54 muertes por cada 100.000 habitantes en España fueron consecuencia de la mala calidad del aire respirado [5]. Este dato revela el impacto que puede tener la contaminación ambiental en la salud pública. Por ello, en los últimos años, múltiples capitales europeas y entre ellas, Madrid, han puesto en marcha programas de control de la calidad del aire para limitar la concentración de agentes contaminantes en las ciudades, que consistían en su mayoría en restringir la circulación de vehículos de combustión interna [6]. Así, la mejora de la calidad del aire en las ciudades pasa directamente por la reducción de las emisiones procedentes de la movilidad urbana. Sin embargo, estas iniciativas dificultan la logística en las ciudades y pueden suscitar quejas por parte de los ciudadanos [7].

Por otro lado, la dependencia energética española en 2015 se situó en un 73,3%, nivel muy superior a la media de la Unión Europea, situada en un 54% [8]. Según estudios recientes, un cambio en el paradigma energético español que conduzca a la reducción de las importaciones energéticas tendría beneficios asociados en cuanto a la reducción del alto coste económico de financiar esas importaciones, la disminución del coste de financiación de la deuda pública y la generación de empleo [9].

En este contexto, el vehículo eléctrico se presenta como una alternativa a los vehículos de combustión interna que permitiría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para combatir el cambio climático, mejorar la calidad del aire en las ciudades y reducir la dependencia externa de combustibles fósiles y no sostenibles. Todo ello ha hecho crecer el interés en torno al cambio de paradigma en la movilidad por parte de múltiples grupos de interés como son el sector de la automoción, las empresas energéticas (eléctricas y petroleras), los gobiernos y las asociaciones internacionales.

## 1. Estado de la cuestión

Según un informe de Monitor Deloitte sobre la descarbonización del transporte, en el año 2014, en España, el 86% de los desplazamientos de pasajeros se realizó utilizando vehículos particulares (coches), tal y como muestra la Figura 4. Este medio de transporte es el más contaminante en comparación con transportes colectivos como el tren o el autobús, tanto en trayectos urbanos como interurbanos. Según el mismo informe, el transporte de mercancías emitió en 2014 22 MtCO<sub>2</sub> equivalentes, procedentes en su mayoría de vehículos pesados para transporte por carretera [3]. Estos datos ponen de manifiesto el potencial que presenta la electrificación del transporte en cuanto a la reducción de emisiones en España.

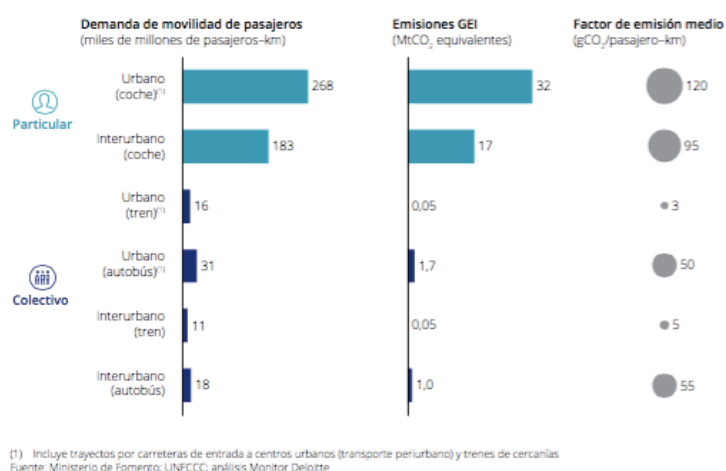


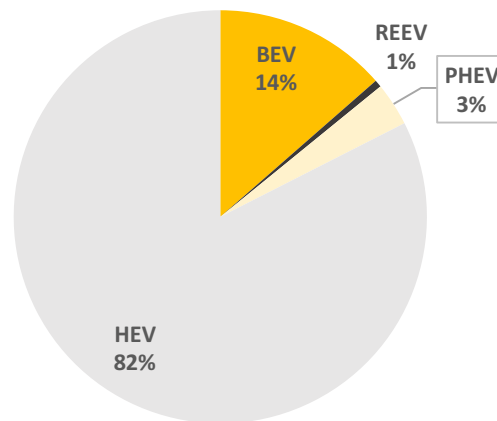
Figura 4 - Demanda de pasajeros en España y emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte en 2014. Fuente: [3]

En 2016, los vehículos híbridos y eléctricos únicamente representaron el 2,6% del parque móvil español [10], aunque las ventas aumentaron un 51,4% frente al año anterior.



Esto refleja el creciente interés en este tipo de vehículos que, a pesar de suponer una reducida porción del parque móvil, están experimentando un rápido crecimiento.

Sin embargo, éstas cifras varían considerablemente de una tecnología de vehículo eléctrico a otras. Dentro de las tecnologías de vehículo eléctrico se engloban el híbrido, enchufable (PHEV) y no enchufable (HEV), el vehículo 100% eléctrico (BEV) y el vehículo eléctrico de rango extendido (REEV), aunque este último se puede considerar como una subcategoría de vehículo híbrido enchufable. En 2015, de las más de 22.000 matriculaciones de vehículos eléctricos que tuvieron lugar en España, el 82% fueron de vehículo híbridos no enchufables [11], como se muestra en la Figura 5.



*Figura 5 - Matriculaciones de vehículos eléctricos en 2015, desglosados por categorías.  
Fuente: [11]*

El precio, la reducida autonomía y la dependencia de una infraestructura de carga todavía poco desarrollada favorecen el desarrollo del vehículo híbrido no-enchufable frente a las demás tecnologías existentes principalmente por su compatibilidad con la infraestructura existente y su elevada autonomía, garantizada por el motor de combustión.

Así, una penetración a gran escala de vehículos eléctricos se enfrenta a grandes retos que pueden ralentizar su acogida. De acuerdo con un estudio de Bloomberg New Energy Finance, los vehículos eléctricos continuarán siendo más caros que un vehículo de combustión interna hasta por lo menos 2025 [12], por lo que un aumento considerable de la penetración de vehículos eléctricos podría requerir incentivos económicos o regulatorios. En España cabe destacar el Plan de Impulso a la movilidad con vehículos de energías alternativas (MOVEA), mediante el cual se busca fomentar la adquisición de vehículos eléctricos o propulsados con combustibles alternativos, así como la implantación de puntos de recarga. En 2016 se destinaron 16,6 millones de euros a este programa, frente a los 225 millones de euros destinados al plan PIVE, para la modernización del parque móvil español que incluye vehículos diésel y gasolina. [13]

Además, en España existen 10.947 gasolineras, mientras que los puntos de recarga para vehículos eléctricos no superan los 2.000 [14] y se encuentran desigualmente repartidos entre Comunidades Autónomas. Por otro lado, el repostaje de un vehículo eléctrico puede llevar más de una hora, frente a los pocos minutos que supone repostar un vehículo de combustión interna. Por ello, una elevada penetración de vehículos eléctricos en España requerirá el desarrollo de la infraestructura de carga correspondiente. Por último, los niveles de autonomía de los vehículos eléctricos son sustancialmente inferiores a los de los vehículos de combustión interna, alcanzando, en el mejor de los casos, los 600 km, lo que supone una gran desventaja competitiva.

En este contexto, numerosas empresas están desarrollando modelos de negocio alternativos que fomentan la integración del vehículo eléctrico supliendo parte de sus desventajas o bien aportando un valor añadido al consumidor. Ejemplo de ello son las empresas de CarSharing como Car2Go o e-Move, que proponen el uso temporal de vehículos eléctricos en grandes ciudades. Otros plantean desarrollos tecnológicos como Contactless Power Supply, que propone la carga de las baterías de los vehículos a través de carreteras que transfieran energía mediante la inducción de un campo magnético.

## 2. Motivación

El reto del sector de la automoción, de las empresas energéticas y de los gobiernos a día de hoy para lograr una elevada penetración del vehículo eléctrico en el parque móvil español es el de obtener un vehículo eléctrico fiable, accesible y atractivo para el consumidor, a través del desarrollo tecnológico y regulatorio, de forma que se logre electrificar una parte significativa del sector del transporte.

La transición hacia la movilidad eléctrica lleva asociado un coste para todas las partes implicadas. Resulta imprescindible evaluar este coste para poder definir las estrategias necesarias que permitan a todos los agentes del sector colaborar para el aumento de la penetración del vehículo eléctrico y hacer realidad el cambio de paradigma en el sector del transporte. Además, identificar estos costes y su origen permitirá desarrollar e idear nuevos modelos de negocio que faciliten y aceleren la transición hacia la movilidad eléctrica.

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, se han definido los principales objetivos del presente Trabajo de Fin de Máster.

## 3. Objetivos del proyecto

Los objetivos del presente Trabajo de Fin de Máster son:

- Comprender la situación actual del vehículo eléctrico en España y la regulación aplicable más relevante.

- Analizar los costes que debe asumir el consumidor a la hora de adquirir un vehículo eléctrico e identificar qué palancas permitirían al regulador fomentar una elevada penetración de vehículos eléctricos en España.
- Estudiar cómo afectaría a la balanza de pagos la sustitución de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos.
- Definir qué fuentes de ingresos del Estado se perderían y se ganarían debido a la sustitución de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos.
- Analizar modelos de negocio innovadores que cambian la movilidad tradicional por otra sostenible.
- Recomendar cambios en la regulación que faciliten la transición a una mayor penetración de vehículos eléctricos

#### 4. Metodología de trabajo y recursos a emplear.

Para el desarrollo de Trabajo de Fin de Máster, en primer lugar, se realizará una investigación descriptiva sobre el vehículo eléctrico y un estudio de los datos disponibles acerca de sus perspectivas de futuro para poder establecer el punto de partida del análisis económico posterior.

Este análisis económico consistirá en evaluar a partir de datos cuantitativos el impacto económico de una elevada penetración de vehículos eléctricos en España para los distintos agentes implicados.

Finalmente, utilizando los resultados del análisis anterior, se revisarán distintos modelos de negocio que pueden contribuir a reducir el impacto económico y facilitar la transición hacia una movilidad sostenible, así como la regulación aplicable que facilite esta transición

Los principales recursos que se emplearán para el desarrollo del presente proyecto serán:

- Bases de datos y artículos académicos de relevancia
- Herramientas de Ofimática (Excel, Word)
- Software de análisis matemático y estadístico



## Capítulo 2

### El vehículo eléctrico

#### 1. Introducción

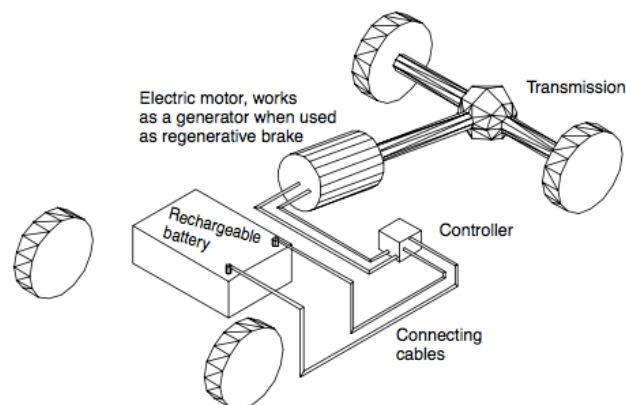
El objetivo de este capítulo es definir las principales tecnologías de vehículo eléctrico existentes en el mercado y los niveles de penetración actuales de las mismas en España, así como revisar la regulación aplicable al mismo a día de hoy. Con ello se busca definir un punto de partida claro para el análisis económico posterior.

#### 2. Tecnologías

Se define vehículo eléctrico como aquel propulsado principalmente por la fuerza que produce un motor eléctrico. Se distinguen principalmente dos tipos de tecnologías.

##### Vehículo 100% eléctrico (BEV)

El funcionamiento del vehículo 100% eléctrico o BEV, por sus siglas en inglés (Battery Electric Vehicles) se basa en una batería recargable para almacenar la electricidad que alimenta un motor eléctrico. Además, el sistema cuenta con un controlador que regula la potencia suministrada al motor y, por tanto, la velocidad. Puede incluir sistemas de freno regenerativo, de forma que, al frenar, parte de la energía cinética retirada se transforme de nuevo en energía eléctrica [15]. La Figura 6 muestra el esquema básico de los componentes de un vehículo 100% eléctrico.



*Figura 6 – Esquema básico de los componentes de un vehículo 100% eléctrico. Fuente: [15]*

##### Vehículo híbrido enchufable y no enchufable (PHEV/HEV)

El vehículo híbrido no enchufable o HEV (Hybrid Electric Vehicle) combina un motor de combustión y uno eléctrico con su correspondiente batería. La batería se carga mediante el propio movimiento del motor y mediante sistemas de freno regenerativo. Por

ello, las baterías de los vehículos híbridos no enchufables son menores que las de un vehículo 100% eléctrico, lo que limita la autonomía del vehículo en modo eléctrico. [16]

El vehículo híbrido enchufable o PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) se basa en el mismo principio que el vehículo híbrido no enchufable, pero incorpora baterías de mayor capacidad que además de recargarse con el funcionamiento del motor y el freno regenerativo, pueden cargarse mediante la conexión a la red eléctrica. [16]

En ambos casos – HEV y PHEV – el sistema de regulación permite gestionar los flujos de energía para minimizar las emisiones o el consumo de combustible, haciendo que el motor de combustión trabaje, en la medida de lo posible, en su punto de rendimiento óptimo. La Figura 7 muestra el esquema básico de los componentes de un vehículo híbrido.

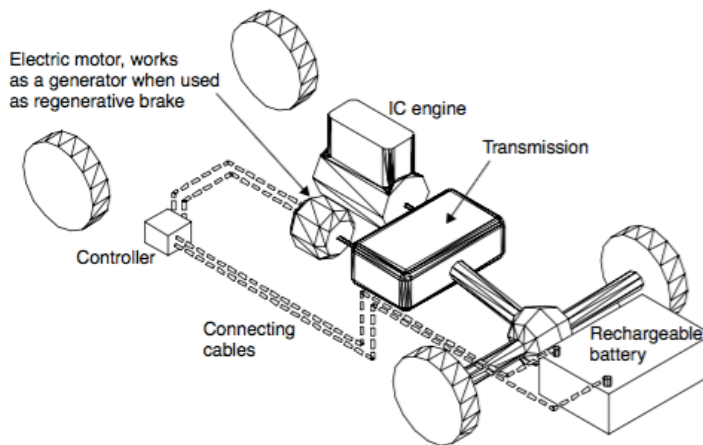


Figura 7 – Esquema básico de los componentes de un vehículo híbrido. Fuente [15]

#### Vehículo eléctrico de rango extendido (REEV)

El vehículo de rango extendido (REEV) se puede considerar como una subcategoría del vehículo híbrido enchufable. Se define como un vehículo cuya tracción es exclusivamente eléctrica, como en el caso de un vehículo 100% eléctrico, pero además dispone de un generador con un motor de combustión que permite recargar la batería cuando el nivel de ésta es bajo, aumentando así la autonomía del vehículo [17].

#### Motores

Los motores eléctricos utilizados en automoción deben ser eficientes y robustos, tener una buena relación peso/potencia y tener un tamaño reducido, además de un buen control de la velocidad de giro y del par. Los principales motores eléctricos utilizados en vehículos son el motor de inducción, el motor síncrono de imanes permanentes y el motor eléctrico de reluctancia conmutada, cada uno con sus ventajas e inconvenientes [18].

Los motores síncronos de imanes permanentes, debido a su elevada eficiencia y su reducido peso y volumen son predominantes en el mercado. Sin embargo, la mayor parte de estos motores utiliza imanes permanentes de tierras raras, por su elevada fuerza. Estos imanes se forman mediante un proceso de sinterización a partir de una serie de elementos químicos llamados *tierras raras* debido a que resulta difícil encontrarlos en estado puro en la naturaleza. Más del 90% de las reservas mundiales de tierras raras se encuentran en China, Vietnam, Brasil, Rusia e India y su precio está sujeto a las fluctuaciones propias de los mercados de materias primas [19]. Por ello, ciertos estudios prevén que los motores eléctricos de inducción y otras topologías libres de imanes permanentes aumenten su participación en el mercado en el futuro próximo [20].

## Baterías

Las baterías almacenan energía en forma de energía química y la transforman en energía eléctrica que se utiliza en la tracción eléctrica de los vehículos. En los últimos años se han desarrollado múltiples alternativas. Los principales parámetros para compararlas son [21] [22]:

- Densidad energética ( $\text{Wh/dcm}^3$ ): cantidad de energía almacenada por unidad de volumen. Permite dimensionar las baterías y el propio vehículo.
- Energía específica ( $\text{Wh/kg}$ ): relación peso/energía de la batería. Influye notablemente en la autonomía del vehículo.
- Potencia específica ( $\text{W/kg}$ ): relación peso/potencia de la batería.
- Vida útil: número de ciclos de carga y descarga. Afecta al coste de mantenimiento del vehículo eléctrico si debe ser repuesta en varias ocasiones.
- Coste ( $\text{€/kWh}$ ): representa una gran parte del coste final del vehículo. Según la Agencia Internacional de la Energía, para que los vehículos 100% eléctricos puedan ser competitivos, el precio de las baterías deberá ser menor de 300  $\text{\$/kWh}$ .
- Eficiencia energética (%): cociente entre la energía suministrada por la batería frente a la energía necesaria para recargarla.

Las principales baterías utilizadas en automoción son las baterías de plomo ácido, las baterías níquel-metal hidruro (Ni-MH), las baterías de ion-litio y las baterías de sal fundida ( $\text{Na/NiCl}_2$ , Zebra). Las baterías de plomo-ácido o las Ni-MH presentan un coste reducido y, además, la tecnología es madura y robusta. Sin embargo, ambas tienen una energía específica reducida por lo que el peso de las baterías es elevado. Las baterías de sal fundida presentan una energía específica mucho mayor, pero su potencia específica es reducida. Las baterías de ion-litio se presentan como la mejor opción en términos de potencia y energía específica.

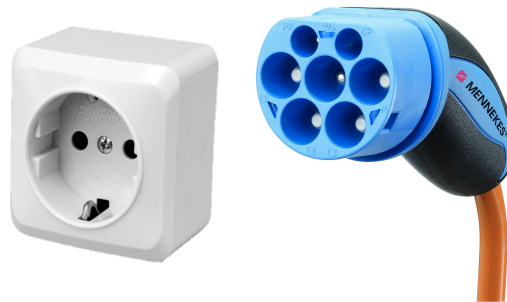
Muchas otras alternativas están siendo objeto de estudio, como las baterías litio-sulfuro, y los avances tecnológicos y las curvas de aprendizaje han permitido reducir en gran medida los costes de las baterías y mejorar su rendimiento. De acuerdo con la

Agencia Internacional de Energía Renovables (IRENA), en 2030 el coste de las baterías se habrá reducido en torno a un 50% sobre los niveles de 2017 [23].

### Tipos de recarga

Existen distintos tipos de recarga del vehículo eléctrico, los cuales se diferencian principalmente por la potencia suministrada y el tipo de corriente y de conector utilizados. La potencia suministrada depende de la tensión y de la corriente que puede proporcionar el punto de carga. En base a ello, se pueden diferenciar distintos modos de recarga:

- Modo 1: proporciona corriente alterna y utiliza una toma doméstica tipo Schuko, como se muestra en la Figura 8. No existe comunicación entre infraestructura de carga y vehículo eléctrico.
- Modo 2: proporciona corriente alterna y utiliza una toma doméstica tipo Schuko. Utiliza un cable especial proporcionado por el fabricante del vehículo, el cual cuenta con un dispositivo de protección que verifica la correcta conexión del vehículo a la red.
- Modo 3: proporciona corriente alterna y utiliza un conector tipo Mennekes, como se muestra en la Figura 8. El punto de recarga cuenta con dispositivos de control y protección para garantizar una correcta operación del mismo.
- Modo 4: proporciona corriente continua mediante un rectificador AC/DC situado en la infraestructura de recarga, en lugar de dentro del vehículo como ocurre en los Modos 1, 2 y 3.



*Figura 8 - Conector Schuko (izquierda) y conector Mennekes (derecha). Fuente: [24]*

La Figura 9 muestra los tiempos de recarga estimados para obtener 100 km de autonomía que se pueden obtener en función del punto de recarga escogido, considerando los más habituales en la Unión Europea. Cabe destacar que el tiempo de recarga completa del vehículo variará considerablemente en función de la capacidad de la batería.



Potencia (kW)	Corriente	Modo de recarga	Tiempo de recarga (h)	Localización
120	DC	4	0,17	Vehículos en flotas y estaciones de servicio
50	DC	4	0,33 a 0,5	Vehículos en flotas y estaciones de servicio
22	AC	3	1 a 2	Espacios públicos
10	AC	3	2 a 3	Oficinas y hogares
10	AC	3	2 a 3	Oficinas y hogares
7,4	AC	1 ó 2	3 a 4	Espacios públicos
3,3	AC	1 ó 2	6 a 8	Oficinas y hogares

Figura 9 - Tiempos de recarga estimados para obtener 100 km de autonomía en función del punto de recarga. Fuente: [25]

Es importante destacar que, para aumentar la potencia de la recarga, es necesario aumentar la corriente suministrada a la batería. Corrientes más elevadas suponen un aumento de las pérdidas de energía que tienen lugar en el proceso y, por tanto, una pérdida de eficiencia. Las recargas rápidas en Modo 4 pueden reducir la vida útil de la batería y la infraestructura necesaria es mucho más cara que en otros tipos de recarga [25]. Por ello, se recomienda un uso ocasional de la misma, por necesidad o conveniencia, pero no su utilización de manera regular.

### 3. Niveles de penetración en España

En la Figura 10 se muestran datos sobre la penetración del vehículo eléctrico en 2015, en España.

