

# Trabajo Fin de Grado

## Grado en Ingeniería Aeroespacial

### Un Análisis de los Efectos de la Introducción del Vehículo Eléctrico sobre el Mercado Eléctrico Español

Autor: Manuel López Moreno

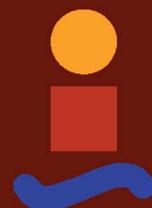
Tutores:

Dr. Fernando Núñez Hernández

Dr. Ángel Arcos Vargas

**Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Aeroespacial

# **Un Análisis de los Efectos de la Introducción del Vehículo Eléctrico sobre el Mercado Eléctrico Español**

Autor:

Manuel López Moreno

Tutores:

Dr. Fernando Núñez Hernández

Profesor Titular de Universidad

Dr. Ángel Arcos Vargas

Profesor Contratado Doctor

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado: Un Análisis de los Efectos de la Introducción del Vehículo Eléctrico sobre el  
Mercado Eléctrico Español

Autor: Manuel López Moreno

Tutores: Dr. Fernando Núñez Hernández  
Dr. Ángel Arcos Vargas

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*



# Agradecimientos

---

Todo lo que tengo y lo que soy se lo debo a mi familia. Gracias a mis padres por ayudarme, animarme y aguantarme, lo que no siempre es fácil. Gracias a mis hermanos por estar siempre ahí, por enseñarme paciencia, empatía y cariño, con vosotros sé que nunca estaré solo.

Gracias al Colegio Mayor San Juan Bosco por acogerme durante toda mi etapa universitaria y por todos los buenos amigos que me ha dado y que me llevo para toda la vida.

Gracias también a mis tutores, por su paciencia y sus consejos. Sin ellos este trabajo no habría sido posible.

*Manuel López Moreno*

*Sevilla, 2020*



# Resumen

---

El propósito de este Trabajo de Fin de Grado es simular los efectos a corto plazo que tendrá sobre el mercado diario eléctrico español la entrada de nuevos vehículos eléctricos, especialmente en términos de precio y cantidades horarias de electricidad. Para ello, se presentará en primer lugar una introducción al mercado eléctrico español y las instituciones principales que lo componen, seguido de un análisis integral del vehículo eléctrico (historia, tecnología, series temporales de su implantación y comparación con otros países). En la parte central del proyecto se empleará un simulador de vehículo eléctrico de Red Eléctrica de España, que permitirá obtener la demanda de electricidad en diferentes escenarios posibles de implantación del vehículo eléctrico. Estos datos se introducirán en el mercado diario de electricidad, empleando para ello los datos sobre dicho mercado proporcionados por el Operador de Mercado (OMIE) para el año 2018. De esta forma, el estudio obtiene y analiza los nuevos equilibrios del mercado eléctrico en los diferentes escenarios de implantación del vehículo eléctrico considerados.



# Abstract

---

The purpose of this Final Degree Project is to simulate the short-term effects that the addition of new electric vehicles will have on the Spanish daily electricity market, specially in terms of prices and hourly quantities of electricity. In order to do that, an introduction to the Spanish electricity market and its principal institutions will first be presented, followed by a complete study on electric vehicles (history, technology, time series of the adoption process and comparisons with other countries). In the main part of the project, an electric vehicle simulator designed by Red Eléctrica de España will be used to obtain the electricity demand under different possible scenarios of electric vehicle adoption. These data are introduced in the daily electricity market, using for that simulation the data on this market provided by the Market Operator (OMIE) for the year 2018. In this way, the study obtains and analyzes the new equilibria of the daily electricity market in the different scenarios of implementation of the electric vehicle considered.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xix</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 El Sistema Eléctrico Español</b>	<b>5</b>
2.1. <i>Instituciones asociadas al sector eléctrico.</i>	5
2.1.1. Instituciones europeas.	5
2.1.2. Instituciones nacionales.	6
2.2. <i>Actividades del sector eléctrico.</i>	10
<b>3 El Coche Eléctrico</b>	<b>13</b>
3.1. <i>Historia</i>	13
3.2. <i>Actualidad.</i>	13
3.3. <i>Funcionamiento.</i>	15
3.4. <i>Modos de carga.</i>	18
3.5. <i>Niveles de carga.</i>	19
3.6. <i>Tipos de conectores.</i>	20
3.7. <i>Incidencia en la red eléctrica.</i>	21
3.8. <i>Evolución del vehículo eléctrico.</i>	23
3.9. <i>Modelos de vehículos eléctricos más vendidos en España.</i>	26
3.10. <i>Diferentes escenarios de implantación del vehículo eléctrico en España.</i>	27
3.10.1. Análisis de la demanda de electricidad en los diferentes escenarios de implantación del coche eléctrico.	29
<b>4 El Mercado Diario de la Electricidad</b>	<b>39</b>
4.1. <i>El mercado en competencia perfecta, la estática comparativa y la elasticidad.</i>	39
4.2. <i>Los datos del OMIE. Obtención de la oferta y la demanda. Equilibrio.</i>	44
<b>5 Análisis de Estática Comparativa</b>	<b>49</b>
5.1. <i>Situación inicial: análisis del mercado diario de la electricidad en el año 2018.</i>	49
5.2. <i>Situación final: análisis de las variaciones de precio y cantidad tras el cambio en la demanda eléctrica.</i>	50
<b>6 Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>Referencias</b>	<b>63</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla 1: Tipos de baterías más comunes en los coches eléctricos.</b> Fuente: RACE, Real Automóvil Club de España.	17
<b>Tabla 2: Resumen de los conectores con las cargas más utilizadas en cada uno de ellos.</b> Fuente: elaboración propia.	21
<b>Tabla 3: Vehículos eléctricos más vendidos en España, primer semestre de 2020.</b> Fuente: Ideauto (Instituto de Estudios de Automoción) y los diferentes fabricantes de vehículos.	27
<b>Tabla 4: Escenarios simulados.</b>	29
<b>Tabla 5: Ofertas de venta en el mercado diario.</b> Fuente: OMIE.	45
<b>Tabla 6: Ofertas de compra en el mercado diario.</b> Fuente: OMIE.	46



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1: Nuevas matriculaciones de turismos eléctricos en España.</b> Fuente: EAFO, European Alternative Fuels Observatory.	14
<b>Figura 2: Puntos de recarga en España.</b> Fuente: EAFO.	15
<b>Figura 3: Esquema de la carga en modo 1.</b>	18
<b>Figura 4: Esquema de la carga en modo 2.</b>	18
<b>Figura 5: Esquema de la carga en modo 3.</b>	19
<b>Figura 6: Esquema de la carga en modo 4.</b>	19
<b>Figura 7: Comparativa de los porcentajes de turismos eléctricos.</b> España vs. Unión Europea. Fuente: EAFO.	23
<b>Figura 8: Coches eléctricos en la Unión Europea según tipo.</b> Fuente: EAFO.	24
<b>Figura 9: Coches eléctricos en España según tipo.</b> Fuente: EAFO.	24
<b>Figura 10: Comparativa vehículos eléctricos por países.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IEA y EAFO.	25
<b>Figura 11: Simulador de recarga del vehículo eléctrico.</b> Fuente: REE.	27
<b>Figura 12: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día laborable en invierno y demanda promedio de 2018.</b> Fuente: REE.	30
<b>Figura 13: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día laborable en invierno.</b> Fuente: REE.	31
<b>Figura 14: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día festivo en invierno y demanda promedio de 2018.</b> Fuente: REE.	32
<b>Figura 15: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día festivo en invierno.</b> Fuente: REE.	33
<b>Figura 16: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día laborable en verano y demanda promedio de 2018.</b> Fuente: REE.	34
<b>Figura 17: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día laborable en verano.</b> Fuente: REE.	35
<b>Figura 18: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día festivo en verano y demanda promedio de 2018.</b> Fuente: REE.	36
<b>Figura 19: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día festivo en verano.</b> Fuente: REE.	37
<b>Figura 20: Las curvas de oferta y demanda del mercado y el equilibrio.</b>	40
<b>Figura 21: Desplazamiento de la demanda y nuevo equilibrio.</b>	41
<b>Figura 22: Diferenciales de los escenarios 1, 2 y 3.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	42
<b>Figura 23: Diferenciales de los escenarios 4, 5 y 6.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de	