	ESPAÑA		
	2015	%	$\Delta$
BEV	5.243	0,023%	+85,1%
HEV	61.972	0,277%	+11,8%
PHEV	424	0,002%	+12,5%
<b>Total</b>	<b>67.639</b>	<b>0,3 %</b>	<b>+15,4%</b>

Figura 10 - Penetración de vehículo eléctrico en España y Europa. Fuente: [24]

El mercado del vehículo eléctrico en España es reducido: en 2015, la cuota de mercado alcanzó el 0,3%. Sin embargo, tal y como se muestra en la Figura 10, el crecimiento medio del mercado del vehículo eléctrico en España fue del 15,4 % en 2015. Se espera que entre 2020 y 2025, el market share del vehículo eléctrico en Europa – 1,4 % a lo largo de 2017 - varíe entre el 2% y el 8%, según datos de la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles [25]

Entre las principales causas de esta escasa penetración se encuentran el elevado coste, la reducida red de infraestructuras de recarga disponible en España, la limitada autonomía, y el prolongado tiempo de recarga.

El elevado coste del vehículo eléctrico continúa siendo una barrera de entrada relevante. Según datos de la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles en Europa, el vehículo eléctrico en 2017 tiene una cuota de mercado superior al 1% únicamente en los países con un PIB per cápita superior a los 30.000 € anuales. En los países con un PIB per cápita inferior a 17.000 € anuales, el market share se aproxima a cero [27]. Esto refleja cómo el coste del vehículo eléctrico continúa siendo una barrera de entrada clave.

España cuenta con un punto de recarga por cada siete vehículos eléctricos en 2017. En este sentido, España se encuentra dentro del objetivo de un punto de recarga por cada diez vehículos eléctricos marcado por la Unión Europea en la Directiva 2014/94/UE sobre la implantación de infraestructuras para los combustibles alternativos [28] [29]. Sin embargo, el número de puntos de recarga es reducido, y no es suficiente para disipar las preocupaciones de los potenciales compradores en torno a la escasa autonomía de los vehículos y las dificultades existentes a la hora de recargarlos.

Además, la falta de variedad en cuanto a modelos de vehículo eléctrico y las barreras psicológicas motivadas por la desinformación y la resistencia al cambio también suponen un obstáculo considerable [29]. El aumento efectivo de la cuota de mercado del vehículo eléctrico pasa por el desarrollo de la infraestructura, los incentivos y las políticas adecuadas, así como los sistemas de información necesarios para acceder a todas las partes interesadas.

#### 4. Regulación aplicable en España

En línea con los objetivos marcados por la Unión Europea, en España se han puesto en marcha distintos mecanismos regulatorios para incentivar la compra de vehículos eléctricos y aumentar su penetración en el mercado, los cuales se enumeran a continuación:

##### Exención o reducción del impuesto de circulación

El impuesto sobre vehículos de tracción mecánica, también conocido como impuesto de circulación, es un impuesto municipal que grava la titularidad de los vehículos de tracción mecánica para circular por la vía pública. El impuesto se define como una cuota anual en función del tipo de vehículo, sobre el que los ayuntamientos podrán aplicar una bonificación de hasta el 75% en función de la clase de carburante y el tipo de motor utilizado, en caso de que sea beneficioso para el medio ambiente [30].

El Ayuntamiento de Madrid, entre otros muchos, aplica dichas bonificaciones a todas las modalidades de vehículo eléctrico.

#### Exención o reducción del impuesto de matriculación

El impuesto especial sobre determinados medios de transporte, también conocido como impuesto de matriculación, se paga en el momento de la matriculación y se regula mediante la Ley 38/1992 de 28 de diciembre de Impuestos Especiales. En ella se establecen distintos tipos impositivos en base a las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por el vehículo, los cuales pueden ser aumentados por las Comunidades Autónomas hasta en un 15%

De acuerdo con esto, los vehículos eléctricos o híbridos cuentan con un ahorro sustancial en el impuesto de matriculación, pudiendo llegar a ser gratuito si las emisiones son inferiores a 120 g/km [31].

#### Beneficios en el Impuesto sobre la Renta de las Persona Físicas (IRPF)

La adquisición por parte de una empresa de un vehículo y su cesión a sus empleados se considera una retribución en especie. En términos de cálculo de la base imponible del IRPF, dicho vehículo se valorará en un 20% del coste de adquisición del coche. Sin embargo, en el caso de vehículos eficientes energéticamente, esta valoración podrá reducirse. En el caso de vehículos BEV, PHEV o REEV, la reducción aplicada es del 30%, el máximo establecido por el reglamento [32]. Con ello se obtiene un ahorro considerable en el pago del IRPF.

#### Reducción del precio de la energía eléctrica

El precio de la electricidad que paga un consumidor final está formado por una componente de mercado, determinada por el coste de la energía en los mercados liberalizados (generación y comercialización) y una componente regulada, los peajes de acceso a la red. Estos son fijados anualmente por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital y son los mismos en todo el territorio nacional.

Los peajes de acceso engloban los costes asociados a las actividades reguladas, transporte y distribución, y todos los costes derivados de la gestión y operación de las redes y el sistema eléctrico en general:

- Costes de transporte
- Costes de distribución y gestión comercial
- Retribución a la inversión y a la operación de las instalaciones renovables
- Costes del sistema de interrumpibilidad
- Costes asociados a la industria nuclear
- Compensación de los sistemas insulares

- Costes del Operador del Sistema (REE), del Mercado (OMIE) y el regulador (CNMC)
- Costes asociados al déficit de tarifa
- ...

En 2010, el Gobierno de España presentó la Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico, en la que se introdujo la creación de una tarifa supervalle. En el Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, se crean los peajes de acceso para consumidores de baja tensión con una potencia contratada de hasta 15 kW, 2.0 DHS y 2.1 DHS diseñadas especialmente para impulsar el vehículo eléctrico mediante la reducción del coste de la recarga.

#### Subsidios directos

Los principales planes de apoyo a la movilidad eléctrica a nivel nacional han sido los Planes MOVELE (2010-2015), MOVEA (2016-2017) y MOVALT (2018).

El plan MOVELE (2010-2015) consistió en la concesión directa de ayudas para la compra de vehículos eléctricos, entendiendo como vehículo eléctrico aquellos “cuya energía de propulsión procede total o parcialmente, de la electricidad de sus baterías, cargadas a través de la red eléctrica.”. La cuantía osciló entre los 2.500 y los 6.500 € de subvención directa para turismos, repartiéndose un total de 10 M€ entre 2010 y 2012, 10 M€ en 2014 y 7M€ en 2015. [33]

El plan MOVEA (2016-2017) consistió en la concesión directa de ayudas para incentivar la compra de vehículos impulsados con energías alternativas a los combustibles tradicionales (vehículos impulsados por gas licuado del petróleo, gas natural comprimido y licuado y vehículos eléctricos BEV, REEV y PHEV). Las ayudas concedidas para la compra de vehículos eléctricos oscilaron entre los 2.700 € y los 5.500 € de subvención directa para turismos, repartiéndose un total de 18,89 M€ para la compra de vehículos eléctricos entre 2016 y 2017 [28] [34]. El programa incluye también subvenciones para la instalación de infraestructura de recarga en zonas de acceso público.

El plan MOVALT (2018) está igualmente orientado a incentivar la compra de vehículos impulsados con energías alternativas a los combustibles tradicionales. Las ayudas concedidas para la compra de vehículos eléctricos oscilan entre los 1.300 € y los 5.500 € de subvención directa para turismos, procedentes de una partida presupuestaria total de 20M€ [35]. El programa incluye de nuevo subvenciones para la instalación de infraestructura de recarga en zonas de acceso público y, además, en zonas privadas.

## Acceso preferencial e incentivos no monetarios

Además de los beneficios fiscales y subvenciones directas a la compra de vehículos eléctricos, existen a nivel municipal múltiples iniciativas que fomentan el uso del vehículo eléctrico.

Por un lado, destacan las políticas de acceso preferencial a zonas o carriles especiales. Por ejemplo, en Barcelona, Madrid y Granada existen carriles BUS-VAO-ECO, reservados para motocicletas, turismos con más de un ocupante, autobuses y vehículos 100% eléctricos. Están destinados a dar prioridad a ciertos vehículos en momentos de congestión con el objetivo de fomentar el uso del transporte público, aumentar la ocupación de los turismos e incentivar el uso del vehículo eléctrico.

Además, en algunas ciudades el vehículo eléctrico tiene preferencia sobre los vehículos de combustión interna en épocas de elevada contaminación. Dentro del protocolo de medidas a adoptar durante episodios de alta contaminación del Ayuntamiento de Madrid, los vehículos eléctricos están exentos de las prohibiciones asociadas a los distintos escenarios anti-contaminación [6].

También existen políticas de reducción o exención del pago de peajes o de tasas de aparcamiento. Por ejemplo, en las autopistas C-32 Norte y Sur en la provincia de Barcelona, los vehículos eléctricos BEV, HEV, PHEV y que utilicen combustibles alternativos pueden obtener un 30% de descuento en los peajes que atraviesen. En Madrid, las tarifas del Servicio de Estacionamiento Regulado varían en función de la etiqueta medioambiental del vehículo concedida por la DGT, de tal forma que los vehículos 100% eléctricos están exentos del pago del S.E.R. y los vehículos más contaminantes pagan un recargo extra.

Finalmente, existen plazas de aparcamiento accesibles y reservadas para vehículos eléctricos y poco contaminantes.

## 5. Conclusiones

El objetivo del presente capítulo es la definición de un punto de partida claro para el análisis económico posterior. En cuanto a la situación del vehículo eléctrico en España se puede concluir:

- Existen múltiples tecnologías aplicables al vehículo eléctrico y muchas otras están en desarrollo. Se puede esperar una reducción de los costes de fabricación en el medio plazo
- El nivel de penetración de vehículo eléctrico en España es reducido y se encuentra por debajo de la media de la Unión Europea.

- Las principales barreras que se oponen al aumento de dicho nivel son el elevado coste, la escasa red de infraestructuras de recarga disponible en España, la reducida autonomía, el prolongado tiempo de recarga, la falta de variedad de modelos y la resistencia al cambio.
- En España existen políticas que buscan reducir principalmente la barrera que supone el elevado coste mediante beneficios fiscales y subvenciones directas y la resistencia al cambio mediante incentivos no monetarios que fomenten su uso.
- Hasta 2016 no se introdujeron ayudas a la instalación de puntos de recarga ni existen incentivos para los fabricantes para el desarrollo de nuevos modelos de vehículo eléctrico.

## Capítulo 3

# Análisis del impacto económico de adquirir un vehículo eléctrico para el consumidor

### 1. Introducción

A pesar de que existen modelos de negocio innovadores que permitirían aumentar el nivel de penetración del vehículo eléctrico en España de múltiples maneras, para el presente estudio se va a considerar que una elevada penetración de vehículos eléctricos requiere que los vehículos privados sean, en su mayoría, eléctricos. Para ello es necesario que el consumidor decida adquirir un vehículo eléctrico en lugar de uno de combustión interna. Se va a considerar que el consumidor es racional y que el principal factor que tiene en cuenta en la toma de decisión es el coste total que supone la adquisición, o lo que en la literatura se conoce como Total Cost of Ownership (TCO). Para ello resulta necesario incluir la utilidad derivada de otros incentivos no monetarios puestos en práctica por las instituciones para motivar la compra de vehículos eléctricos y el obstáculo que supone la falta de infraestructura de recarga o la reducida autonomía, ya que tienen igualmente un impacto a la hora de decidir entre un vehículo eléctrico y uno de combustión interna.

Por otro lado, en caso de que el potencial comprador ya tenga un coche, el valor del mismo no se va a tener en cuenta en el estudio en aras de la simplicidad, a pesar de la existencia de estudios recientes sobre la economía del comportamiento que plantean que considerar los costes hundidos en la toma de decisiones no siempre es un comportamiento irracional [36].

El objetivo de este estudio es analizar bajo qué escenarios de evolución de precios de vehículos eléctricos y de combustión interna, precios de combustible y electricidad y utilidad derivada de los incentivos y obstáculos no monetarios el vehículo eléctrico es más o menos costoso para el consumidor que un vehículo de combustión interna. Con todo ello, se busca identificar qué palancas permitirían al regulador fomentar una elevada penetración de vehículo eléctrico y desarrollar una política de incentivos acorde.

### 2. Metodología

Para el cálculo del coste asumido por el comprador de un vehículo, en caso de no contar con subvención alguna, se van a tener en cuenta tres factores: el precio del vehículo en € (P), el precio del combustible en €/km (C), el precio de mantenimiento en €/km (M) y la utilidad derivada de los distintos incentivos no monetarios en € (I). El TCO de comprar y utilizar un vehículo durante n años se muestra en la Ecuación 3. La distancia

recorrida cada año en km es D. La tasa de descuento (r) permite considerar el valor actual de los costes futuros asociados a la utilización del vehículo.

$$Total\ Cost\ of\ Ownership = P + \sum_{n=1}^N [(C_n + M_n) \cdot D_n + I_n] \frac{1}{(1+r)^n}$$

*Ecuación 3 – Total Cost of Ownership de comprar y utilizar un vehículo al cabo de n años.*

A continuación, la Ecuación 3 se va a utilizar para calcular el TCO de adquirir un vehículo eléctrico frente al TCO de adquirir uno de combustión interna bajo distintos escenarios de evolución de precios de vehículos eléctricos y de combustión interna, precios de combustible y electricidad y utilidad derivada de los incentivos y obstáculos no monetarios

Para realizar la comparación entre vehículo eléctrico y de combustión interna se van a seleccionar cuatro parejas de vehículos de distinta gama con especificaciones similares en cuanto a tamaño, velocidad máxima, aceleración, potencia y autonomía. Los vehículos seleccionados y sus características se muestran en la Figura 12. Como se puede observar, el precio actual de los vehículos eléctricos es sensiblemente superior a su equivalente de combustión interna.

Para el cálculo del coste de recarga o de combustible en €/km de cada vehículo se va a considerar el consumo en l/km o kWh/km y el precio de la electricidad, gasolina o diesel, según corresponda. En el caso de los hidrocarburos, el precio se va a descomponer en el precio de los hidrocarburos como tal y los impuestos aplicados sobre el mismo (Impuesto Especial sobre Hidrocarburos e IVA) debido al elevado porcentaje que estos suponen del precio total. En un primer escenario se van a considerar los precios en España en Febrero de 2018, que se muestran en la Figura 11.

	Antes de impuestos	Impuestos	Total
<b>Precio gasolina (€/l)</b>	0,61	0,64	1,25
	48,6%	51,4%	100%
<b>Precio diesel (€/l)</b>	0,64	0,53	1,17
	54,4%	48,6%	100%
<b>Precio electricidad PVPC (€/kWh)</b>			0,12

*Figura 11 - Precio medio combustibles y electricidad en 2017. Fuente: [39] [40]*

Por otro lado, debido a la falta de experiencia en mantenimiento de vehículos eléctricos, en la literatura aparece poca información sobre el coste de mantenimiento y reparación de los mismos. Teóricamente, aquellos componentes de un vehículo eléctrico que no están presentes en un vehículo de combustión interna (batería, motor eléctrico y electrónica de potencia) requieren un mantenimiento casi nulo, que podría reducir el coste de mantenimiento en un 10% [41]. La Agencia Europea del Medio Ambiente afirma que mientras que los costes de mantenimiento convencionales de un vehículo eléctrico serían



más reducidos que los de un vehículo de combustión interna, otros costes, como el coste del seguro o el coste de sustitución de la batería podrían aumentar [25]. En un primer escenario, se va a asumir que el coste de mantenimiento de un vehículo eléctrico es en un 70% del coste de mantenimiento de un vehículo de combustión interna de su misma categoría [42]. Según un estudio de Automovilistas Europeos Asociados realizado en 2017, el coste de mantenimiento, seguro y reparaciones por km imputable a un vehículo de gasolina y un vehículo diesel es de 0,12 €/km y 0,07€/km [43]. En cuanto a la distancia media anual recorrida, el proyecto europeo Odysee-Mure estimó en 2016 que en España se recorren en coche 12.535 km/año por vehículo. Por tanto, se va a tomar esta distancia como referencia para el escenario base. Además, se va a considerar una vida útil de los vehículos de 12 años, en el entorno de la media europea [44].

Por último, se va a utilizar el Euribor a 1 año en Febrero de 2018, -0,11% [45] como la tasa de descuento a utilizar en el escenario base para considerar el valor actual de los costes futuros de combustible, mantenimiento y reparación del vehículo. La inflación se va a fijar en un primer momento en 1,2%, el valor medio del IPC en España en 2017 [46].

Gama	Baja		Media		Alta		Deportivo 4x4	
Vehículo	Renault Clio	Renault Zoe	Volkswagen Golf	Hyundai IONIQ	Audi A7	Tesla S	Porsche Cayenne	Tesla X
Largo (mm)	4.062	4.084	4.258	4.470	4.974	4.979	4.918	5.037
Ancho (mm)	1.732	1.730	1.790	1.820	1.911	1.964	1.983	2.271
Alto (mm)	1.448	1.568	1.492	1.450	1.420	1.435	1.696	1.684
Nº pasajeros	5	5	5	5	5	5	5	5
Aceleración 0-100 (s)	14,5	132	9,9	10,2	6,9	5,8	6,2	5,2
Vmax (km/h)	167	135	196	165	250	225	245	210
Potencia (CV)	75	92	110	120	252	320	340	333
Consumo (l/100 km o kWh/km)	5,5	0,10	4,8	0,103	6	0,212	9	0,187
Autonomía (km)	818	400	1042	280	1083	354	833	402
Combustible	Gasolina	-	Gasolina	-	Gasolina	-	Gasolina	-
Precio (€)	13.150	32.125 (batería en propiedad)	20.395	36.400	61.900	86.000	87.500	97.550

Figura 12 - Vehículos eléctricos y de combustión interna de gamas baja, media, alta y deportivo. Especificaciones. Fuente: [36]

### 3. Escenario base: Business As Usual

Los parámetros utilizados en el Escenario base o Business As Usual se resumen en la Figura 14, así como el origen de los mismos. Los resultados de Total Cost of Ownership obtenidos para cada vehículo se muestran gráficamente en la Figura 13.

Bajo las hipótesis realizadas para el cálculo de los resultados en el Escenario base o Business as Usual, en el que esencialmente se mantienen los distintos parámetros en sus valores actuales y no se considera el efecto de los incentivos u obstáculos no monetarios existentes, el Total Cost of Ownership del vehículo eléctrico en las dos categorías inferiores es superior al TCO del vehículo de combustión interno de su misma categoría. El coste de recarga y mantenimiento del vehículo eléctrico, bajo las mencionadas hipótesis, no resulta sustancialmente inferior al coste de combustible y mantenimiento de un vehículo de combustión interna, por lo que el ahorro derivado de un menor coste de recarga y mantenimiento del vehículo no es suficiente para compensar la diferencia de precio inicial entre vehículos.

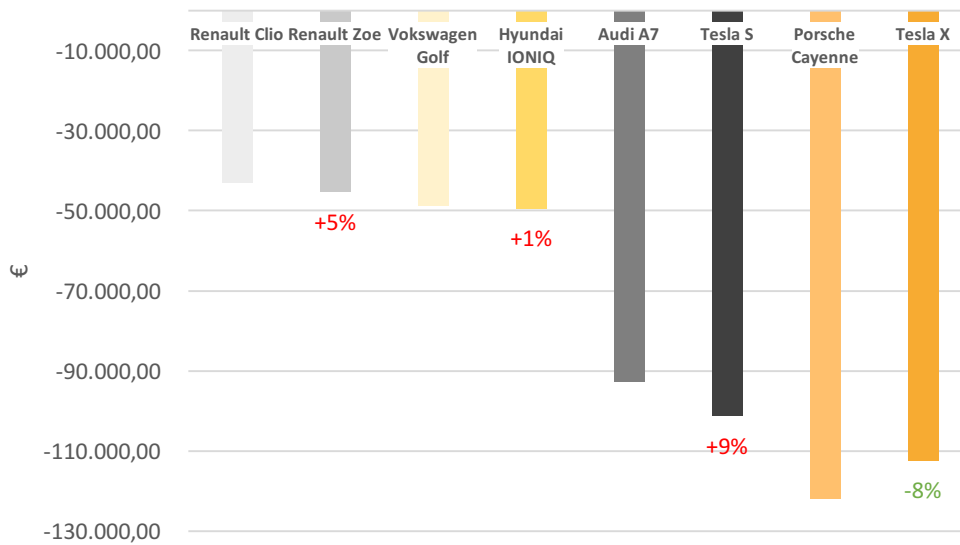


Figura 13 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y su homólogo de combustión interna.

En la categoría de gama alta se obtiene un Total Cost of Ownership de los vehículos eléctricos aún mayor al de los vehículos de combustión interna. Sin embargo, en el caso del deportivo 4x4, el elevado consumo de combustible requerido se traduce en un Total Cost of Ownership superior al de su homólogo eléctrico. Esta diferencia se vería reducida en caso de considerarse una distancia anual recorrida menor, como se analizará más adelante.

Muchos de los parámetros utilizados en el cálculo de estos resultados están sujetos a una elevada incertidumbre. Por ello, a continuación se van a definir distintos [48] escenarios para analizar la sensibilidad de estos resultados a la variación del coste del vehículo eléctrico, la variación del coste de los hidrocarburos y de la electricidad y la variación en la utilidad percibida de los incentivos u obstáculos no monetarios. Además, se analizará cómo afecta la distancia anual recorrida a la competitividad del vehículo eléctrico, con el objetivo de determinar qué usos del vehículo eléctrico favorecen la electrificación del transporte. Con todo ello, se buscan identificar qué palancas permitirían al regulador fomentar una elevada penetración de vehículo eléctrico y desarrollar una política de incentivos acorde.

Parámetro	Vehículo		Fuente
Precio (€)	Renault Clio	13.150,00	Precio 2017
	Renault Zoe	32.125,00	Precio 2017
	Volkswagen Golf	20.395,00	Precio 2017
	Hyundai IONIQ	36.400,00	Precio 2017
	Audi A7	61.900,00	Precio 2017
	Tesla S	86.000,00	Precio 2017
	Porsche Cayenne	85.000,00	Precio 2017
	Tesla X	97.550,00	Precio 2017
Vida útil		12,00	Media Europea
Inflación		1,2%	IPC España 2017
Precio gasolina (€/l)		1,25	Media España 2017
Precio diésel (€/l)		1,17	Media España 2017
Precio electricidad PVPC (€/kWh)		0,12	Media España 2017
Autonomía (km)	Renault Zoe	400,00	Ficha técnica
	Hyundai IONIQ	280,00	Ficha técnica
	Tesla S	354,00	Ficha técnica
	Tesla X	402,00	Ficha técnica
Capacidad batería (kWh)	Renault Zoe	41,00	Ficha técnica
	Hyundai IONIQ	28,00	Ficha técnica
	Tesla S	75,00	Ficha técnica
	Tesla X	75,00	Ficha técnica
Consumo (l/km o kWh/km)	Renault Clio	0,06	Ficha técnica
	Renault Zoe	0,103	Capacidad batería/Autonomía
	Volkswagen Golf	0,05	Ficha técnica
	Hyundai IONIQ	0,100	Capacidad batería/Autonomía
	Audi A7	0,06	Ficha técnica
	Tesla S	0,212	Capacidad batería/Autonomía
	Porsche Cayenne	0,09	Ficha técnica
	Tesla X	0,187	Capacidad batería/Autonomía
Coste (€/km)	Renault Clio	0,07	Precio Gasolina·Consumo
	Renault Zoe	0,01	Precio PVPC·Consumo
	Volkswagen Golf	0,06	Precio Gasolina·Consumo
	Hyundai IONIQ	0,01	Precio PVPC·Consumo
	Audi A7	0,08	Precio Gasolina·Consumo
	Tesla S	0,03	Precio PVPC·Consumo
	Porsche Cayenne	0,11	Precio Gasolina·Consumo
	Tesla X	0,02	Precio PVPC·Consumo
Coste mantenimiento, reparaciones y seguro (gasolina) (€/km)		0,12	Estudio AEA
Coste mantenimiento, reparaciones y seguro (diésel) (€/km)		0,07	Estudio AEA
Coste mantenimiento, reparaciones y seguro (v. eléctrico) (€/km)		0,05	Hipótesis
Utilidad incentivos/obstáculos no monetarios		0	
Distancia anual recorrida (km/año)		12.535,00	Proyecto Odissee-Mure
Tasa de descuento		-0,110%	Banco de España

Figura 14 - Escenario 1: Business As Usual. Parámetros

#### 4. Análisis de la variación del coste del vehículo eléctrico

En España existen políticas que buscan reducir, principalmente, la barrera que supone el elevado coste del vehículo eléctrico mediante beneficios fiscales y subvenciones directas. La Figura 15 muestra la reducción en el coste del vehículo eléctrico que debe facilitar el regulador para garantizar la competitividad económica del mismo en cada una de las gamas. Los resultados mostrados en la Figura 15 se han calculado a partir del Escenario 1, en el que no se considera la utilidad percibida de incentivos y obstáculos no monetarios. A excepción del 4x4 Tesla X, el resto de vehículos analizados requerirían una reducción del coste total del vehículo para poder competir con su homólogo de combustión interna.

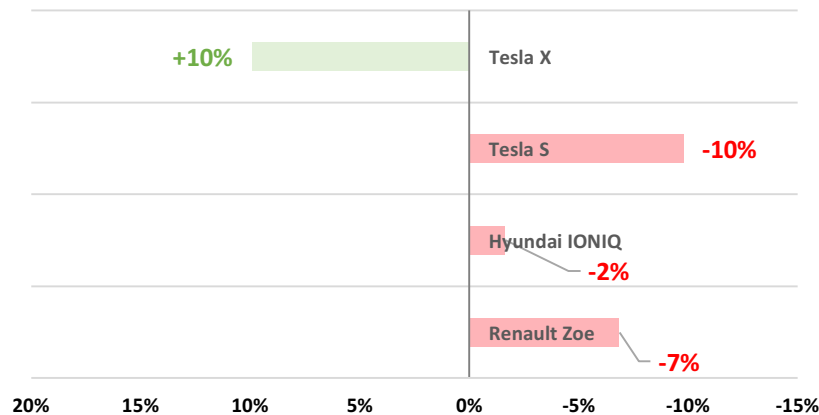


Figura 15 – Reducción del coste del vehículo eléctrico requerida para su competitividad frente al vehículo de combustión interna.

La batería de un vehículo eléctrico es uno de los principales componentes del coste total [47]. El coste medio de una batería de ión-litio en 2017, la más común en el caso de los vehículos eléctricos, fue \$209/kWh o 170 €/kWh, utilizando el tipo de cambio vigente en Febrero de 2018 [12]. En la Figura 16 se muestra el cálculo realizado para determinar qué coste medio de batería de ion-litio permitiría alcanzar la paridad en términos de TCO entre los vehículos eléctricos analizados y sus homólogos de combustión interna, obteniéndose un valor medio de \$128/kWh o 104 €/kWh. De acuerdo con el informe de Bloomberg New Energy Finance, *Electric Vehicle Outlook 2017*, las baterías de ión-litio alcanzarían dicho nivel en torno al año 2022.

	Precio VE (€)	Batería ion-litio			Precio objetivo VE (€)	Batería ion-litio		
		Capacidad (kWh)	Coste medio €/kWh	Coste (€)		Coste objetivo (€)	Coste medio objetivo (€/kWh)	
Renault Zoe	32.125,00	41,00	170,00	6970,00	29.919,25	11.286,75	116,20	
Hyundai IONIQ	36.400,00	28,00	170,00	4760,00	35.795,48	14.683,48	148,41	
Tesla S	86.000,00	75,00	170,00	12750,00	76.796,91	26.916,91	47,29	
Promedio								104 €/kWh

Figura 16 - Reducción en el coste de la batería necesaria que permite que el VE sea competitivo en cada gama

Por tanto, en el hipotético caso en el que la utilidad derivada de los incentivos no monetarios compensase la utilidad derivada de los obstáculos y los escenarios de reducción de precio de las baterías se materializasen, el vehículo eléctrico sería competitivo a nivel económico frente al de combustión interna en menos de 5 años, sin necesidad de subvenciones directas o ventajas fiscales.

Sin embargo, para fomentar la integración a más corto plazo del vehículo eléctrico, el regulador podría subvencionar parte del coste inicial del vehículo. Las cantidades a subvencionar oscilan entre los 600 €, en el caso de vehículos de gama baja, y los 8.400 € en el caso de vehículos de gama alta. Las subvenciones directas del estado español a la compra de vehículos eléctricos incluidas dentro del plan MOVALT 2018 oscilan entre los 1.300 € y los 5.500 € en el caso de turismos, por lo que permiten compensar en gran medida la diferencia de Total Cost of Ownership existente entre los vehículos eléctricos y sus homólogos de combustión interna. Sin embargo, no son de aplicación para vehículos cuyo precio antes de impuestos supere los 32.000 € y la partida presupuestaria destinada a dichas ayudas en 2018 – 20 millones de euros – es reducida en comparación con el número de vehículos de combustión interna existentes en el parque móvil español

Por tanto, en el caso español, existe potencial de mejora en el caso de las subvenciones directas a la compra de vehículos eléctricos, tal y como se analizará posteriormente.

## 5. Análisis de la variación del coste de los hidrocarburos

Una de las variables analizadas que presenta una elevada incertidumbre es el coste de los hidrocarburos y los impuestos asociados. Un descenso en el precio del petróleo podría dificultar aún más la competitividad de los vehículos eléctricos frente a los de combustión interna. Sin embargo, el regulador podría compensar dicho efecto aplicando penalizaciones fiscales sobre los hidrocarburos. La Figura 17 muestra el aumento porcentual en el coste de los hidrocarburos que permitiría al vehículo eléctrico competir con su homólogo de combustión interna.

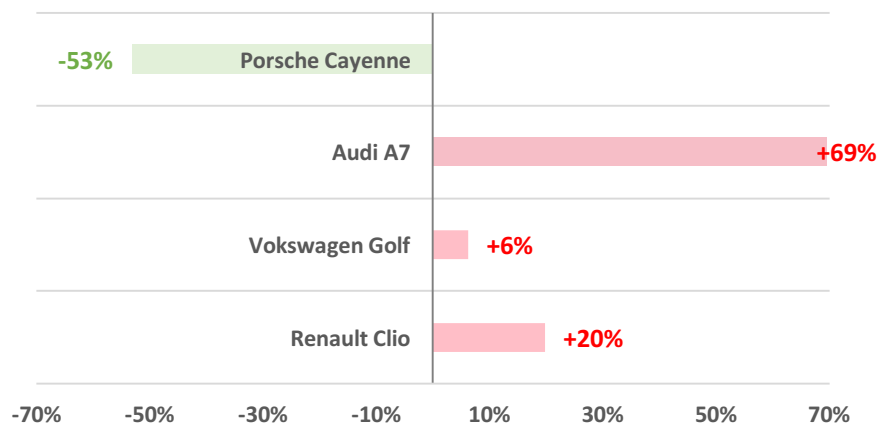


Figura 17 – Aumento del coste de los hidrocarburos requerido para la competitividad del vehículo eléctrico frente al de combustión interna.

En Marzo de 2018, la Comisión Europea destacó, en el marco del Semestre Europeo [48], el bajo nivel de impuestos aplicado sobre la gasolina sin plomo y el diesel en España. La Figura 18 muestra el desglose de los precios de gasolina sin plomo 95 y diesel en los países miembros de la Unión Europea, ordenados de mayor a menor según los impuestos especiales aplicados a los hidrocarburos. La posición de España en ambos casos destaca por situarse muy por debajo de la media de la Unión Europea.

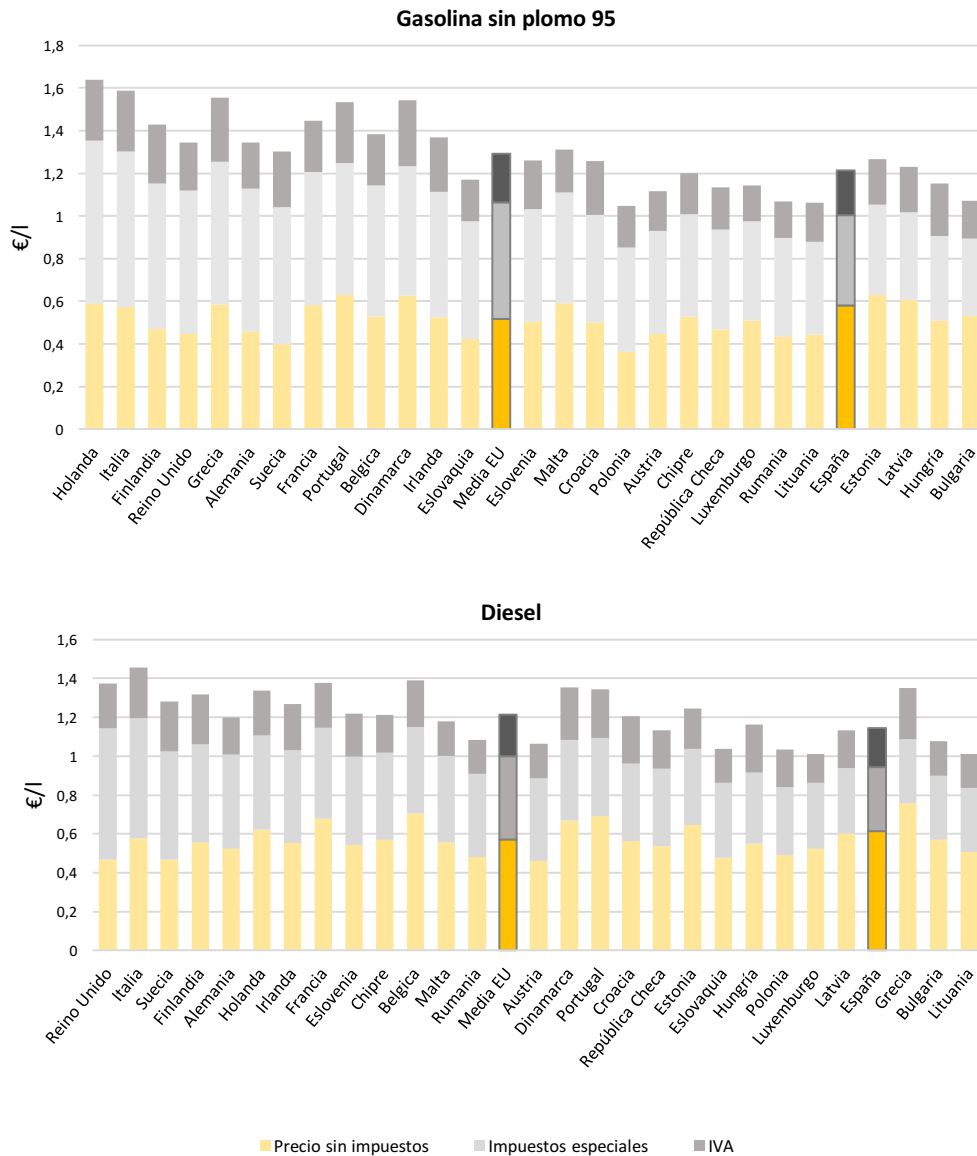


Figura 18 – Desglose del precio de los hidrocarburos por países de la Unión Europea. Fuente: [38]

Aumentar los impuestos especiales de aplicación sobre hidrocarburos permitiría reducir la diferencia existente en términos de Total Cost of Ownership entre los vehículos eléctricos y sus homólogos de combustión interna. En concreto, en el caso de los vehículos de gamas baja y media, situar los impuestos especiales en el entorno de los de Italia y Holanda – los más elevados de la Unión Europea – prácticamente eliminaría dicha

diferencia. En el caso de vehículos de gama alta serían necesarios incentivos adicionales para compensar el coste adicional que supone la adquisición de un vehículo eléctrico.

La Figura 19 muestra el Total Cost of Ownership de los vehículos analizados, en el caso de aplicar en España los impuestos sobre hidrocarburos aplicados en Italia. Se ha utilizado el caso italiano por su similitud con España en términos de coste de los hidrocarburos antes de impuestos y de poder adquisitivo de la población.

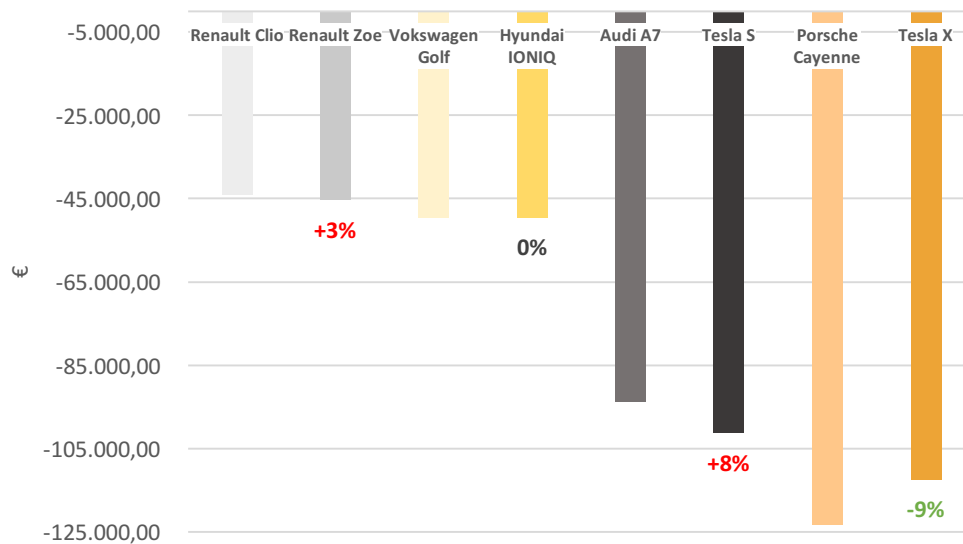


Figura 19 – Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión interna en un escenario de aumento de los impuestos especiales aplicados a los hidrocarburos.

Del análisis previo se puede deducir que una de las palancas que permitiría al regulador fomentar la compra de vehículos eléctricos y compensar posibles bajadas en el precio de los hidrocarburos es el aumento de los impuestos especiales aplicados a los mismos.

A este efecto, cabe destacar el informe de la Comisión de Expertos sobre escenarios para la Transición Energética [49], en el que se aboga por una reforma fiscal con objetivos medioambientales. La Comisión de Expertos plantea dos impuestos que graven las emisiones de CO<sub>2</sub> y las emisiones de otros gases contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partículas), que deberán pagar tanto las instalaciones productoras de electricidad como los consumidores finales de carbón, gas natural y derivados del petróleo. El objetivo de este impuesto medioambiental es lograr que se internalicen de forma eficiente los costes medioambientales asociados a cada producto energético. Por tanto, un diseño adecuado del mismo permitiría fomentar la compra de vehículos eléctricos.

Además, el informe de la Comisión de Expertos sobre escenarios para la Transición Energética propone que cada subproducto energético financie sus propias infraestructuras, como ocurre en el caso de la electricidad y el gas. Para ello, se propone un peaje añadido al consumo de gasolina y gasóleo, destinado al mantenimiento de las



infraestructuras viarias. A raíz de esto, se abre el debate sobre si la recarga de vehículos eléctricos debería contribuir al mantenimiento de las redes de transporte y distribución, así como de las infraestructuras viarias. Del mismo modo, la exención de pago de este peaje añadido a los vehículos eléctricos podría contribuir a fomentar su compra, penalizando únicamente a los vehículos de combustión interna.

## 6. Análisis de la variación del coste de la electricidad

El coste de la electricidad es una de las variables que podrían contribuir a reducir el Total Cost of Ownership de un vehículo eléctrico, al reducir el coste de la recarga.

El precio de la electricidad considerado en este análisis es el llamado Precio Voluntario al Pequeño Consumidor (PVPC). La Figura 20 muestra la reducción porcentual en el coste del PVPC que permitiría al vehículo eléctrico competir con su homólogo de combustión interna.

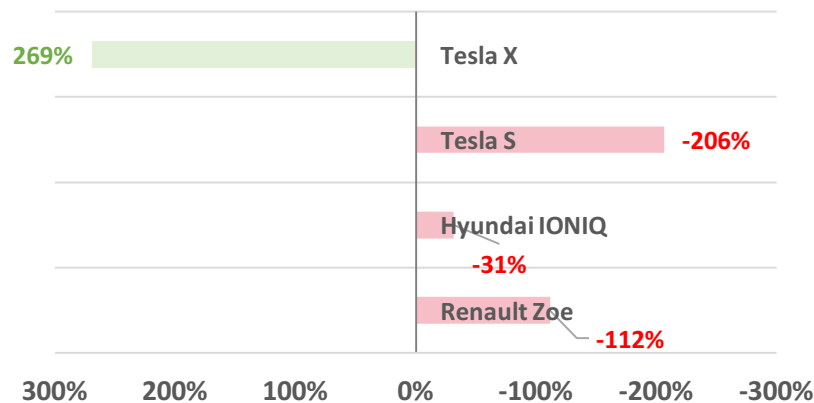


Figura 20 - Reducción porcentual en el coste del PVPC que permitiría al vehículo eléctrico competir con su homólogo de combustión interna.

El PVPC es una tarifa regulada que se introdujo mediante el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación. En él se definen los consumidores que pueden acogerse al PVPC, siendo aquellos conectados en baja tensión (menos de 1 kV) y con una potencia contratada igual o menor a 10 kW. La estructura del PVPC se calcula mediante la suma de dos componentes: una componente de mercado, determinada por el coste medio horario de la energía en el mercado eléctrico en el periodo de facturación y una componente regulada, los peajes de acceso, fijada administrativamente.

La componente de mercado se calcula usando los consumos horarios en caso de que el consumidor disponga de un contador digital integrado en los sistemas de telemedida y telegestión, es decir, con la capacidad de leer el contador a distancia, discriminar las lecturas y obtener curvas horarias que reflejen el consumo real horario. Este método de

cálculo se aplicará cada vez a un mayor número de consumidores acogidos al PVPC ya que la Orden ITC/3860/2007 de 28 de diciembre estableció que todos los contadores domésticos deberían ser sustituidos por contadores con discriminación horaria y telegestión antes del 31 de diciembre de 2018. En caso de no disponer de un contador inteligente, la componente de mercado se calcula sobre la base de los perfiles de consumo medio estimados por Red Eléctrica de España.

La componente regulada del Precio Voluntario al Pequeño Consumidor son los peajes de acceso a la red, los cuales son fijados anualmente por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital y son únicos en todo el territorio nacional. Los peajes de acceso engloban los costes asociados a las actividades reguladas, transporte y distribución, y todos los costes derivados de la gestión y operación de las redes y el sistema eléctrico en general:

- Costes de transporte
- Costes de distribución y gestión comercial
- Retribución a la inversión y a la operación de las instalaciones renovables
- Costes del sistema de interrumpibilidad
- Costes asociados a la industria nuclear
- Compensación de los sistemas insulares
- Costes del Operador del Sistema (REE), del Mercado (OMIE) y el regulador (CNMC)
- Costes asociados al déficit de tarifa
- ...

En 2010, el Gobierno de España presentó la Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico, en la que se introdujo la creación de una tarifa supervalle. En el Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, se crean los peajes de acceso para consumidores de baja tensión con una potencia contratada de hasta 15 kW, 2.0 DHS y 2.1 DHS diseñadas especialmente para impulsar el vehículo eléctrico mediante la reducción del coste de la recarga. La Figura 21 muestra las distintas tarifas de peajes de acceso existentes para consumidores con una potencia contratada de menos de 10 kW. La Figura 22 muestra las horas correspondientes a cada periodo.