OMIE.	42
<b>Figura 24: Diferenciales de los escenarios 1 y 4.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	43
<b>Figura 25: Curvas agregadas de oferta y demanda.</b> Fuente: OMIE.	47
<b>Figura 26: Evolución anual del precio de equilibrio sin VE.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	49
<b>Figura 27: Evolución anual de la demanda de equilibrio sin VE.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	50
<b>Figura 28: Evolución anual de la media diaria del diferencial de la demanda de equilibrio.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	51
<b>Figura 29: Evolución anual de la media mensual del diferencial de la demanda de equilibrio.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	52
<b>Figura 30: Evolución anual de la media diaria del diferencial del precio de equilibrio.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	53
<b>Figura 31: Evolución anual de la media mensual del diferencial del precio de equilibrio.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	53
<b>Figura 32: Evolución del precio de la electricidad el día 15 de enero.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	55
<b>Figura 33: Variación media en el precio de la electricidad ante un incremento porcentual en el número de vehículos eléctricos.</b> Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	56
<b>Figura 34: Evolución de la elasticidad precio de la oferta durante el año.</b> Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.	57





# 1 INTRODUCCIÓN

---

La Unión Europea, en adelante UE, busca avanzar hacia una economía neutra en carbono; esto significa que las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la actividad humana en los diferentes países miembros deben ser, al menos, iguales que el CO<sub>2</sub> que puede ser absorbido por la naturaleza (fundamentalmente océanos y bosques) y que el balance sea, por tanto, nulo. Esto se conoce comúnmente como huella cero de carbono. Para acercarse a este objetivo, la UE planteó una serie de metas con tres fechas clave: 2020, 2030 y 2050.

La UE acordó en el año 2007, con la vista puesta en el año 2020, un bloque de medidas sobre el clima y el medio ambiente cuyos objetivos fundamentales eran los llamados “Objetivos 20-20-20”; esto es, reducir un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (respecto a los niveles de 1990), fijar en un 20% la energía consumida en la UE procedente de fuentes renovables y mejorar un 20% la eficiencia energética –eficiencia medida en términos de reducción del consumo de energía–. Estas acciones fueron incorporadas a la normativa europea en el año 2009, a través de la Directiva 2009/28 CE de Energías Renovables.

En el año 2014 se fijaron los objetivos de cumplimiento de la agenda medioambiental para el año 2030, y posteriormente, en el año 2018, dichos objetivos fueron revisados al alza. Los puntos principales de este marco de actuación son: al menos un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, al menos un 32% de cuota de energías renovables y al menos un 32,5% de mejora de la eficiencia energética.

Para 2050, el objetivo es alcanzar una economía neutra en carbono, aunque las medidas concretas que se van a articular para lograr esta meta se tienen que discutir en el presente año 2020.

Centrándonos en el marco de actuación planteado para cumplir los objetivos mencionados en primer lugar, aquellos con fecha límite en 2020, y en concreto en el objetivo de utilización de energías renovables, los Estados miembros acordaron objetivos nacionales vinculantes que se establecieron siguiendo dos criterios: la producción de energías renovables de cada Estado miembro y la capacidad para poder incrementarla. Con estas medidas, la UE pretende conseguir, además del ya referido porcentaje del 20% de energía renovables, un objetivo añadido: que el 10% de la energía utilizada en el transporte provenga de fuentes renovables.