Tarifa	Tp (€/kW año)	Te (€/kWh)			
		Sin DH	Periodo 1 o "Punta"	Periodo 2 o "Valle"	Periodo 3 o "Supervalle"
<b>2.0 A</b>	38,043426	0,044027			
<b>2.0 DHA</b>	38,043426		0,062012	0,002215	
<b>2.0 DHS</b>	38,043426		0,062012	0,002879	0,000886

Figura 21 - Término de energía y de potencia de las tarifas de peajes de acceso para <10 kW contratados. Fuente: [50] [51]

Hora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
2.0 DHA	Invierno	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	Verano	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
2.0 DHS		2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Figura 22 - Horas correspondientes a cada periodo en cada una de las tarifas de peajes de acceso para <10 kW: Periodos 1 (Punta), 2 (Valle) y 3 (Supervalle). Fuente: [50]

Se puede observar cómo la tarifa 2.0 DHS cuenta con 6 horas de periodo supervalle con un término de energía sustancialmente inferior a los periodos punta y valle, durante el cual recarga un vehículo eléctrico resultaría mucho más económico. La Figura 23 muestra la evolución del PVPC (componente de mercado y regulada) a lo largo de 24 horas, para cada una de las distintas tarifas de peajes de acceso para consumidores con potencia contratada inferior a 10 kW. La Figura 24 muestra el precio medio del PVPC para las tarifas 2.0 A (sin discriminación horaria) y 2.0 DHS (con discriminación horaria de 3 periodos) en 2017.

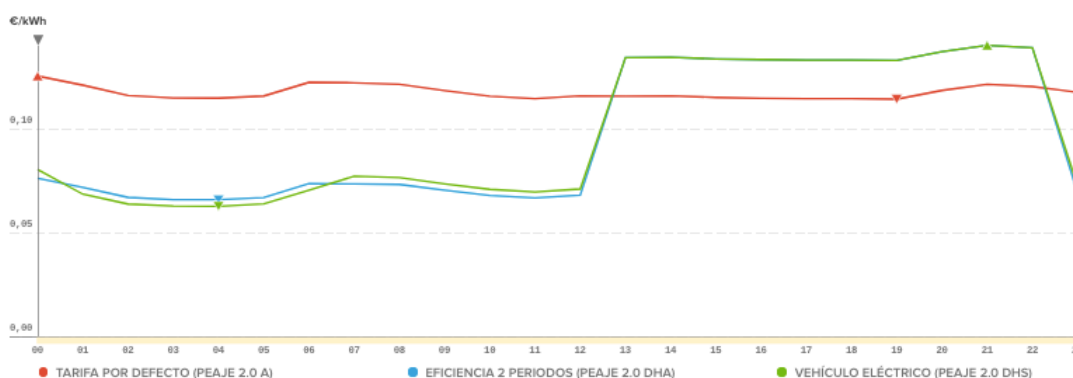


Figura 23 - Evolución PVPC para cada una de las tarifas de peajes de acceso para <10 kW (14/05/2018). Fuente: [39]

Tarifa	Periodo 1 o "Punta"	Periodo 2 o "Valle"	Periodo 3 o "Supervalle"
2.0 A	0,12		
2.0 DHS	0,14	0,08	0,06
2.0 DHS frente a 2.0 A	+17,49%	-36,44%	-48,83%

Figura 24 - Comparación entre las tarifas de peajes de acceso 2.0A y 2.0DHS en 2017. Fuente: [39]

Se puede suponer que un usuario de vehículo eléctrico racional haría uso de la tarifa 2.0 DHS y recargaría su vehículo en la medida de lo posible en las horas correspondientes al periodo 3 o supervalle. La Figura 25 muestra el Total Cost of Ownership de los vehículos analizados, considerando el precio medio en dicho periodo a lo largo de 2017 como coste de la electricidad utilizada en la recarga de los vehículos.

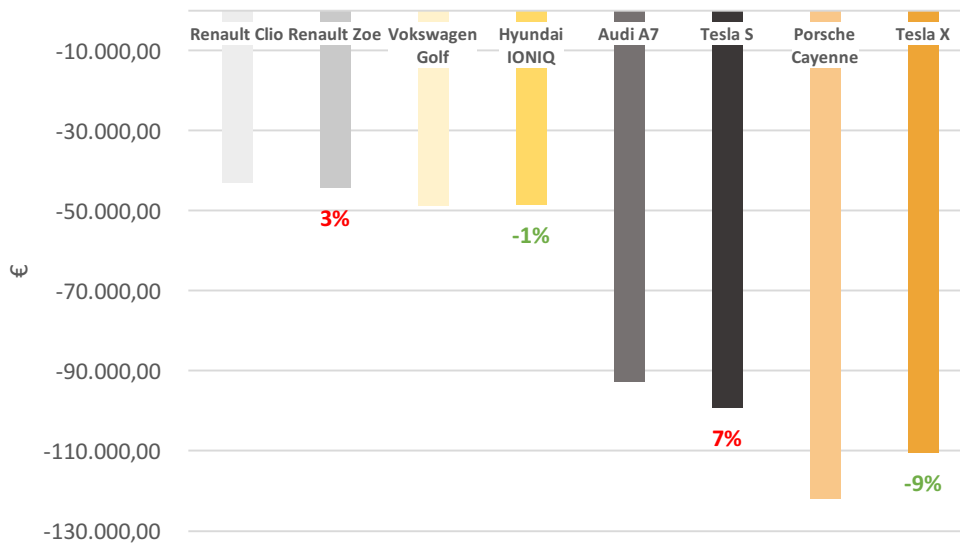


Figura 25 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión interna aplicando el periodo 3 de la tarifa 2.0 DHS de los peajes de acceso

La recarga del vehículo eléctrico en el periodo 3 o supervalle de la tarifa 2.0 DHS supone una reducción del 2% en la diferencia entre el Total Cost of Ownership de los vehículos eléctricos y su homólogo de combustión interna.

Por otro lado, se podría obtener una reducción de los peajes de acceso aplicados en el periodo 3 de la tarifa 2.0 DHS mediante una reducción de los peajes de acceso en general. La componente regulada supuso en 2017 un 53% del total abonado por los consumidores industriales a través de los peajes de acceso. La Figura 26 muestra el desglose de los costes regulados y de mercado contabilizados en la liquidación del sector eléctrico de 2017.

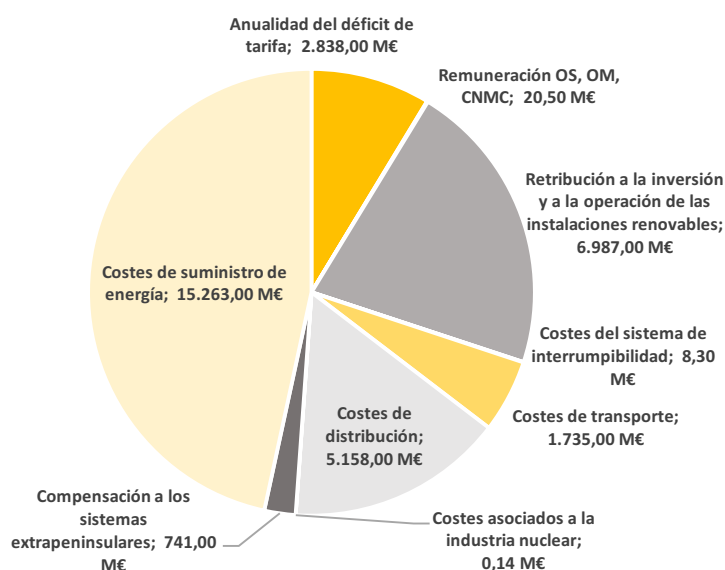
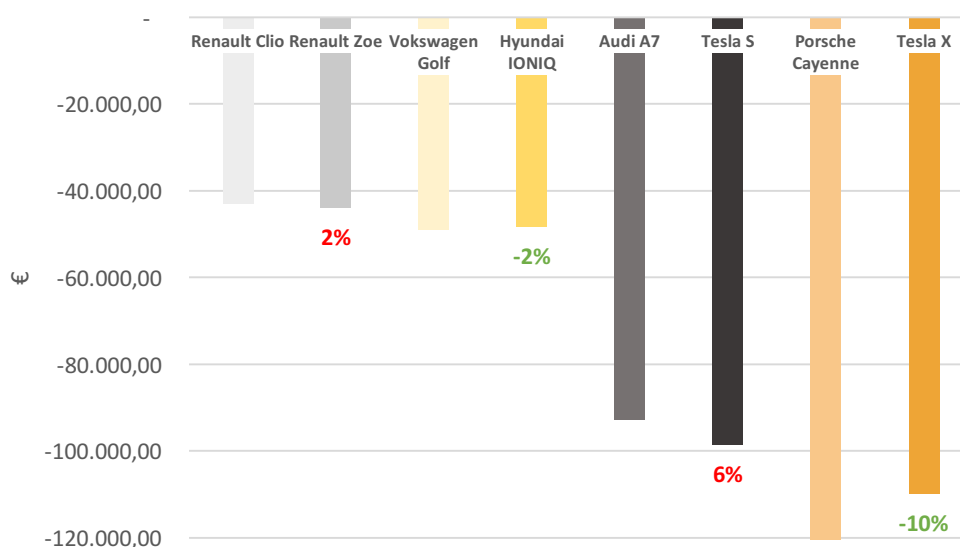


Figura 26 – Desglose de los costes regulados y de mercado contabilizados en la liquidación del sector eléctrico en 2017.

Cabe destacar que la retribución a la inversión y a la operación de las instalaciones renovables supone una parte significativa de la componente regulada. A dicho efecto, el informe del Comité de Expertos en Transición Energética propone una reestructuración del sistema de financiación de las instalaciones renovables, ya que, hasta ahora, el esfuerzo de financiar estas instalaciones ha recaído principalmente en el consumidor eléctrico. Sin embargo, de cara a electrificar la economía, los expertos proponen trasladar parte de esta carga económica a los Presupuestos Generales del Estado o repartirla entre las distintas fuentes de energía final y no únicamente la energía eléctrica.

En caso de eliminar la retribución a la inversión y a la operación de las instalaciones renovables de los peajes de acceso a la red, se obtendría una reducción adicional del PVPC del 21%, y se reduciría un 1% adicional la diferencia entre el Total Cost of Ownership de los vehículos eléctricos y su homólogo de combustión interna, tal y como se observa en la Figura 27.



*Figura 27 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión interna aplicando el periodo 3 de la tarifa 2.0 DHS de los peajes de acceso, en caso de retirar de los peajes de acceso la retribución a las instalaciones renovables.*

A la vista de que la reducción en el precio de la electricidad que permitiría al vehículo eléctrico competir con su homólogo de combustión interna (Figura 20) es en algunos casos superior al 100% y de que la diferencia que se obtiene al implantar medidas que reduzcan el coste de la recarga es reducida, se puede concluir que además de una reducción en el precio de la electricidad son necesarias otras palancas que actúen sobre el coste de inversión del vehículo eléctrico, ya que es aquel que presenta un mayor potencial de reducción. El coste de operación del vehículo eléctrico es ya de por sí inferior al de los vehículos de combustión interna.

## 7. Análisis de la variación en la utilidad percibida de incentivos/obstáculos no monetarios

El análisis inicial realizado únicamente considera los costes y beneficios económicos que supone comprar un vehículo eléctrico frente a uno de combustión interna. Por ello, no tiene en cuenta la utilidad, positiva o negativa, derivada de las ventajas y obstáculos que supone su utilización. Sin embargo, estos tienen un impacto no despreciable en el proceso de toma de decisión a la hora de elegir comprar un vehículo eléctrico o un vehículo de combustión interna.

Por ello, resulta necesario realizar una estimación del impacto monetario que pueden tener sobre el Total Cost of Ownership, de manera que se pueda incluir en el análisis global.

### **Monetización de la utilidad percibida de incentivos/obstáculos no monetarios**

Los principales obstáculos no monetarios derivados de la utilización de un vehículo eléctrico frente a uno de combustión interna son la escasa red de infraestructuras de recarga disponible en España, la reducida autonomía, y el prolongado tiempo de recarga. Por otro lado, los principales incentivos no monetarios son iniciativas municipales de acceso preferencial a zonas o carriles especiales, preferencia sobre los vehículos de combustión interna durante episodios de elevada contaminación y ventajas de aparcamiento – exención de las limitaciones del Servicio de Estacionamiento Regulado, plazas de aparcamiento accesibles reservadas para vehículos eléctricos, etc.

Para poder incorporar al análisis dichos incentivos y obstáculos no monetarios es necesario cuantificar su utilidad, en euros anuales. Para ello, se va a considerar que todos los factores considerados suponen una pérdida o ganancia de tiempo para el usuario del vehículo eléctrico.

Los incentivos no monetarios introducidos por los distintos ayuntamientos suponen una ganancia de tiempo, al reducirse el tiempo de desplazamiento y de búsqueda de aparcamiento. Sin embargo, dichas ventajas varían mucho de un municipio a otro por lo que, en aras de la simplicidad, en el análisis no se va a considerar la utilidad obtenida de los mismos.

El elevado tiempo de recarga, la reducida autonomía y la escasa infraestructura de recarga implican una pérdida de tiempo, empleado en recargar el vehículo cada menos kilómetros. Se va a considerar que esta pérdida de tiempo depende de los kilómetros recorridos y de la autonomía del vehículo eléctrico. Esta pérdida de tiempo se va a monetizar utilizando el tiempo de recarga de cada vehículo eléctrico y el sueldo medio anual en España en 2017 – 26.710 €/año [47] - de acuerdo con la Ecuación 4. Para

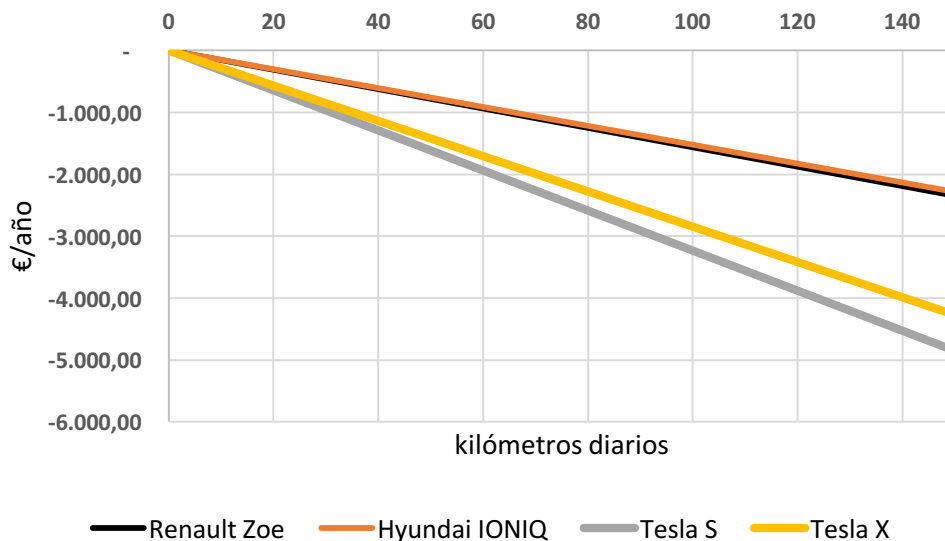
determinar el cálculo del tiempo de recarga se ha considerado un punto de recarga semi-rápida, de 7,3 kW, por ser frecuente en zonas públicas.

$$Utilidad_{ONM}(\text{€}) = - \frac{\text{distancia (km/día)}}{\text{autonomía (km)}} \cdot \frac{\text{tiempo de recarga (h)}}{8760 \text{ (h/año)}} \cdot 365 \text{ (días/año)} \cdot \text{sueldo(€/año)}$$

*Ecuación 4 - Monetización de la utilidad negativa de los obstáculos no monetarios percibidos por el usuario de un vehículo eléctrico.*

La Figura 28 muestra la utilidad anual de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico, en función del vehículo y de los kilómetros diarios recorridos.

Cabe destacar la diferencia entre los vehículos de alta gama y los de media y baja gama: la capacidad de las baterías de los vehículos de alta gama considerados, Tesla S y Tesla X, es prácticamente el doble de la capacidad de las baterías de los vehículos de baja y media gama. Sin embargo, esto no se traduce en una autonomía mucho más elevada debido a que las especificaciones técnicas propias de su gama - potencia elevada y aceleración de 0-100 reducida – requieren un consumo de electricidad en kWh/km prácticamente el doble que el consumo del Renault Zoe y el Hyundai IONIQ, tal y como se observa en la Figura 12. Por ello, el impacto del tiempo de recarga en la utilidad de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico de alta gama no se ve compensado por un aumento proporcional en la autonomía de vehículo, resultando una utilidad notablemente más negativa que en los vehículos de media y baja gama.



*Figura 28 – Utilidad anual de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico, en función del vehículo y de los kilómetros diarios recorridos.*

## Análisis y resultados

Debido a que la utilidad anual de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico depende de los kilómetros diarios recorridos, se van a definir distintos tipos de uso del vehículo, en función del número de kilómetros diarios recorridos.

En primer lugar, se va a definir el uso habitual de un turismo a partir de la distancia anual media recorrida por los españoles: en 2015 fue 12.535 km [45], por lo que el conductor medio recorre unos 35 km diarios en coche. Por otro lado, se va a definir un uso del vehículo por debajo de la media como puede darse en entornos urbanos en los que el conductor haga un uso del vehículo ocasional o para pequeños desplazamientos, considerando una media de 10 km diarios en coche. Finalmente, se va a considerar un uso del coche por encima de la media, como puede darse en desplazamientos interurbanos o taxis y vehículos con conductor, considerando una media de 100 km diarios en coche [54]. Se ha calculado el Total Cost of Ownership considerando la utilidad derivada de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico en cada uno de los posibles usos del coche y para cada uno de los vehículos eléctricos analizados.

Las Figuras Figura 29, Figura 30, y Figura 31 muestran estos resultados considerando 10, 35 y 100 km/diarios, respectivamente.

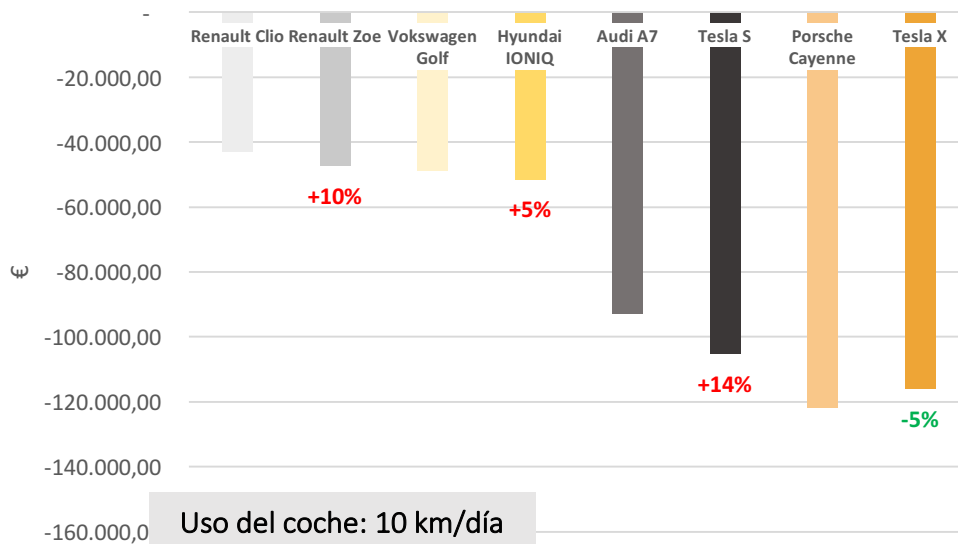


Figura 29 – Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión considerando la utilidad derivada de los obstáculos no monetarios, considerando un uso del vehículo eléctrico de 10 km/día.



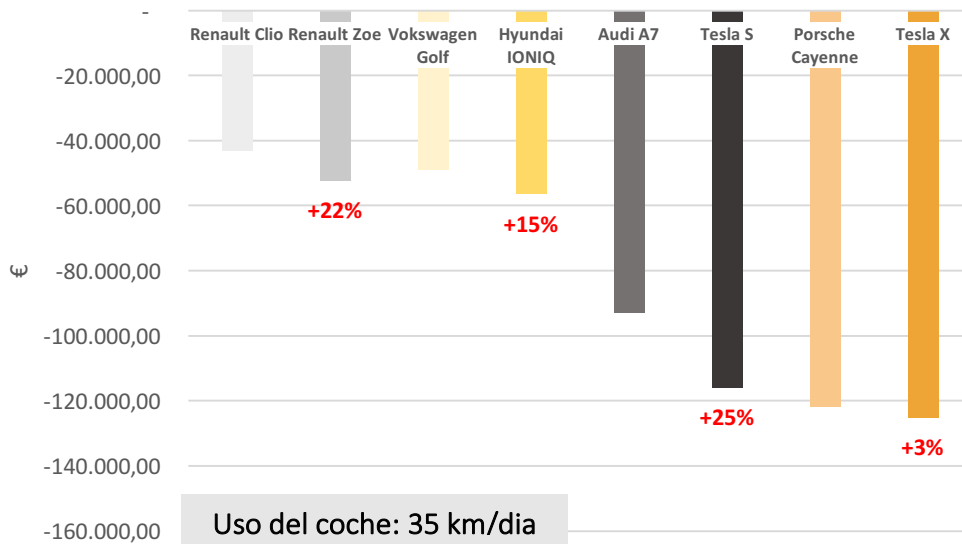


Figura 30 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión considerando la utilidad derivada de los obstáculos no monetarios, considerando un uso del vehículo eléctrico de 35 km/día.