Para España, el objetivo del porcentaje de participación de las energías renovables con respecto al total de la energía generada a nivel nacional se fijó en el 20% en la normativa llamada Ley de Economía Sostenible, que proporciona al Plan de Energías Renovables 2011-2020 el apoyo legislativo necesario para el logro de sus objetivos, entre dichos objetivos el acordado con la UE

sobre energías renovables.

En España, según informa Red Eléctrica Española (REE) en su “Informe del Sistema Eléctrico Español 2018” [1], un 46,7% de la potencia eléctrica instalada en 2018 correspondía a instalaciones de energía renovable. Sin embargo, y según ese mismo informe, la cuota de la demanda de energía que se ha cubierto con energías renovables se ha mantenido relativamente estable desde 2013 (41,9% en 2013, 42,3% en 2014, 36,7% en 2015, 40,5% en 2016, 33,7% en 2017 y 40,1% en 2018).

El consumidor, cada vez más concienciado con el mantenimiento del medio ambiente, empieza a utilizar productos más respetuosos con la naturaleza (transporte, alimentación, textil...). Uno de estos productos cotidianos, utilizado por hogares y empresas, cuyo uso ha aumentado, es el vehículo eléctrico, que empieza sustituir al vehículo de combustión.

Por otra parte, los consumidores del vehículo eléctrico ven incentivado su uso mediante políticas de ayuda que provienen de todos los niveles de la Administración Pública (estatal, municipal, ...), incentivos como el acceso con vehículos eléctricos a zonas restringidas a los vehículos de combustión, la exención en algunos municipios de las tasas de circulación de vehículos y las ayudas estatales a la compra de vehículos eléctricos para fomentar la sustitución de los vehículos de combustión.

Según datos de la Dirección General de tráfico (DGT), en 2018 [2], en España existían 14.563.270 vehículos de gasolina y 18.574.542 de gasoil. Asimismo, se prevé que para finales de 2020 existan en circulación unos 60.000 vehículos eléctricos. En esta misma línea, el estudio “Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050” realizado por Deloitte [3], estima que, para alcanzar la descarbonización del transporte de pasajeros en 2050, en 2030 debería haber entre 4,4 y 6 millones de vehículos eléctricos.

El uso del vehículo eléctrico afectará directamente en la demanda de energía eléctrica, añadiendo una carga eléctrica a la red con el objetivo de cargar las baterías que alimentarán el motor eléctrico que lo propulsa. Un mayor número de coches eléctricos, por tanto, exigirá mayores cantidades de electricidad, lo que se traduce en una presión mayor sobre las instalaciones eléctricas ya existentes y en cambios significativos en el precio de la electricidad.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es analizar los efectos que causará sobre el mercado diario eléctrico español la introducción de automóviles alimentados por energía eléctrica. Como destacan Arcos, Maza y Núñez [4], el impacto de este tipo de vehículos dependerá de la penetración de éstos, que vendrá condicionada por una serie de barreras (económicas, técnicas y de infraestructura). Por supuesto, al coche eléctrico también lo acompañan una serie de instalaciones imprescindibles para su uso: electrolíneas y puntos de carga particulares con diferentes niveles de inteligencia en la gestión de la carga. Todos estos factores influirán en los efectos anteriormente mencionados, por lo que su análisis también forma parte de este trabajo. Para ello, se ha optado por dividir el proyecto en seis secciones. Tras esta introducción, numerada como sección 1, en la

sección 2 se realiza una breve presentación de los principales organismos que constituyen el sector eléctrico tanto a nivel español como europeo, para posteriormente exponer el funcionamiento del Sistema Eléctrico Español. La sección 3 desarrolla un análisis integral del coche eléctrico: introducción histórica, tecnología empleada actualmente, evolución de la implantación del vehículo eléctrico en España (y comparación con la existente en otros países) y, para terminar, descripción de los distintos escenarios posibles de implantación del vehículo eléctrico en el Reino de España, escenarios que se van a emplear en el análisis empírico que proponemos y que desarrollamos en secciones posteriores. La sección 4 ofrece una introducción teórica a algunas de las hipótesis sobre las que se fundamenta este trabajo, como la existencia de un mercado cercano que se puede suponer en competencia perfecta. Bajo dicho marco teórico, se introducen una serie de conceptos importantes, como el equilibrio del mercado o la elasticidad. Además, también se explica la obtención de los datos necesarios para el análisis del mercado eléctrico en los escenarios de implantación del coche eléctrico anteriormente mencionados. Por su parte, la sección 5 desarrolla un análisis de estática comparativa del mercado diario de la electricidad en España (analizando precios y cantidades horarios del año 2018), que consiste en comparar el antes y el después de la introducción del coche eléctrico, variando (como consecuencia de dicha introducción) la demanda de electricidad y dejando el resto de variables del mercado constantes (aplicamos por tanto el principio *ceteris paribus*). Finalmente, la sección 6 expone las principales conclusiones extraídas del proyecto.



# 2 EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

---

A partir del 29 de noviembre de 1997, con la entrada en vigor de la ley 54/1997, se inicia el proceso de liberalización del sector eléctrico español. Esta ley divide al sector en cuatro actividades principales: Generación, Transporte, Distribución y Comercialización. Estas actividades, que anteriormente se encontraban agrupadas, pasaron a funcionar independientemente. Las actividades de Generación y Comercialización serían actividades liberalizadas mientras que el Transporte y la Distribución quedarían como actividades reguladas.

## 2.1. Instituciones asociadas al sector eléctrico.

Para gestionar y regular el correcto funcionamiento del sector eléctrico existen distintas instituciones, tanto a nivel nacional como a nivel comunitario.

### 2.1.1. Instituciones europeas.

Las instituciones europeas han ido cobrando relevancia gradualmente, desde el inicio de la implantación del mercado interior de la electricidad en 1999.

Las instituciones energéticas de la Unión Europea (UE) relacionadas con el Sector Eléctrico son:

- Comisión Europea: Es el órgano ejecutivo de la Unión Europea. Se encarga de presentar nuevas propuestas legislativas, asignar los fondos de la UE, representar a la Unión internacionalmente y garantizar el cumplimiento de la normativa europea.
- Consejo Europeo: Está compuesto por los líderes políticos de los países miembros de la UE. El Consejo debate y toma decisiones sobre la dirección de las políticas de la UE, además de aprobar, junto con el Parlamento, las leyes propuestas por la Comisión.
- Parlamento Europeo: Es el órgano legislativo de la UE. Cada 5 años se realizan elecciones en los países miembros para elegir a sus componentes. Entre sus funciones se encuentran: Debatir acuerdos internacionales, acordar una política monetaria junto con el Banco Central Europeo y debe, junto con el Consejo, establecer el presupuesto de la UE y aprobar las propuestas legislativas realizadas por la Comisión,
- CEER (creado en el 2000, <https://www.ceer.eu/>): El Consejo de Reguladores Europeos de la Energía tiene como función principal la representación de los reguladores

energéticos de Europa en el ámbito internacional, aunque también realiza estudios sobre temas regulatorios y cooperación internacional. Pueden ser miembros de CEER todas las autoridades reguladoras nacionales de la energía de los países de la UE o del Área Económica Europea. Actualmente representa a 39 autoridades regulatorias de la energía, procedentes de 30 países miembros y 9 países observadores.