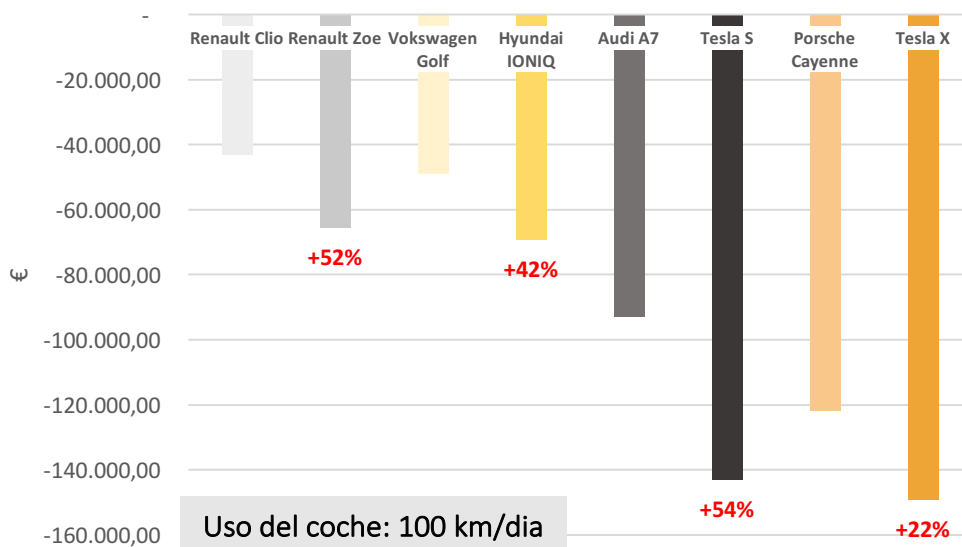


Figura 31 - Coste actual neto y variación entre vehículo eléctrico y de combustión considerando la utilidad derivada de los obstáculos no monetarios, considerando un uso del vehículo eléctrico de 100 km/día.

Se puede observar que, como se esperaba, el impacto de la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga aumenta con el número de kilómetros recorridos al día, obteniéndose un aumento en la diferencia entre el TCO de un vehículo eléctrico y uno de combustión interna del orden del 4%, cuando el uso del vehículo es ocasional o en entornos urbano. Sin embargo, para usos intensivos del vehículo, el aumento en la diferencia entre el TCO de un vehículo eléctrico y uno de combustión interna supera el 40%.

Para un uso del coche ocasional o en entorno urbano el impacto de las limitaciones de autonomía y el prolongado tiempo de recarga se podrían suplir con la utilización ocasional y por conveniencia de sistemas de recarga rápida. Sin embargo, su uso regular tiene un elevado impacto en la vida útil de las baterías por lo que no podrían utilizarse para compensar el elevado impacto que estas limitaciones suponen para un conductor que realice un uso intensivo del vehículo.

Aunque estos datos son únicamente indicativos debido a las hipótesis realizadas durante el análisis, si reflejan la gran barrera que suponen la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga para la adopción a gran escala del vehículo eléctrico en España.

## 8. Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas del proceso de análisis del Capítulo 3 se detallan a continuación.

### **Conclusiones generales**

- Sin considerar el efecto de los incentivos u obstáculos no monetarios existentes, a día de hoy, el Total Cost of Ownership del vehículo eléctrico en las gamas baja, media y alta es superior al Total Cost of Ownership del vehículo de combustión interna de su misma categoría. En los escenarios analizados, el coste de recarga y mantenimiento del vehículo eléctrico no resulta sustancialmente inferior al coste de combustible y mantenimiento de un vehículo de combustión interna, por lo que el ahorro derivado de un menor coste de recarga y mantenimiento del vehículo no es suficiente para compensar la diferencia de precio inicial entre vehículos.
- En el caso del deportivo 4x4, el elevado consumo de combustible requerido se traduce en un Total Cost of Ownership superior al de su homólogo eléctrico.

### **Sobre el precio del vehículo eléctrico**

- Sin considerar el efecto de los incentivos u obstáculos no monetarios existentes, el coste medio de batería de ion-litio que permitiría alcanzar la paridad en términos de Total Cost of Ownership entre los vehículos eléctricos y de combustión interna sería 104 €/kWh, lo que de acuerdo con el informe Bloomberg Energy Finance ocurriría en 2022.
- En el corto plazo, el regulador podría subvencionar parte del coste inicial del vehículo. Sin embargo, las subvenciones directas del estado español a la compra de vehículos eléctricos no son de aplicación para vehículos cuyo precio antes de impuestos supere los 32.000 € y la partida presupuestaria destinada a dichas ayudas es insuficiente para

lograr una sustitución apreciable de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos. Existe potencial de mejora en el caso de las subvenciones directas a la compra de vehículos eléctricos.

### **Sobre los impuestos aplicado a hidrocarburos**

- Aumentar los impuestos especiales de aplicación sobre hidrocarburos permitiría reducir la diferencia existente en términos de Total Cost of Ownership entre los vehículos eléctricos y sus homólogos de combustión interna.
- En el caso de los vehículos de gamas baja y media, situar los impuestos especiales en el entorno de los de Italia y Holanda – los más elevados de la Unión Europea – prácticamente eliminaría dicha diferencia.
- En el caso de vehículos de gama alta serían necesarios incentivos adicionales para compensar el coste adicional que supone la adquisición de un vehículo eléctrico.

### **Sobre el precio de la electricidad**

- La reducción del precio de la electricidad que permitiría al vehículo eléctrico competir con su homólogo de combustión interna es en algunos casos superior al 100%.
- La mejora que se obtiene al implantar medidas que reduzcan el coste de la recarga es reducida, debido al escaso potencial de reducción del coste de operación del vehículo eléctrico, ya de por sí inferior al de los vehículos de combustión interna.

### **Sobre la utilidad percibida de incentivos y obstáculos no monetarios**

- Los incentivos no monetarios introducidos por los distintos ayuntamientos suponen una ganancia de tiempo, al reducirse el tiempo de desplazamiento y de búsqueda de aparcamiento. Sin embargo, dichas ventajas son escasas, heterogéneas y varían mucho de un municipio a otro de España, y no se han tenido en cuenta.
- El impacto del tiempo de recarga en la utilidad de los obstáculos no monetarios percibida por el usuario de un vehículo eléctrico de alta gama y 4x4 no se ve compensado por un aumento proporcional en la autonomía de vehículo, resultando una utilidad notablemente más negativa que en los vehículos de media y baja gama: la capacidad de las baterías de los vehículos de alta gama considerados es prácticamente el doble de la capacidad de las baterías de los vehículos de baja y media gama. Sin embargo, esto no se traduce en una autonomía mucho más elevada debido a que las especificaciones técnicas propias de su gama requieren un consumo de electricidad en kWh/km mucho mayor.

- El impacto de la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga aumenta con el número de kilómetros recorridos al día. Para un uso del coche ocasional o en entorno urbano el impacto de las limitaciones de autonomía y el prolongado tiempo de recarga se podrían suplir con la utilización ocasional y por conveniencia de sistemas de recarga rápida. Sin embargo, su uso regular tiene un elevado impacto en la vida útil de las baterías por lo que no podrían utilizarse para compensar el elevado impacto que estas limitaciones suponen para un conductor que realice un uso intensivo del vehículo.
- La reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga suponen una gran barrera para la adopción a gran escala del vehículo eléctrico en España.

## Capítulo 4

# Impacto económico en el sector público de una elevada penetración de vehículos eléctricos

### 1. Impacto en la balanza comercial

#### Introducción

La balanza comercial de un país recoge todos los ingresos de un país derivados de las exportaciones de bienes y mercancías, así como los pagos realizados como consecuencia de las importaciones de bienes y mercancías [55]. Se habla de superávit comercial cuando el valor de las exportaciones es superior al de las importaciones, lo que supone una entrada de recursos económicos en el país. Se habla de déficit comercial cuando el valor de las importaciones es superior al de las exportaciones, lo que puede afectar a la actividad económica de un país.

En 2017, la balanza comercial española registró un déficit de 26.663,7 M€ [56]. En la Figura 32 se muestra la evolución de la balanza comercial española desde 1990. Como se puede observar, España es un país netamente importador. Sin embargo, este déficit se compensa con el superávit que se obtiene de la balanza de servicios, gracias a la actividad turística [57].

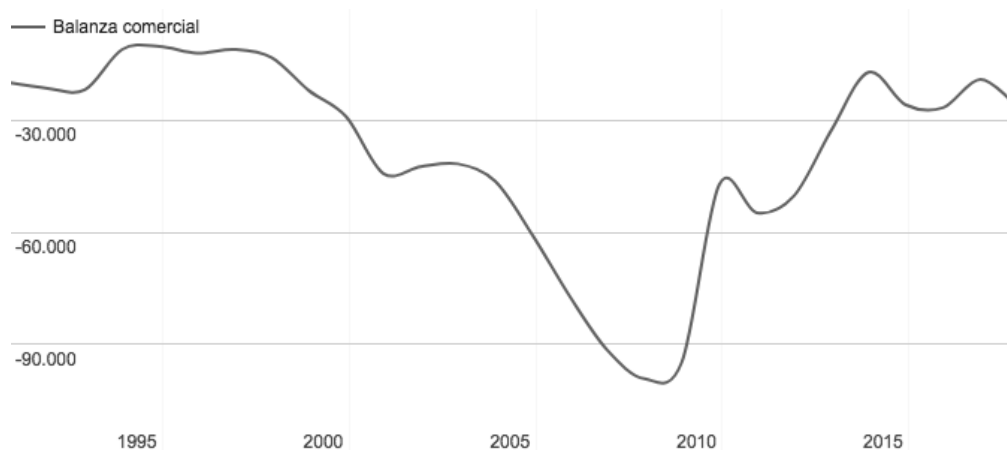


Figura 32 - Balanza comercial española 1990-2017 en millones de euros. Fuente: [56]

La Figura 33 muestra las importaciones y exportaciones españolas en 2017 y el desglose de los 20 productos más relevantes. Se puede observar que la importación de combustibles y lubricantes supone un 12,6% de las importaciones totales realizadas por España en 2017.

Exportaciones	Millones de €	%	Importaciones	Millones de €	%
Otros	116.175,24	41,9%	Otros	110.736,80	36,7%
Automóviles	38.414,10	13,9%	Productos químicos	39.481,30	13,1%
Productos químicos	31.438,60	11,3%	Combustibles y lubricantes	37.959,50	12,6%
Componentes de automoción	18.029,20	6,5%	Componentes de automoción	24.624,80	8,2%
Combustibles y lubricantes	14.371,20	5,2%	Automóviles	21.070,10	7,0%
Prendas textiles de vestir	11.299,70	4,1%	Prendas textiles de vestir	14.570,30	4,8%
Productos de fundición y siderúrgicos	10.230,70	3,7%	Electrónica e informática	12.469,50	4,1%
Frutas	7.515,30	2,7%	Productos de fundición y siderúrgicos	10.536,20	3,5%
Productos semielaborados metálicos no ferrosos	6.071,60	2,2%	Material eléctrico	6.339,50	2,1%
Hortalizas	5.839,30	2,1%	Pescados y mariscos	5.721,20	1,9%
Material eléctrico	5.213,50	1,9%	Minerales	5.274,10	1,7%
Minerales	4.502,90	1,6%	Productos semielaborados metálicos no ferrosos	4.594,20	1,5%
Equipos de navegación aérea	4.093,10	1,5%	Equipamientos de navegación aérea	4.408,20	1,5%
Aceite de oliva	3.931,30	1,4%	Electrodomésticos	4.084,30	1,4%
Total	277.125,74	100%	Total	301.870,00	100%

*Figura 33 - Exportaciones e importaciones españolas en 2017. Desglose de los 20 primeros productos. Fuente: [58]*

Dada la elevada proporción de los combustibles y lubricantes en el total de las importaciones españolas, el objetivo de esta sección es analizar cómo se vería afectada la balanza comercial española en distintos escenarios de penetración del vehículo eléctrico en el parque móvil español.

#### Cambios en la balanza comercial debido a la penetración del vehículo eléctrico

Las importaciones y exportaciones relacionadas con la automoción a día de hoy se pueden dividir en tres partes: importación y exportación de automóviles, importación y exportación de componentes de automoción e importación y exportación de combustibles. En aras de la simplicidad, la exportación e importación de automóviles y de componentes de automoción se puede suponer constante en los distintos escenarios de penetración de vehículos eléctricos, debido a que dependerá de las decisiones de la industria sobre si importar los nuevos componentes necesarios o fabricarlos en España.

En cuanto a la importación y exportación de combustibles, la producción interior de crudo en España y las exportaciones de productos petrolíferos son poco relevantes, por lo que el análisis se centrará en las importaciones. España importó, en 2016, 64,17 millones de toneladas de crudo, de las cuales el 53% fue refinado en España para producir gasolinas

y gasóleo y consumido por el sector del transporte por carretera. En 2016, el sector del transporte por carretera consumió 9,4 millones de toneladas de gasolinas y 26,4 millones de toneladas de gasóleo, procedentes de crudo importado [59]. Según los Presupuestos Generales del Estado, el valor de las importaciones de crudo en 2017 se situaría en el entorno de los 25.610,92 millones de euros [60]. El valor de las importaciones de crudo derivadas del transporte por carretera se puede estimar en 13.573,3 millones de euros. Estos datos orientativos se utilizarán para validar el análisis posterior.

Una elevada penetración de vehículos eléctricos supondrá una reducción en las importaciones de crudo, pero a su vez, supondrá un aumento de la demanda eléctrica, y con ello, de las importaciones de otros combustibles utilizados para la producción de electricidad. Por tanto, el impacto de distintos niveles de penetración de vehículos eléctricos en la balanza de pagos dependerá, en última instancia, del mix energético utilizado en España para cubrir la demanda. La Figura 34 muestra el mix de generación eléctrica español utilizado para la cobertura de la demanda en 2017.

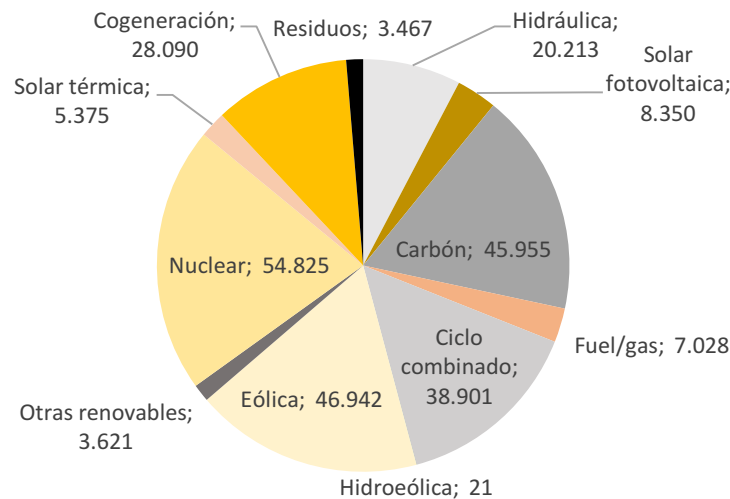


Figura 34 - Cobertura de la demanda eléctrica por tecnologías en 2017, en GWh. Fuente: [41]

De la energía producida en 2017 en España, el 33,5% utilizó recursos nacionales (hidráulica, residuos, eólica, solar, etc.) y el 66,5% utilizó recursos importados (28,2% gas, 20,9% uranio, 17,5% carbón). Una mayor cobertura de la demanda por energías renovables y residuos supondría una reducción aún mayor de la balanza comercial debido a una elevada penetración de vehículos eléctricos. Por ello, se va a analizar el impacto en la balanza comercial en distintos escenarios de penetración de vehículo eléctrico y de renovables en el mix de generación.

Así, el saldo derivado de las importaciones y exportaciones de combustibles asociadas a los vehículos de combustión interna y eléctricos se puede expresar según la Ecuación 5, donde D es la distancia anual recorrida por el vehículo, C es el consumo de combustible o electricidad anual,  $\eta$  es el rendimiento o factor de conversión entre la cantidad de combustible y la electricidad producida y P es el precio del combustible.

$$\begin{aligned}
\text{Saldo}_{\text{Comb}} (\text{€}) = & \\
= \sum_{n_{\text{ELEC}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{elec}} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right] & \left( 0,282 \cdot \eta_{\text{gas}} \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{kWh}} \right] \cdot P_{\text{gas}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] + 0,209 \cdot \eta_{\text{uranio}} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{kWh}} \right] P_{\text{uranio}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] + 0,175 \cdot \eta_{\text{carbón}} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{kWh}} \right] P_{\text{carbón}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] \right) + \\
& + \sum_{n_{\text{VCI,gasolina}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{gasolina}} \left[ \frac{\text{l}}{\text{km}} \right] \cdot \eta_{\text{gasolina}} \left[ \frac{\text{barril crudo}}{\text{l}} \right] \cdot P_{\text{crudo}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{barril}} \right] + \\
& + \sum_{n_{\text{VCI,diesel}}} D \left[ \frac{\text{km}}{\text{año}} \right] C_{\text{diesel}} \left[ \frac{\text{l}}{\text{km}} \right] \cdot \eta_{\text{diesel}} \left[ \frac{\text{barril crudo}}{\text{l}} \right] P_{\text{crudo}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{barril}} \right] +
\end{aligned}$$

*Ecuación 5 - Saldo derivado de las importaciones de combustibles asociadas a los vehículos de combustión interna y eléctricos.*

Los parámetros utilizados para el estudio y sus fuentes se detallan en la Figura 35

Parámetro	Valor	Fuente
Nº de turismos en España	22.355.022 vehículos	Memoria ANFAC 2016 [10]
Cuota de mercado vehículos gasolina	49,6 % sobre total de vehículos de combustión interna	El Economista [60]. Dato enero 2018
Cuota de mercado vehículos diésel	50,4 % sobre total de vehículos de combustión interna	
Distancia anual recorrida	12.535 km	Proyecto Odyssee-Mure [45]
Consumo medio vehículo eléctrico	0,15 kWh/km	Promedio de los vehículos estudiados en el Capítulo 3
Consumo medio vehículo de combustión interna	0,06 l/km	Promedio de los vehículos estudiados en el Capítulo 3
% Generación eléctrica procedente de uranio	20,9 %	ESIOS [41]. Dato 2017
% Generación eléctrica procedente de gas natural	28,2 %	ESIOS [41]. Dato 2017
% Generación eléctrica procedente de carbón	17,5 %	ESIOS [41]. Dato 2017
Factor de conversión uranio a electricidad	2,35e-9 tonelada/kWhe	Foro Nuclear de la Industria Española [61]
Valor calorífico carbón de hulla (PCI)	6277,8 kWh/tonelada	IDAE.es [62]
Rendimiento de una central de carbón	0,35 kWhe/kWht	
Factor de conversión de carbón a electricidad	4,55e-4 tonelada/kWhe	Cálculo
Rendimiento de una central de ciclo combinado	0,55 kWhe/kWht	
Factor de conversión de gas a electricidad	18e-4 MWht/MWhe	Cálculo
Precio uranio	17,5 €/tonelada	Expansión – Datos macro [64]. Dato junio 2017
Precio carbón	50,89 €/tonelada	BP Energy [65]. Dato API 2 2016.
Precio gas	13,62 €/MWht	BP Energy [65]. Dato NBP 2016.
Precio crudo	48,05 €/bbl	Expansión – Datos macro [64]. Dato Brent 2017
Factor de conversión barril de crudo a litro de gasolina	0,0132 bbl/l	U.S. Energy Information Administration. [66]
Factor de conversión barril de crudo a litro de diésel	0,024 bbl/l	U.S. Energy Information Administration. [66]

*Figura 35 - Parámetros utilizados para el estudio.*



A partir de la Ecuación 5 y los parámetros desglosados en la Figura 35, se obtiene que el saldo asociado a la importación de combustibles en el caso actual (0,3% de penetración de vehículo eléctrico, 33,5% de cobertura de la demanda por recursos renovables) es de 15.838 millones de euros, por lo que el orden de magnitud obtenido es aceptable y permite evaluar la variación del total de las importaciones. Se ha analizado la variación del total de las importaciones de combustibles asociadas al transporte por carretera en distintos escenarios de penetración de renovables en el mix de generación eléctrica. La Figura 36 muestra los resultados obtenidos.

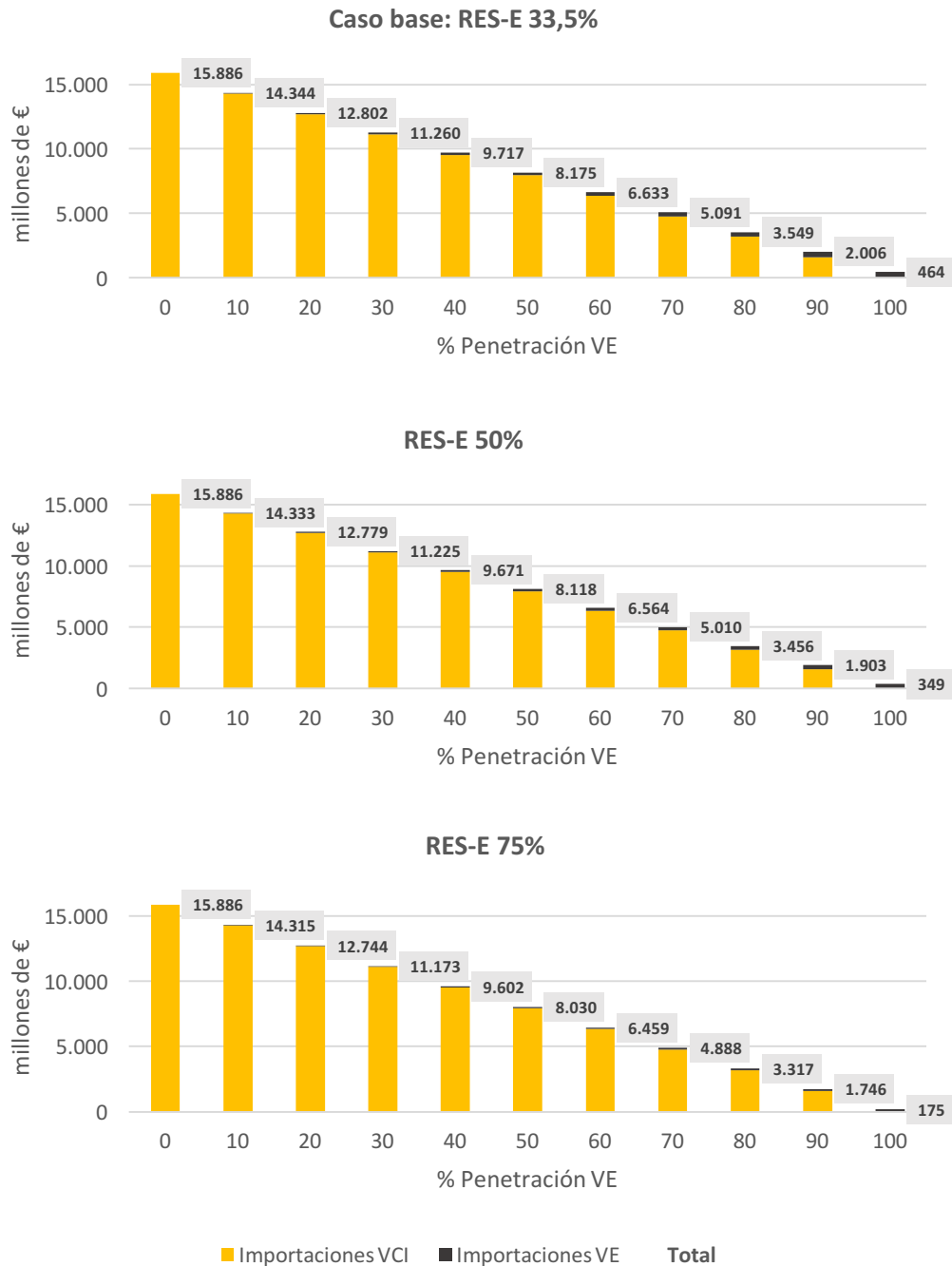


Figura 36 – Variación del valor de las importaciones en distintos escenarios de penetración de vehículo eléctrico y de energías renovables en el mix de generación.

Se puede observar que, en todos los escenarios, las importaciones asociadas a los combustibles consumidos por el transporte por carretera descienden linealmente con la penetración de vehículos eléctricos, debido a que el vehículo eléctrico consume menos combustibles fósiles importados y a un menor precio. España es un país netamente importador, y aunque el déficit de la balanza comercial se compensa principalmente con el superávit de la balanza de servicios, gracias a los ingresos derivados del turismo, una reducción de las importaciones permitiría limitar la salida de recursos económicos del país. Además, reducir las importaciones de crudo permitiría reducir la exposición de la economía española a las variaciones de precio del petróleo, el cual está sometido a tensiones geopolíticas y puede ser muy volátil.

Por otro lado, dentro del marco sobre clima y energía de la Unión Europea para 2030, se establece un objetivo de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 40% sobre los niveles de 1999 y un objetivo de penetración de energías renovables sobre el total de la energía consumida en la UE del 27%. En 2016, únicamente el 13,9% de la energía final consumida en España procedía de energías renovables. Además, el sector del transporte cuenta con un elevado potencial de reducción debido a su elevada dependencia de productos petrolíferos. Por todo ello, cabe destacar el elevado potencial de los vehículos eléctricos para reducir el consumo de combustibles fósiles, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y aumentar la penetración de renovables sobre el total de la energía consumida.

Finalmente, cabe destacar que la industria de la automoción en España, considerando fabricantes de vehículos y su industria auxiliar exportó netamente casi 8.000 millones de euros en 2016, además de ser uno de los principales sectores generadores de empleo. Las importaciones asociadas a automóviles y componentes de automoción dependerán en gran medida del papel de la industria española en el proceso de transformación de parque móvil español. Por ello, el informe de la Comisión de Expertos de Transición Energética [51] destaca la importancia de que la industria del automóvil española abandere la transición hacia la movilidad eléctrica y se mantenga como uno de los principales sectores económicos del país.

## Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas del análisis sobre el impacto de distintos niveles de penetración de vehículo eléctrico en la balanza comercial española se resumen a continuación:

- España es un país netamente importador. La importación de combustibles y lubricantes supuso un 12,6% de las importaciones en 2016.
- Una elevada penetración de vehículos eléctricos supondrá una reducción en las importaciones de crudo, pero a su vez, supondrá un aumento de la demanda eléctrica, y con ello, de las importaciones de otros combustibles utilizados para la producción

de electricidad. De la energía producida en 2017 en España, el 33,5% utilizó recursos nacionales (hidráulica, residuos, eólica, solar, etc.) y el 66,5% utilizó recursos importados (28,2% gas, 20,9% uranio, 17,5% carbón).

- En todos los escenarios de penetración de renovables, las importaciones asociadas a los combustibles consumidos por el transporte por carretera descienden linealmente con la penetración de vehículos eléctricos, debido a que el vehículo eléctrico consume significativamente menos combustibles importados y a un menor precio.
- Reducir las importaciones de crudo permitiría reducir la exposición de la economía española a las variaciones de precio del petróleo, el cual está sometido a tensiones geopolíticas y puede ser muy volátil.
- El sector del transporte en España presenta un elevado potencial de mejora en cuanto a la penetración de energías renovables, debido a su elevada dependencia de productos petrolíferos. Los vehículos eléctricos son una clara herramienta para reducir el consumo de combustibles fósiles, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y aumentar la penetración de renovables sobre el total de la energía consumida.
- Es crucial que la industria del automóvil en España abandere la transición hacia la movilidad eléctrica, de forma que se mantenga como uno de los principales sectores económicos del país.

## 2. Impacto en los ingresos públicos

### Introducción

Una elevada penetración de vehículos eléctricos en el parque móvil español podría tener un impacto en los ingresos obtenidos por el Estado a partir de los impuestos debido una reducción significativa en partidas muy relevantes como la procedente del Impuesto Especial sobre Hidrocarburos.

El objetivo de esta sección es cuantificar la variación que se produciría en los ingresos públicos debido a una elevada penetración de vehículos eléctricos. Para ello, se analizarán los impuestos asociados a la compra y uso a lo largo de la vida útil de un vehículo de combustión interna frente a un vehículo eléctrico, en base a la fiscalidad existente actualmente.

### Principales impuestos asociados a la compra y uso de un vehículo.

En esta sección se van a describir los distintos tributos a los que debe hacer frente el comprador de un vehículo, ya sea de combustión interna o eléctrico, a lo largo de la vida útil del vehículo.

## Impuesto sobre el Valor Añadido

El Impuesto sobre el Valor Añadido o IVA es un tributo indirecto que grava el consumo y está regulado por la Ley 37/1992, de 28 de diciembre. Se paga en el momento de la compra del vehículo. Con carácter general, el tipo impositivo del IVA será del 21% y la base imponible será el importe total de la compra del vehículo. A día de hoy no existen exenciones o reducciones en los tipos impositivos para la adquisición de vehículos eléctricos, aunque las asociaciones del sector de la automoción reclaman lo que consideran una medida imprescindible para garantizar la competitividad del sector [67]. En el caso de los hidrocarburos o la electricidad, el IVA se aplica sobre el precio final, incluyendo los Impuestos Especiales sobre Hidrocarburos y sobre la Electricidad, respectivamente.

Debido a que el precio de compra de los vehículos eléctricos es actualmente superior al de los vehículos de combustión interna, se puede esperar un aumento de la recaudación por esta vía debido a un aumento de la penetración de vehículos eléctricos, mientras no se introduzcan nuevas ventajas fiscales.

## Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte (*Impuesto de matriculación*)

El impuesto especial sobre determinados medios de transporte, también conocido como impuesto de matriculación, se paga en el momento de la matriculación y se regula mediante la Ley 38/1992 de 28 de diciembre de Impuestos Especiales.

La base imponible del Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte en los medios de transporte nuevos será la misma que para el Impuesto sobre el Valor Añadido. Se establecen distintos tipos impositivos, entre el 0% y el 12%, en base a las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por el vehículo, los cuales pueden ser aumentados por las Comunidades Autónomas hasta en un 15% [68]. De acuerdo con esto, los vehículos eléctricos o híbridos cuentan con un ahorro sustancial en el impuesto de matriculación, pudiendo llegar a ser gratuito si las emisiones son inferiores a 120 g/km [33]. La Figura 37 muestra el tipo impositivo correspondiente en función de las emisiones del vehículo en g/km.

Emisiones (g/km)	Tipo impositivo (%)
<120	0
Entre 120 y 160	4,75
Entre 160 y 200	9,75
>200	14,75

Figura 37 - Tipo impositivo del impuesto especial sobre determinados medios de transporte en función de las emisiones del vehículo. Fuente: [33]

Por tanto, bajo la fiscalidad actual, se puede esperar una reducción de la recaudación obtenida por esta vía debido a un aumento de la penetración de vehículos eléctricos.

## Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica (*Impuesto de circulación*)

El impuesto sobre vehículos de tracción mecánica, también conocido como impuesto de circulación, es un impuesto municipal que grava la titularidad de los vehículos de tracción mecánica para circular por la vía pública. El impuesto se define como una cuota anual en función del tipo de vehículo, sobre el que los ayuntamientos podrán aplicar una bonificación de hasta el 75% en función de la clase de carburante y el tipo de motor utilizado, en caso de que sea beneficioso para el medio ambiente [32].

Debido a su carácter municipal, para el presente estudio se van a considerar las cuotas anuales definidas por el Ayuntamiento de Madrid para cada tipo de vehículo. La ordenanza fiscal sobre el Impuesto sobre el Vehículo de Tracción Mecánica del 9 de octubre de 2001 del Ayuntamiento de Madrid define las tarifas para turismos en base a los caballos fiscales, tal y como se muestra en la Figura 38.

Potencia fiscal	Euros
Menos de 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

Figura 38 – Tarifas del Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica aplicables a turismos en el Ayuntamiento de Madrid. Fuente: [69].

Según la misma ordenanza, los vehículos eléctricos cuentan con una bonificación del 75% en la cuota del impuesto a lo largo de la vida útil del vehículo. Por tanto, bajo la fiscalidad actual, se puede esperar una reducción de la recaudación por esta vía debido a un aumento de la penetración de vehículos eléctricos.

En el caso de los vehículos de combustión interna, los caballos fiscales se obtienen, tal y como se indica en el Real Decreto 2822/1998 de 23 de diciembre, a partir de la cilindrada del motor  $C$  en  $\text{cm}^3$ , el número de cilindros  $N$  y un coeficiente  $T$  que depende del tipo de motor ( $T=0,08$  para motores de cuatro tiempos y  $T=0,11$  para motores de dos tiempos), según se indica en la Ecuación 6.

$$P_{fiscal} = T \cdot \left(\frac{C}{N}\right)^{0,6} \cdot N$$

Ecuación 6 - Potencia fiscal en caballos fiscales a partir de las especificaciones del motor de un vehículo de combustión interna. Fuente: [70]

En el caso de los vehículos eléctricos, los caballos fiscales se obtienen, tal y como se indica en el Real Decreto 2822/1998 de 23 de diciembre, a partir de la potencia efectiva determinada por el Laboratorio Oficial designado administrativamente, según se indica en la Ecuación 7.

$$P_{fiscal} = \frac{P_e}{5,152}$$

Ecuación 7 - Potencia fiscal en caballos fiscales a partir de las especificaciones del motor de un vehículo eléctrico. Fuente: [70]

## Impuesto sobre Hidrocarburos

El Impuesto sobre Hidrocarburos es un impuesto indirecto que grava el consumo de cualquier producto como carburante, es decir, con fines de combustión en cualquier tipo de motor; y el consumo de un hidrocarburo como combustible con fines de calefacción [33].

La base imponible del impuesto será el volumen de producto, expresado en miles de litros a 15°C. En el caso de que el tipo impositivo se establezca por unidades de peso o energía, la base imponible será el peso del producto en toneladas métricas o su poder energético en gigajulios. El tipo impositivo se divide en dos tramos, uno estatal y uno autonómico. El tramo autonómico permite que las Comunidades Autónomas que lo deseen graven suplementariamente el uso de ciertos hidrocarburos. El tramo estatal se divide a su vez en dos tipos impositivos: tipo general y tipo especial.

En este análisis resulta de interés determinar los tipos general, especial y autonómicos de aplicación para la gasolina sin plomo y el gasóleo para su uso como carburante, y del gas natural, para su uso en procesos de generación de electricidad. La Figura 39 muestra los tipos impositivos de aplicación en 2018 en la Comunidad de Madrid.

Producto	Tipo general	Tipo especial	Tipo autonómico
Gasolina sin plomo 95	400,69 €/1000 litros	24 €/1000 litros	17 €/1000 litros
Diésel	307 €/1000 litros	24 €/1000 litros	17 €/1000 litros
Gas natural	0,65 €/GJ	-	-

*Figura 39 - Tipos impositivos general, especial y autonómico de aplicación en la Comunidad de Madrid en 2018. Fuente: [33] [71].*

El total general de los impuestos devengados en 2016 en España alcanzó los 106.187 millones de euros, de los cuales, 3.787 millones de euros (un 3,57 %) procedían de los impuestos anuales devengados por el Impuesto Especial sobre Hidrocarburos. A su vez, del orden de 3.220 millones de euros - más de un 85% de la partida procedente del Impuesto Especial sobre Hidrocarburos - se debieron al consumo de gasolinas y gasóleos por el sector de la automoción [72].

La Figura 40 muestra el desglose por partidas de los ingresos tributarios del estado español en 2016.

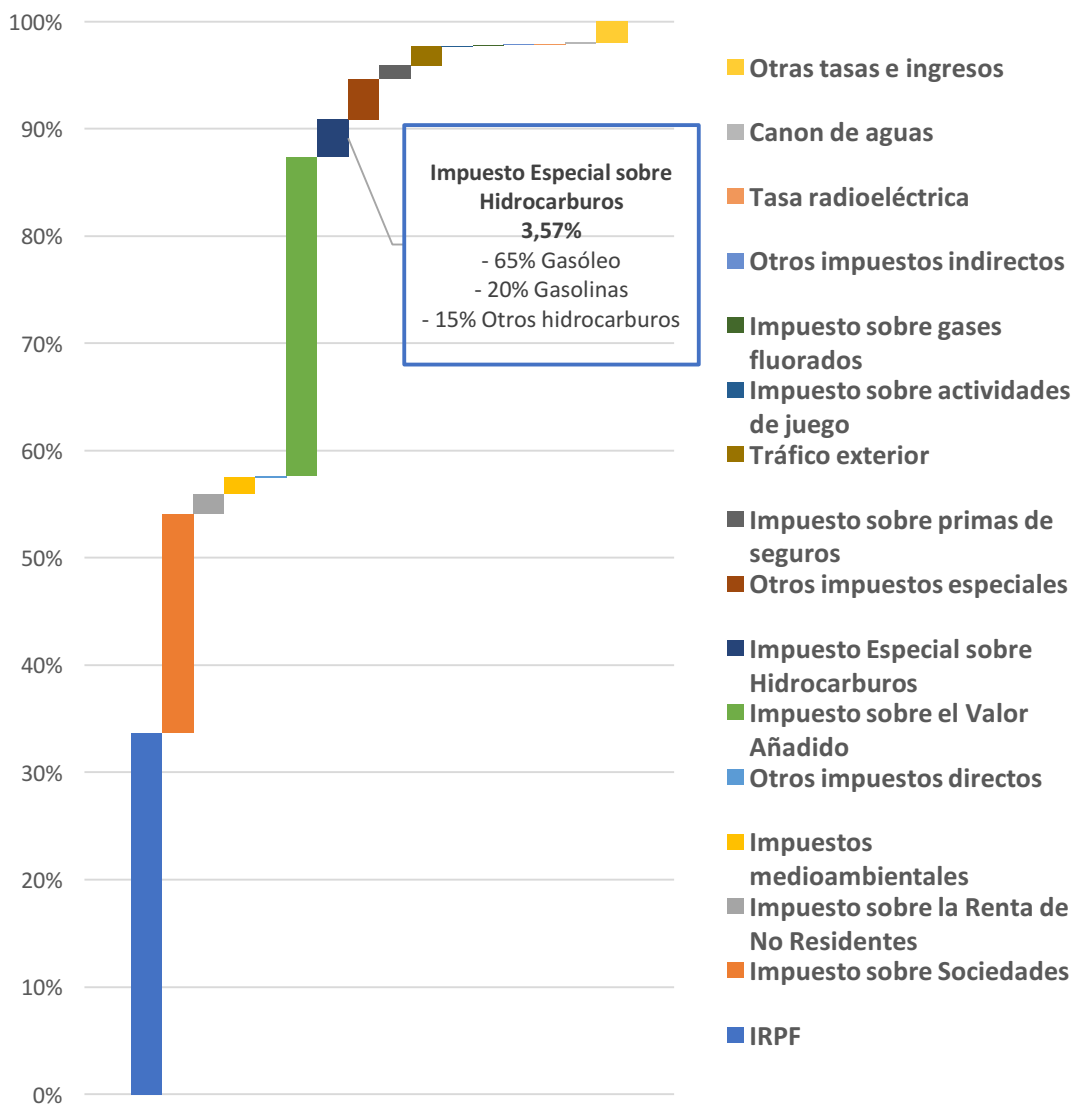


Figura 40 – Ingresos tributarios por partidas en España en el año 2016. Fuente: [72]

Cabe destacar que el Impuesto Especial sobre Hidrocarburos supone un 41,5% de los Impuestos Especiales, la cuarta fuente de ingresos tributarios del Estado después de los ingresos procedentes del IVA, IRPF e Impuesto sobre Sociedades.

Un aumento de la penetración de vehículos eléctricos supondría una reducción de la recaudación procedente del Impuesto Especial a los Hidrocarburos aplicados a gasolinas y gasóleos para la automoción, y a su vez, un aumento de la recaudación procedente del Impuesto Especial a los Hidrocarburos aplicados al gas natural, debido al aumento en la producción de energía eléctrica requerido para satisfacer la demanda de electricidad de los vehículos eléctricos.

## **Impuesto Especial sobre el Carbón**

El Impuesto Especial sobre el Carbón es un impuesto indirecto que grava, entre otros, la utilización o consumo del carbón para la producción de energía eléctrica.

La base imponible del impuesto será el poder energético del carbón, expresado en gigajulios. El tipo impositivo de aplicación para el consumo de carbón para la producción de electricidad será de 0,65 €/gigajulio [33].

En 2016, los impuestos devengados por el Impuesto Especial sobre el Carbón sumaron 229 millones de euros, lo que supone un 2,96% sobre el total de los Impuestos Especiales y un 0,22% sobre el total de los ingresos tributarios del Estado en 2016 [72]. Un aumento de la penetración de vehículos eléctricos supondría un aumento de la recaudación procedente del Impuesto Especial sobre el Carbón, debido al aumento en la producción de energía eléctrica requerido para satisfacer la demanda de electricidad de los vehículos eléctricos.

## **Impuesto Especial sobre la Electricidad**

El Impuesto Especial sobre la Electricidad es un impuesto indirecto que grava el suministro de energía eléctrica para su consumo, así como el autoconsumo de electricidad procedente de instalaciones superiores a 100 kW.

La base imponible del impuesto será la misma sobre la que se aplique el Impuesto Sobre el Valor Añadido para el suministro de energía eléctrica. La base liquidable será un 85% de la base imponible cuando el suministro de energía se destine a actividades industriales electrointensivas como procesos metalúrgicos o electrolíticos. El tipo impositivo será del 5,11269632%, siempre y cuando las cuotas resultantes no sean inferiores a 0,5 €/MWh, cuando la electricidad se destine a usos industriales, y 1 €/MWh, cuando la electricidad se destine a otros usos [33].

En 2016, los impuestos devengados por el Impuesto Especial sobre la Electricidad sumaron 123 millones de euros, lo que supone un 1,59% sobre el total de los Impuestos Especiales y un 0,12% sobre el total de los ingresos tributarios del Estado en 2016 [72]. Un aumento de la penetración de vehículos eléctricos supondría un aumento de la recaudación procedente del Impuesto Especial sobre la Electricidad, debido al aumento de la demanda de electricidad.

## **Impuesto sobre el Valor de la Producción de la Energía Eléctrica (IVPEE)**

El impuesto sobre el Valor de la Producción de la Energía Eléctrica (IVPEE) grava la realización de actividades de generación e incorporación de energía al sistema eléctrico. La base imponible serán los ingresos totales brutos que le corresponda percibir



a la instalación en cuestión, por la producción e incorporación al sistema eléctrico de energía eléctrica, medida en barras de central, en el periodo impositivo. El tipo impositivo será del 7%.

En 2016, los impuestos devengados por el Impuesto sobre el Valor de la Producción de la Energía Eléctrica sumaron 1.285 millones de euros, lo que supone un 1,21% sobre el total de los ingresos tributarios del Estado en 2016. Un aumento de la penetración de vehículos eléctricos supondría un aumento de la recaudación procedente del IVPEE, debido al aumento en la producción de energía eléctrica requerido para satisfacer la demanda de electricidad de los vehículos eléctricos.

### **Otros impuestos**

Además de los impuestos mencionados, existen otros impuestos relacionados con la producción de electricidad, que, por su carácter específico y su reducido impacto en los Ingresos del Estado, no se van a considerar en el estudio:

#### *Canon por utilización de las aguas continentales para la producción de energía eléctrica en las demarcaciones intercomunitarias*

El comúnmente llamado “canon hidráulico” se introdujo por primera vez en la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética, dentro de la reforma regulatoria del sector que tuvo lugar en 2012 y 2013 con el objetivo de resolver el problema asociado a la acumulación de déficit. Está desarrollado en el Real Decreto 198/2015, de 23 de marzo, y afecta a los titulares de concesiones hidráulicas para la producción de energía eléctrica en cuencas intercomunitarias, es decir, que atraviesen más de una Comunidad Autónoma.

La base imponible del canon será el valor económico de la energía producida en barras de central, y el tipo impositivo será del 22%. En las instalaciones de potencia igual o inferior a 50 MW o de bombeo, que cumplan ciertos requisitos, el importe del canon se reducirá en un 90%.

#### *Impuesto sobre la producción y almacenamiento de combustible nuclear y residuos radiactivos*

La Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética, introdujo el impuesto sobre la producción y almacenamiento de combustible nuclear y residuos radiactivos, resultantes de la generación de energía eléctrica.

La base imponible se calculará según los kg de uranio o plutonio contenidos en el combustible nuclear producido, así como los metros cúbicos de residuos radiactivos producidos. El tipo impositivo será de 2.190 €/kg de uranio o plutonio, 6.000 €/m<sup>3</sup> de residuo de baja y media actividad y 1.000 €/m<sup>3</sup> de residuo de muy baja actividad

Análisis de la variación en los ingresos del Estado debido a un aumento de la penetración de vehículos eléctricos.

En esta sección se van a determinar los ingresos que percibiría el Estado durante la vida útil de un vehículo eléctrico y su homólogo de combustión interna, con el objetivo de analizar el impacto que podría tener un aumento de la penetración de vehículos eléctricos bajo la fiscalidad actual en los ingresos del Estado. La Figura 41 muestra los distintos parámetros utilizados para el estudio.

Vehículos	Renault Clio	Renault Zoe	Volkswagen Golf	Hyundai IONIQ	Audi A7	Tesla S	Porsche Cayenne	Tesla X	Fuente
Precio de compra (€)	13.150	32.125	20.395	36.400	61.900	86.000	85.000	97.550	Precio 2017
Emisiones de CO2 (g/km)	127	0	109	0	139	0	209	0	Ficha técnica
Tipo de motor	4t	-	4t	-	4t	-	4t	-	Ficha técnica
Número de cilindros	4	-	3	-	4	-	6	-	Ficha técnica
Cilindrada (cm3)	1149	-	999	-	1984	-	2995	-	Ficha técnica
Potencia efectiva (kW)	-	68	-	88	-	285	-	245	Ficha técnica
Vida útil (años)	12								Media UE
Consumo (l/km o kWh/km)	0,06	0,1	0,05	0,1	0,06	0,21	0,09	0,19	Ficha técnica
Distancia anual media (km/año)	12.535								Media España [45]
Potencia fiscal (CV)	9,6	13,2	7,8	17,1	13,3	55,3	20,0	47,6	Cálculo
Factor de conversión kWh a GJ (GJ/kWh)	0,0036								
% Gas mix energético	28%								Esios [41]
Factor de conversión de carbón a electricidad (kWh/kWhe)	35%								
% Carbón mix energético	18%								Esios [41]
Factor de conversión de gas a electricidad (kWh/kWhe)	55%								
Precio de la electricidad consumida (PVPC, €/kWhe)	0,119								Esios [41]
Precio spot de la electricidad generada (€/kWhe)	0,052								Esios [41]

Figura 41 – Parámetros utilizados en el análisis

A partir de los parámetros mostrados en la Figura 41, se han calculado los importes que recibiría el Estado en concepto de los distintos impuestos a lo largo de la vida útil de un vehículo eléctrico y su homólogo de combustión interna. Se han utilizado los vehículos estudiados en el Capítulo 3, cuyas especificaciones se muestran en la Figura 12. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 42.

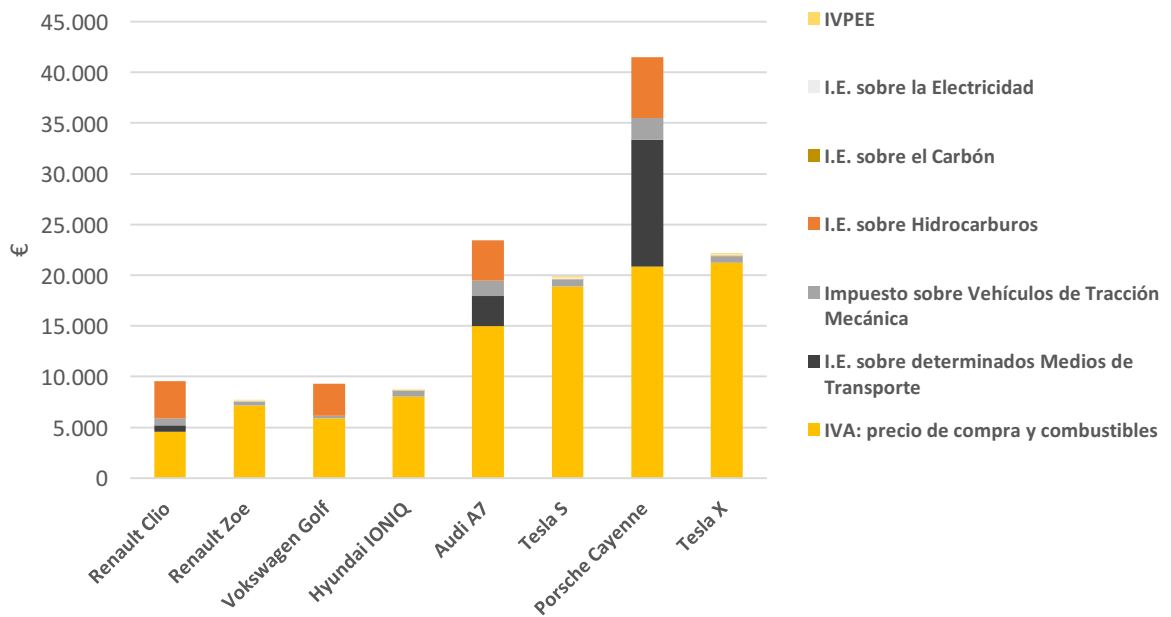


Figura 42 – Ingresos obtenidos por el Estado a lo largo de la vida útil de un vehículo. Comparación entre vehículo eléctrico y de combustión interna.

Cabe destacar que la mayor parte de los ingresos obtenidos por el Estado a lo largo de la vida útil de un vehículo eléctrico proceden del Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA). Sin embargo, en el caso de un vehículo de combustión interna, los impuestos especiales suponen también una partida no despreciable.

En el caso de los vehículos eléctricos de gama media y baja, el aumento de la partida asociada al IVA compensa, en gran medida, la reducción en la partida asociada a los Impuestos Especiales. Por ello, en el caso de vehículos de gama media o baja, la carga fiscal a lo largo de la vida útil de un vehículo de combustión interna es similar a la de un vehículo eléctrico.

Sin embargo, en las gamas altas, el aumento en la recaudación asociada al IVA no es suficiente para compensar la reducción en la partida asociada a los Impuestos Especiales. En concreto, el elevado consumo de combustible y las emisiones asociadas de un vehículo deportivo 4x4 de combustión interna hacen que el Impuesto Especial sobre Hidrocarburos, el Impuesto Especial sobre Vehículos de Tracción Mecánica y el Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte sean significativamente más elevados que en el resto de casos. Por ello, su homólogo eléctrico tendría que hacer frente a lo largo de su vida útil a una carga fiscal mucho más reducida.

## Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas del análisis sobre el impacto de un aumento de la penetración del vehículo eléctrico en los ingresos del Estado se resumen a continuación:

- Un aumento de la penetración de vehículos eléctricos supondría una reducción de las partidas recaudadas en concepto del Impuesto Especial sobre Hidrocarburos y otros Impuestos Especiales asociados, pero a su vez supondría un aumento de la recaudación asociada al IVA y a los impuestos que gravan directa o indirectamente la producción de electricidad (IVPEE; Impuesto Especial sobre la Electricidad, Impuesto Especial sobre el Carbón, Canon de Aguas, Impuesto sobre la producción y almacenamiento de combustible nuclear y residuos radiactivos...)
- El Impuesto Especial sobre Hidrocarburos supone un 41,5% de los Impuestos Especiales, la cuarta fuente de ingresos tributarios del Estado después de los ingresos procedentes del IVA, IRPF e Impuesto sobre Sociedades, mientras que los impuestos asociados a la producción de electricidad no son una partida significativa.
- Un aumento de la penetración de vehículos eléctricos supondría una reducción de la partida recaudada en concepto del Impuesto Especial sobre Hidrocarburos debido a un menor consumo de gasolina y diésel. El aumento en el consumo de gas natural asociado al aumento de demanda eléctrica sería secundario y no relevante.
- Un aumento de la penetración de vehículos eléctricos también supondría una reducción de las partidas recaudadas en concepto del Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte y el Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica, en los que se aplican ventajas fiscales a los vehículos de emisiones reducidas.
- Sin embargo, debido a que el precio de compra de los vehículos eléctricos es actualmente superior al de los vehículos de combustión interna, se puede esperar un aumento de la recaudación en concepto de IVA.
- El aumento y la reducción de las distintas partidas se compensa en el caso de vehículos de baja y media gama, de forma que la recaudación a lo largo de la vida útil de un vehículo eléctrico o de combustión interna es muy similar en ambos casos.
- En el caso de vehículos de gama alta o deportiva, el elevado consumo de combustible y las emisiones asociadas de un vehículo de combustión interna hacen que el Impuesto Especial sobre Hidrocarburos, el Impuesto Especial sobre Vehículos de Tracción Mecánica y el Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte sean significativamente más elevados que en el resto de casos. Su homólogo eléctrico

tendría que hacer frente a lo largo de su vida útil a una carga fiscal mucho más reducida.

- Bajo la fiscalidad actual, al considerar la totalidad de los impuestos asociados a la vida útil de un vehículo eléctrico, no existen incentivos fiscales significativos a la compra de un vehículo eléctrico de baja o media gama. Sin embargo, en el caso de los vehículos de alta gama, la diferencia no es despreciable.



## Capítulo 5

# Impacto económico en el sector privado: modelos de negocio innovadores.

### 1. Introducción

El análisis realizado en el Capítulo 3 revela que las barreras a la adopción a gran escala del vehículo eléctrico en España son principalmente la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga. El Total Cost of Ownership de un vehículo eléctrico sin considerar el impacto de estos obstáculos no monetarios es ligeramente superior al de su homólogo de combustión interna, y podría ser compensado mediante incentivos monetarios como subvenciones directas a la compra del vehículo o un aumento de los impuestos a los hidrocarburos.

Sin embargo, al considerar la utilidad negativa que un consumidor obtiene de la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga, cuando el uso del vehículo es ocasional o en entornos urbano se obtiene un aumento en la diferencia entre el TCO de un vehículo eléctrico y uno de combustión interna del orden del 4%. Para usos intensivos del vehículo, el aumento en la diferencia entre el TCO de un vehículo eléctrico y uno de combustión interna supera el 40%. Los incentivos no monetarios existentes en España para hacer frente a esta coyuntura son escasos, heterogéneos y varían mucho de un municipio a otro de España.

El análisis realizado en el Capítulo 4 permite concluir que una elevada penetración de vehículos eléctricos permitiría reducir efectivamente las importaciones de crudo, y con ello, la exposición de la economía española a las variaciones de precio del petróleo, el cual está sometido a tensiones geopolíticas y puede ser muy volátil. Además, el sector del transporte en España presenta un elevado potencial de mejora en cuanto a la penetración de energías renovables, debido a su elevada dependencia de productos petrolíferos. Los vehículos eléctricos son una clara herramienta para reducir el consumo de combustibles fósiles, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y aumentar la penetración de renovables sobre el total de la energía consumida, de acuerdo con los objetivos europeos.

Aunque las ventajas asociadas a una elevada penetración de vehículos eléctricos parecen obvias, el nivel de penetración del vehículo eléctrico en España es reducido, y se encuentra por debajo de la media de la Unión Europea. Este periodo de transición genera una gran incertidumbre para la industria del automóvil, uno de los principales sectores exportadores y generadores de empleo de España. El informe de la Comisión de Expertos de Transición Energética [51] destaca la importancia de que la industria del automóvil española abandere la transición hacia la movilidad eléctrica y se mantenga como uno de los principales sectores económicos del país.

En este contexto, surge la necesidad de que la industria del automóvil, las compañías eléctricas y el Estado contribuyan a crear las condiciones necesarias que permitan un desarrollo a gran escala del vehículo eléctrico en España. Para ello, es necesario un entorno regulatorio que introduzca medidas efectivas orientadas a reducir las barreras de entrada reales a las que se enfrenta el vehículo eléctrico, como se desarrollará en el Capítulo 6, y modelos de negocio innovadores que permitan a las empresas eléctricas y del sector de la automoción reducir la incertidumbre y aprovechar las oportunidades de negocio que presenta el desarrollo del vehículo eléctrico.

El objetivo de esta sección es describir algunos de los modelos de negocio que permitirían facilitar la transición hacia la movilidad eléctrica.

## 2. Aumentar el número de usuarios del vehículo: Car2Go

En el caso del vehículo eléctrico, la inversión inicial supone más de un 70% del Total Cost of Ownership. Aumentar el número de usuarios permite distribuir el coste de inversión del vehículo, aprovechando el bajo coste de operación del mismo, debido a su menor consumo y coste de mantenimiento.

Uno de los principales exponentes de este modelo de negocio es la empresa alemana Car2Go [73], presente en Europa, Estados Unidos y China. La propuesta de valor de Car2Go se centra en ofrecer una solución de transporte individual en las ciudades, sin necesidad de ser dueño del vehículo, mediante el uso compartido o *car-sharing* de su flota de vehículos. El usuario puede reservar un vehículo que se encuentre en sus inmediaciones mediante una aplicación móvil y utilizarlo pagando una tarifa por minuto. También ofrece tarifas reducidas por horas o incluso días. Car2Go cuenta con un equipo específicamente dedicado a la recarga y el mantenimiento de la flota de vehículos, así como centros de recarga propios. Con este modelo de negocio, el impacto de la utilidad negativa del elevado tiempo de recarga y la escasa autonomía es reducido, ya que el uso que cada cliente hace del vehículo es ocasional y de conveniencia, sin tener que hacer frente a la elevada inversión asociada al vehículo eléctrico.

Car2Go es subsidiaria de Daimler AG, uno de los principales referentes del sector de la automoción, dueña de Mercedes-Benz, Smart o Mitsubishi, entre otros. En España, Car2Go ofrece exclusivamente vehículos de la marca Smart, aunque progresivamente está añadiendo vehículos de la marca Mercedes-Benz a su flota [73]. Con este modelo de negocio, Daimler AG ha conseguido reducir la incertidumbre asociada a la producción de vehículos eléctricos Smart, asegurándose la venta de la misma.

Otros ejemplos de la estrategia basada en aumentar el número de usuarios del vehículo son las flotas de vehículos de empresa, como es el caso de Endesa, que pone a disposición de sus empleados una veintena de BMW i3s [74], o el transporte público eléctrico: en



Barcelona y San Sebastián ya circulan autobuses públicos 100% eléctricos fabricados por el Grupo Irizar [75].

### 3. Maximizar la eficiencia económica del vehículo: EV-Box, EnerNOC

El proceso de recarga de los vehículos eléctricos puede tener un impacto no despreciable en la vida útil del vehículo y el coste de la recarga. La carga inteligente o *smart-charging* busca optimizar el proceso de recarga reduciendo su coste. Una de las principales empresas proveedoras de estos servicios es EV-Box, una empresa holandesa subsidiaria de Engie. EV-Box ofrece servicios de recarga inteligente del vehículo eléctrico tanto a empresas como a particulares, de modo que se realice en las horas en la que el precio de la electricidad es menor, reduciendo su coste [76].

Además, la gestión inteligente de la recarga podría utilizarse para proporcionar servicios de ajuste al operador de la red de distribución, por los que el usuario podría ser remunerado, reduciendo el Total Cost of Ownership a lo largo de la vida útil del vehículo. Por ejemplo, la estación de recarga del vehículo eléctrico podría adaptar el proceso de recarga de modo que permita equilibrar demanda y generación de forma local cuando sea necesario. En octubre de 2017, ENEL adquirió eMotorweks, una empresa especializada en recarga inteligente de vehículos eléctricos, a través de su filial EnerNOC, dedicada a proporcionar servicios de ajuste y gestión de la demanda a los operadores de la red en EEUU, con el objetivo de empezar a desarrollar este tipo de servicios para los usuarios de vehículos eléctricos [77]. El desarrollo de este modelo de negocio requiere de una regulación del sector eléctrico que fomente y permita la participación de los consumidores en la operación del sistema.

Grandes exponentes del sector de la automoción como Renault [78] o BMW han invertido en empresas orientadas a ofrecer servicios de *smart-charging*, ya que estas empresas facilitan el proceso de recarga de los vehículos eléctricos y permiten reducir el TCO del mismo, disminuyendo las barreras de entrada y facilitando la transición hacia la movilidad eléctrica.

### 4. Reducir la utilidad negativa asociada a la reducida autonomía de los vehículos eléctricos o el elevado tiempo de recarga mediante estrategias orientadas al cliente: Renault

Los fabricantes de automóviles podrían ofrecer servicios centrados en reducir la utilidad negativa derivada de la reducida autonomía de los vehículos eléctricos o el elevado tiempo de recarga.

Por ejemplo, los concesionarios podrían ofrecer al comprador de un vehículo eléctrico la posibilidad de contar con un vehículo de combustión interna para realizar trayectos de

distancia superior a la autonomía del vehículo, a cambio de un pago mensual. Además, los vehículos eléctricos podrían incorporar sistemas de localización de puntos de recarga, de modo que sean capaces de detectar y alertar al conductor cuándo la autonomía del vehículo requiera que se recargue la batería en esa estación, reduciendo la llamada *range-anxiety*, o ansiedad producida por la posibilidad de no poder llegar al destino deseado por falta de batería.

Un ejemplo de este tipo de servicios es el ofrecido por Renault en el caso del Renault ZOE. Renault ofrece la posibilidad de alquilar la batería del vehículo por una cantidad mensual, en lugar de incluirla en el precio de compra. El servicio de alquiler de la batería incluye el servicio de asistencia Z.E. [79], un servicio de asistencia 24h/265 días al año, sin franquicia kilométrica, que cubre, entre otros, la recarga de la batería en el lugar de la incidencia, o el remolque a un punto de recarga con un límite de 80 km. Además, el Renault Zoe incluye aplicaciones en el vehículo que permiten controlar la autonomía y localizar puntos de recarga y algunos concesionarios de Renault también incluyen la posibilidad de alquilar vehículos de combustión interna, con condiciones especiales, para trayectos más largos [80].

Este tipo de estrategias permitirían a las empresas del sector de la automoción con sede en España reducir las barreras de entrada del vehículo eléctrico, abanderando la transición hacia una movilidad sostenible y reduciendo la incertidumbre asociada, de modo que puedan mantenerse como uno de los principales sectores económicos del país.

## 5. Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas del análisis de modelos de negocio innovadores para potenciar el desarrollo del vehículo eléctrico y la movilidad sostenible se detallan a continuación:

- Aunque las ventajas asociadas a una elevada penetración de vehículos eléctricos parecen obvias, el nivel de penetración del vehículo eléctrico en España es reducido, y se encuentra por debajo de la media de la Unión Europea.
- Este periodo de transición genera una gran incertidumbre para la industria del automóvil, uno de los principales sectores exportadores y generadores de empleo de España.
- Son necesarios modelos de negocio innovadores que permitan a las empresas eléctricas y del sector de la automoción reducir la incertidumbre y aprovechar las oportunidades de negocio que presenta el desarrollo del vehículo eléctrico.

- Los principales modelos de negocio que se están desarrollando con el objetivo de impulsar la movilidad eléctrica se centran en:
  - a) reducir el Total Cost of Ownership del vehículo eléctrico aumentando el número de usuarios del vehículo eléctrico (Car2Go) o maximizando la eficiencia económica del vehículo mediante la optimización de la recarga (EV-Box, EnerNOC)
  - b) reducir la utilidad asociada a la reducida autonomía o el elevado tiempo de recarga mediante soluciones orientadas al cliente (Renault), como poner a disposición del cliente un vehículo de combustión interna para trayectos que superen la autonomía del vehículo eléctrico.
- Estas estrategias permiten a los fabricantes de automóviles reducir las barreras de entrada del vehículo eléctrico, abanderando la transición hacia una movilidad sostenible y reduciendo la incertidumbre asociada, de modo que puedan mantenerse como uno de los principales sectores económicos del país.



## Capítulo 6

### Conclusiones: mejoras en la regulación aplicable al vehículo eléctrico.

El sector del transporte es, en España, aquel que presenta un mayor potencial de mejora en cuanto a la penetración de energías renovables, debido a su elevada dependencia de productos petrolíferos. Además, reducir las importaciones de crudo permitiría reducir la exposición de la economía española, netamente importadora, a las variaciones del precio del petróleo, el cual está sometido a tensiones geopolíticas y puede ser muy volátil. En los distintos escenarios de penetración de renovables analizados en este estudio, las importaciones asociadas a los combustibles consumidos por el transporte por carretera descienden linealmente con la penetración de vehículos eléctricos, ya que estos consumen significativamente menos combustibles importados, y a un menor precio. Por ello, en los últimos años, el vehículo eléctrico se ha presentado como una alternativa a los vehículos de combustión interna que permitiría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para combatir el cambio climático, mejorar la calidad del aire en las ciudades y reducir la dependencia externa de combustibles fósiles y no sostenibles. Sin embargo, aunque las ventajas asociadas a una elevada penetración de vehículos eléctricos parecen obvias, el nivel de penetración del vehículo eléctrico en España es reducido, y se encuentra por debajo de la media de la Unión Europea.

En España, las principales barreras a la adopción a gran escala del vehículo eléctrico, identificadas en este estudio son dos: una barrera económica, debida a que el Total Cost of Ownership (TCO) del vehículo eléctrico es generalmente superior al del vehículo de combustión interna; y una barrera técnica, asociada a los obstáculos no monetarios que suponen la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga del vehículo eléctrico.

En primer lugar, el TCO del vehículo eléctrico en las gamas de vehículos baja, media y alta es superior al TCO de sus homólogos de combustión interna: el ahorro derivado de un menor coste de recarga y mantenimiento del vehículo eléctrico no es suficiente para compensar la diferencia de precio inicial entre los dos vehículos. Se espera que el coste medio de la batería de ión-litio que permitiría alcanzar la paridad en términos de TCO entre vehículos eléctricos y de combustión interna se alcance en 2022. En el presente estudio, se han analizado distintas medidas que el regulador podría introducir o mejorar con el objetivo de reducir esta diferencia a corto plazo.

#### **Subvencionar parte del coste inicial del vehículo eléctrico**

Las subvenciones directas del estado español a la compra de vehículos eléctricos no son de aplicación para vehículos cuyo precio antes de impuestos supere los 32.000 € y la partida presupuestaria destinada a dichas ayudas es insuficiente para lograr una sustitución apreciable de vehículos eléctricos por

vehículos de combustión interna. Existe potencial de mejora en el caso de las subvenciones directas a la compra de vehículos eléctricos en España. Se propone instaurar un plan estructural de incentivos directos a la compra de vehículos eléctricos, con una mayor partida presupuestaria y de forma transversal para todas las gamas de vehículos eléctricos.

### **Introducir beneficios fiscales para la compra de vehículos eléctricos**

Bajo la fiscalidad actual, al considerar la totalidad de los impuestos asociados a la vida útil de un vehículo, no se observan incentivos fiscales significativos para la compra de un vehículo eléctrico de baja o media gama. Esto se debe a que la reducción en la fiscalidad asociada al Impuesto Especial sobre Hidrocarburos, Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte y el Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica, se ve compensada en gran medida por el aumento en la recaudación asociada al IVA, ya que el precio de compra del vehículo eléctrico es sustancialmente superior al del vehículo de combustión interna. Sin embargo, en el caso de los vehículos de alta gama o deportiva, el elevado consumo de combustible y las emisiones asociadas de un vehículo de combustión interna, hacen que el Impuesto Especial sobre Hidrocarburos, el Impuesto Especial sobre determinados Medios de Transporte y el Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica sean significativamente elevados. Por ello, su homólogo eléctrico tendría que hacer frente a una carga fiscal más reducida.

En este contexto, se propone aumentar los Impuestos Especiales sobre Hidrocarburos, lo que permitiría reducir la diferencia en términos de TCO entre los vehículos eléctricos y sus homólogos de combustión interna. En concreto, situar dichos impuestos en el entorno de Italia y Países Bajos – los más elevados de la UE – prácticamente eliminaría esa diferencia. Alternativamente, se propone la imposición de un IVA reducido para vehículos eléctricos, de modo que la fiscalidad asociada a la vida útil de un vehículo eléctrico sea efectivamente inferior al de su homólogo de combustión interna. En caso de ser así, una elevada penetración de vehículos eléctricos se traduciría en una reducción de los ingresos percibidos por el Estado (el IVA y los Impuestos Especiales suponen la primera y cuarta fuente de ingresos del Estado, respectivamente). Es fundamental que la regulación sea prudente y sostenible económicamente, para evitar un gasto público excesivo. Por ello, se debe plantear una vía de compensación de dichas partidas que sea coherente con los objetivos medioambientales. Por ejemplo, la carga fiscal del vehículo eléctrico podría ir aumentándose progresivamente, a medida que disminuye su coste de fabricación.

### **Reducir el precio de la electricidad**

A raíz del estudio realizado, se puede concluir que la mejora que se obtiene al implantar medidas que reduzcan el coste de la recarga no es significativa, debido al escaso potencial de reducción del coste de operación del vehículo

eléctrico, ya de por sí inferior al de los vehículos de combustión interna. Sin embargo, sí se debe garantizar que los peajes de acceso a la red de distribución no desincentiven la instalación de nuevos puntos de recarga.

En segundo lugar, la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga suponen una gran barrera para la adopción a gran escala del vehículo eléctrico en España. El impacto de estos obstáculos no monetarios aumenta con el número de kilómetros recorridos al día. Para un uso del coche ocasional o en entorno urbano, el impacto de las limitaciones de autonomía y el prolongado tiempo de recarga se podrían suplir con la utilización ocasional y por conveniencia de sistemas de recarga rápida. Sin embargo, dado que su uso regular tiene un elevado impacto en la vida útil de las baterías, no podrían utilizarse para compensar el elevado impacto que estas limitaciones suponen para un conductor que realice un uso intensivo del vehículo.

Aunque a largo plazo se puede esperar un aumento de la autonomía del vehículo eléctrico y una reducción del tiempo de recarga, en el corto plazo el regulador podría introducir o mejorar ciertas medidas para mitigar su impacto. En España, hasta 2016 no se introdujeron ayudas a la instalación de puntos de recarga. Atenuar el impacto de estos obstáculos no monetarios en la aceptación del vehículo eléctrico requiere de incentivos efectivos a la instalación de puntos de recarga, y en concreto, la planificación de una infraestructura de recarga rápida a nivel nacional. Del mismo modo, resulta fundamental que la regulación sobre acceso y conexión a la red de distribución no suponga una barrera de entrada regulatoria a la instalación de puntos de recarga públicos y privados. Además, los incentivos no monetarios (preferencia de aparcamiento, acceso preferencial...) únicamente existen a nivel municipal y son escasos y heterogéneos. Se hace necesaria la homogeneización regulatoria a nivel estatal de este tipo de ayudas, estableciendo una serie de incentivos mínimos a implementar por los distintos municipios. Análisis futuros podrían intentar cuantificar la capacidad de los incentivos no monetarios de reducir la utilidad negativa asociada a la limitada autonomía y el prolongado tiempo de recarga, de especial interés en las grandes ciudades.

En tercer lugar, el presente estudio ha concluido que los principales modelos de negocio que se están desarrollando con el objetivo de impulsar la movilidad eléctrica se centran en:

- Reducir el Total Cost of Ownership del vehículo eléctrico, aumentando el número de usuarios del vehículo (Car2Go) o maximizando la eficiencia económica del mismo mediante la optimización del proceso de recarga (EV-Box, EnerNOC)
- Reducir la utilidad negativa asociada a la reducida autonomía o el elevado tiempo de recarga mediante soluciones orientadas al cliente, como poner a disposición del cliente un vehículo de combustión interna para trayectos que superen la autonomía del vehículo eléctrico (Renault).

Es crucial que el sector de la automoción, uno de los principales sectores económicos y empleadores de España, abandere la transición hacia la movilidad eléctrica. El desarrollo de modelos de negocio innovadores como los mencionados podría permitir mitigar la incertidumbre a la que se enfrentan las empresas del sector de la automoción debido a la transformación progresiva del sector del transporte, así como reducir la barrera de entrada que suponen la reducida autonomía y el prolongado tiempo de recarga. Resulta necesario que el regulador genere un ambiente en el que se fomente la innovación, tanto tecnológica como de negocio.



## Capítulo 7

### Bibliografía

- [1] S.-M. Lu, “A low-carbon transport infrastructure in Taiwan based on the implementation of energy-saving measures.,” *Elsevier*, Mayo 2016.
- [2] IEA Statistics, “CO2 emissions from transport (% of total fuel combustion),” 2014.
- [3] Monitor Deloitte, “Un modelo energético sostenible para España en 2050,” 2017.
- [4] Naciones Unidas, “Paris Agreement,” 2015.
- [5] Agencia Europea de Medio Ambiente, “Air quality in Europe,” 2016.
- [6] Ayuntamiento de Madrid, “Protocolo de medidas a adoptar durante episodios de alta contaminación,” 2016.
- [7] “El TSJM admite una demanda de Alcorcón contra el protocolo anticontaminación de Madrid.,” *ABC.es*, 23 Febrero 2017.
- [8] Eurostat, “Energy dependence,” 2014.
- [9] J. Galdón Ruiz, B. Mari Soucause and I. Guaita Pradas, “La dependencia energética en España por sectores y su impacto económico,” *Técnica Industrial*, Junio 2016.
- [10] Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC), “Informe Anual 2016,” 2017.
- [11] Barómetro ANFAC-Bosch sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente, “Vehículo alternativo. La movilidad de combustibles alternativos en España.,” 2016.
- [12] Bloomberg New Energy Finance, “Electric Vehicle Outlook 2017.,” 2017.
- [13] “El Gobierno extiende hasta julio el PIVE y destina 16,6 millones al plan MOVEA de vehículos sostenibles.,” *rtve.es*, 27 Noviembre 2015.
- [14] [Online]. Available: Electromaps.com.
- [15] J. Larminie, *Electric Vehicle Technology Explained.*, John Wiley & Sons, 2003.
- [16] H. Banvait, S. Anwar and Y. Chen, “A rule-based energy management strategy for plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV).,” *IEEE*, 2009.
- [17] P. Chambon, S. Curran, S. Huff, L. Love, B. Post, R. Wagner, R. Jackson and J. Green, “Development of a range-extended electric vehicle powertrain for an integrated energy systems research printed utility vehicle.,” *Elsevier*, 2017.
- [18] M. Yilmaz, “Limitations/capabilities of electric machine technologies and modeling approaches for electric motor design and analysis in plug-in electric vehicle applications.,” *Elsevier*, 2015.
- [19] US Geological Survey, “Rare Earths - Mineral Commodity Summary 2017.,” 2017.
- [20] T. Jahns, “Getting Rare-Earth Magnets Out of EV Traction Machines.,” *IEEE Electrification Magazine*, March 2007.
- [21] A. Andwari, A. Pesiridis, S. Rajoo, R. Martinez-Botas and V. Estafahanian, “A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels.,” *Elsevier*, 2017.
- [22] A. Burke, B. Jungers, C. Yang and J. Ogden, “Battery Electric Vehicles: An Assessment of the Technology and Factors Influencing Market Readiness,” Public Interest Energy Research Program, California Energy Commission., 2007.
- [23] IRENA, “Battery storage technology improvements and cost reductions to 2030.,” 2017.

- [24] "OFweek - Industrial B2B Marketplace," [Online]. Available: <http://en.ofweek.com/>. [Accessed Mayo 2018].
- [25] Agencia Europea de Medio Ambiente, "Electric Vehicles in Europe," 2016.
- [26] "Eurostat," [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/>.
- [27] European Automobile Manufacturers Association, "Economic and Market Report - EU Automotive Industry," 2017.
- [28] European Automobile Manufacturer Association, "Correlation between uptake of electric cars and GDP in the EU.," Octubre 2017. [Online]. Available: <http://www.acea.be/statistics/article/interactive-map-correlation-between-uptake-of-electric-cars-and-gdp-in-EU>. [Accessed Diciembre 2017].
- [29] Diario Oficial de la Unión Europea, "Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2014 relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos.," 2014.
- [30] BBVA Research, "Vehículo Eléctrico: ¿ahora si?," 2017.
- [31] R. Linke, "The Real Barriers to Electric Vehicle Adoption," Agosto 2017. [Online]. Available: <http://mitsloan.mit.edu/newsroom/articles/the-real-barriers-to-electric-vehicle-adoption/>. [Accessed Diciembre 2017].
- [32] "Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales."
- [33] "Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales".
- [34] "Real Decreto 439/2007, de 30 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas y se modifica el Reglamento de Planes y Fondos de Pensiones, aprobado por Real Decreto 304/2004, de 20 de febrero."
- [35] "Real Decreto 414/2014, de 6 de junio, por el que se regula la concesión directa de subvenciones para la adquisición de vehículos eléctricos en 2014, en el marco de la Estrategia integral para el impulso del vehículo eléctrico en España 2010-2014 (Programa MOVELE 2014)".
- [36] Real Decreto 1078/2015, de 27 de noviembre, por el que se regula la concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos de energías alternativas, y para la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos en 2016, MOVEA.
- [37] IDAE, "Guía de Ayuda - Plan MOVALT," 2017.
- [38] A. Kramer, "Demystifying the "Sunk Cost Fallacy": When Considering Fixed Cost in Decision-Making is Reasonable," *Journal of Research in Marketing*, vol. 7, no. 1, Febrero 2017.
- [39] Diesel o Gasolina, "Estadísticas - Histórico," Febrero 2018. [Online]. Available: <http://www.dieselogasolina.com/Estadisticas/Historico>.
- [40] REE, "Esios - Sistema de Información del Operador del Sistema," Febrero 2018. [Online].
- [41] G. Duleep, H. v. Essen, B. Kampman and M. Grünig, "Impacts of Electric Vehicles - Deliverable 2: Assessment of electric vehicle and battery technology," European Commission, 2011.
- [42] K. Lebeau, P. Lebeau, C. Macharis and J. V. Mierlo, "How expensive are electric vehicles?," EVS27 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, 2013.
- [43] Automovilistas Europeos Asociados, "¿Cuánto cuesta tener un coche en propiedad?," 2017. [Online]. Available: <http://aeclub.org/cuanto-cuesta-tener-coche/>.
- [44] Odyssee-Mure Project, "Change in distance travelled by car," 2015. [Online]. Available: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by->

- sector/transport/distance-travelled-by-car.html. [Accessed 2018].
- [45] Banco de España, “Tipos de interés - Datos diarios,” 2018.
- [46] Instituto Nacional de Estadística, “Indicadores adelantados de Precios de Consumo y de Precios de Consumo Armonizado,” 2017.
- [47] “Precios y fichas técnicas,” [Online]. Available: [km77.com](http://km77.com). [Accessed Febrero 2018].
- [48] “Así es el salario medio en Europa y en España,” Mayo 2017. [Online]. Available: <http://www.expansion.com/economia/2017/05/13/5912f30ae2704e444e8b45a9.html>. [Accessed Mayo 2018].
- [49] BBVA Research, “Análisis sectorial: El camino de los vehículos eléctricos,” 2017.
- [50] European Commission, “Country Report Spain 2018 - In-Depth Review on the prevention and correction of macroeconomic imbalances”.
- [51] Comisión de Expertos de Transición Energética, “Análisis y propuestas para la descarbonización,” 2018.
- [52] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, “Orden ETU/1282/2017, de 22 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2018,” 2017.
- [53] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, “Orden IET/107/2014, de 31 de enero, por la que se revisan los peajes de acceso de energía eléctrica para 2014,” 2014.
- [54] Ayuntamiento de Madrid, “Estudio del Servicio del Taxi,” 2017.
- [55] A. H. Sanchez, “La balanza de pagos,” Universidad Autónoma de Madrid, 2004.
- [56] Expansión - Datos macro, “España - Balanza comercial,” 2017. [Online]. [Accessed Mayo 2018].
- [57] El País, “Las importaciones españolas cerraron 2017 con record histórico,” [Online]. Available: [https://elpais.com/economia/2018/02/20/actualidad/1519125373\\_507496.html](https://elpais.com/economia/2018/02/20/actualidad/1519125373_507496.html).
- [58] “ICEX,” [Online]. Available: [www.icex.es](http://www.icex.es). [Accessed Mayo 2018].
- [59] CORES, “Balance de producción y consumo de productos petrolíferos en España,” 2016.
- [60] El Independiente, “España ahorró 2.300 millones por el precio del petróleo y el euro fuerte en 2017,” Enero 2018. [Online]. Available: <https://www.elindependiente.com/economia/2018/01/04/espana-ahorro-2-300-millones-caida-petroleo-2017/>.
- [61] El Economista, “La brecha en la venta de coches diésel y gasolina se reduce 15 puntos en un año,” [Online]. Available: <http://www.eleconomista.es/economia/noticias/8843191/01/18/La-brecha-en-la-venta-de-coches-diesel-y-gasolina-se-reduce-15-puntos-en-un-ano.html>.
- [62] Foro Nuclear - Foro de la Industria Nuclear Española, “Consultas al experto: ¿Cuánta energía (en Kwh) se extrae de un kilo de uranio? ¿Qué rendimiento tiene cada kilo de uranio utilizado en las centrales?,” [Online]. Available: <https://www.foronuclear.org/en/consultas-al-experto/122883-rendimiento-del-uranio>.
- [63] IDAE, “Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas,” [Online]. Available: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_PCI\\_Combustibles\\_Carburantes\\_final\\_valores\\_Update\\_2014\\_0830376a.xlsx](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valores_Update_2014_0830376a.xlsx).
- [64] Expansión - Datos macro, “Uranio, precio por tonelada métrica,” [Online]. Available: <https://www.datosmacro.com/materias-primas/uranio>.
- [65] BP, “Energy tools,” [Online]. Available: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review->

- of-world-energy/coal/coal-prices.html. [Accessed Mayo 2018].
- [66] U.S. Energy Information Administration, “How many gallons of gasoline and diesel fuel are made from one barrel of oil?,” [Online]. Available: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=327&t=9>. [Accessed Mayo 2018].
- [67] Cinco Días - El País, “Anfac pide IVA reducido y 150 millones en ayudas al coche eléctrico,” Abril 2018. [Online]. Available: [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/04/09/companias/1523271427\\_089429.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/04/09/companias/1523271427_089429.html).
- [68] Agencia Tributaria, “Fiscalidad de la primera matriculación de vehículos,” [Online]. Available: [https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/La\\_Agencia\\_Tributaria/Campanas/Impuesto\\_Especial\\_sobre\\_Determinados\\_Medios\\_de\\_Transporte/Informacion\\_sobre\\_matriculacion\\_de\\_vehiculos/Fiscalidad\\_de\\_la\\_primera\\_matriculacion\\_de\\_vehiculos.shtml](https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/La_Agencia_Tributaria/Campanas/Impuesto_Especial_sobre_Determinados_Medios_de_Transporte/Informacion_sobre_matriculacion_de_vehiculos/Fiscalidad_de_la_primera_matriculacion_de_vehiculos.shtml). [Accessed Mayo 2018].
- [69] Ayuntamiento de Madrid, “Ordenanza fiscal sobre el Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica, de 9 de octubre de 2001.,” Madrid, 2001.
- [70] “Real Decreto 2822/1998 de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.”.
- [71] Madrid.org - Portal del contribuyente, “Impuesto sobre hidrocarburos,” [Online]. Available: [http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1142345254780&language=es&pagename=Contribuyente%2FPage%2FCONT\\_Impuesto](http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1142345254780&language=es&pagename=Contribuyente%2FPage%2FCONT_Impuesto).
- [72] Agencia Tributaria, “Informe Anual de Recaudación Tributaria,” 2016.
- [73] DAIMLER, “Get in and drive off: free-floating carsharing with Car2Go,” [Online]. Available: <https://www.daimler.com/products/services/mobility-services/car2go/>. [Accessed Junio 2018].
- [74] Endesa, “Endesa lanza un nuevo plan de movilidad eléctrica para llegar al 8% de sus empleados este año,” [Online]. Available: <https://www.endesa.com/es/prensa/news/d201805-nuevo-plan-movilidad-electrica-endesa-2018.html>. [Accessed Junio 2018].
- [75] Irizar, “Alcanzado el gran reto: el autobús urbano 100% eléctrico del Grupo Irizar es ya una realidad,” [Online]. Available: <http://www.irizar.com/alcanzado-el-gran-reto-el-autobus-urbano-100-electric-del-grupo-irizar-es-ya-una-realidad/>. [Accessed Junio 2018].
- [76] EV-Box, “What is smart charging?,” [Online]. Available: <https://www.evbox.com/learn/faq/how-does-smart-charging-work>. [Accessed Junio 2018].
- [77] eMotorWerks, “Enel Acquires eMotorWerks To Provide Grid Balancing Solutions And Tap Into U.S. E-Mobility Market,” [Online]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/enel-acquires-emotorwerks-to-provide-grid-balancing-solutions-and-tap-into-us-e-mobility-market-300543267.html>. [Accessed Junio 2018].
- [78] Renault, “Press release: Groupe Renault invests in the share capital of Jedlix, a start-up specialized in smart charging,” [Online]. Available: <https://media.group.renault.com/global/en-gb/renault/media/pressreleases/21197829/mobilite-electrique-le-groupe-renault-acquiert-une-participation-dans-jedlix-start-up-specialisee-da>. [Accessed Junio 2018].
- [79] Renault, “Servicios Vehículos Eléctricos - Asistencia,” [Online]. Available: <https://www.renault.es/servicios-financiacion/servicios-vehiculos-electricos/asistencia/>. [Accessed Junio 2018].
- [80] Autosae - Concesionario Renault, “Z.E. Services,” [Online]. Available: <http://www.autosae.com/vehiculos->

- electricos-madrid. [Accessed Junio 2018].
- [81] I. Olazabal, “Análisis del impacto del vehículo eléctrico en la calidad del aire y la demanda eléctrica de las grandes ciudad. Aplicación en Madrid.,” Universidad Pontificia de Comillas, 2017.
- [82] “Ley 35/2006, de 28 de noviembre, del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas y de modificación parcial de las leyes de los Impuestos sobre Sociedades, sobre la Renta de no Residentes y sobre el Patrimonio”.
- [83] Bloomberg New Energy Finance, “Lithium-ion Battery Costs and Market,” 2017.
- [84] T. Yong and C. Park, “A qualitative comparative analysis on factors affecting the deployment of electric vehicles,” Elsevier, 2017.
- [85] Á. M. Alvear, “El refino en España y Portugal. Retos y oportunidades.,” Cuadernos de Energía nº 39, 2013.