- ENTSO-E (creada en el 2008, <https://www.entsoe.eu/>): La Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad se encarga de proporcionar soporte en la redacción de códigos de red (normas que buscan integrar y hacer más eficiente el mercado europeo de electricidad) y de garantizar un canal para la cooperación entre gestores.
- ACER (creada en el 2011, <https://www.acer.europa.eu/>): La Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía garantiza que las políticas reguladoras de los países miembros avancen en la dirección de alcanzar los objetivos energéticos de la UE y la integración de los mercados.
- E.DSO (creada en el 2010, <https://www.edsoforsmartgrids.eu/>) La Asociación de Operadores de Sistemas de Distribución Europeos promueve el desarrollo de redes inteligentes (smart-grids), así como innovaciones en los mercados y sus regulaciones.

### 2.1.2. Instituciones nacionales.

Las instituciones nacionales siguen teniendo un peso fundamental en el correcto funcionamiento del sector. Las instituciones energéticas españolas relacionadas con el sector eléctrico son:

- Secretaría de Estado de Energía (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)
- Consejo de Seguridad Nuclear
- Oficina Española para el Cambio Climático
- Fondo Nacional de Eficiencia Energética (FNEE)
- Mercado Ibérico de la Electricidad (MIBEL)
- Operador del Mercado Ibérico (OMI)
- Red Eléctrica de España (REE)

- **Secretaría de Estado de Energía (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).**

Entre sus competencias (definidas en el BOE publicado el 14 de julio de 2018 [5]) se encuentran el desarrollo de la política energética, la elaboración de medidas para garantizar el abastecimiento energético, aprobación de tarifas, peajes y precios de productos energéticos y el seguimiento de los mercados energéticos.

- **Secretaría de Estado de Medio Ambiente (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).**

Algunas de sus competencias, especificadas en el BOE publicado el 14 de julio de 2018 [5], son: establecer políticas de protección medioambiental, incentivar la utilización de tecnologías no contaminantes y proteger la biodiversidad y los recursos naturales.

- **Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC, <https://www.cnmc.es/>).**

Es un organismo público que vela por la correcta operación de los mercados, de forma que exista una competencia real en éstos que redunde en un beneficio para los consumidores.

- **Consejo de Seguridad Nuclear (<https://www.csn.es/home>).**

Es el organismo encargado de garantizar la seguridad en el funcionamiento de las plantas nucleares, así como controlar y estudiar los efectos de la radiación en la población y el medioambiente.

- **Oficina Española para el Cambio Climático.**

Órgano dependiente de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente encargado de elaborar las políticas relacionadas con el cambio climático, así como de prestar de apoyo en asuntos relacionados con éste. También emprende acciones divulgativas y de concienciación, además de realizar estudios sobre el avance e impacto del cambio climático.

- **Fondo Nacional de Eficiencia Energética (FNEE).**

Ofrece un impulso económico a aquellas medidas o proyectos que supongan una mejora en la eficiencia energética en diferentes sectores. Depende del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, <https://www.idae.es/>), que a su vez se encuentra integrado como parte de la Secretaría de Estado de Energía

- **MIBEL** ([https://www.mibel.com/es/home\\_es/](https://www.mibel.com/es/home_es/)).

En el Mercado Ibérico de la Electricidad (MIBEL) se gestionan las actividades liberalizadas (Generación y Distribución) interrelacionando la oferta y la demanda eléctrica.

En 2007 se constituye el MIBEL, que integraba los mercados, hasta entonces independientes, de España y Portugal. La entrada en funcionamiento del MIBEL fue el resultado de un proceso de negociación entre ambos países para unir sus sistemas eléctricos, dando así un paso adelante en la construcción a nivel europeo de un mercado interior de la electricidad. Desde el 13 de mayo de 2014, el MIBEL se encuentra acoplado a los mercados del noroeste de Europa.

El MIBEL está dividido básicamente en dos tipos de mercados: El mercado a plazo y los mercados diario e intradiario. El mercado a plazo está gestionado por el OMIP (Operador de Mercado Ibérico - Polo Portugués), mientras que el mercado diario está gestionado por el OMIE (Operador de Mercado Ibérico - Polo Español). En el mercado a plazo se gestionan las contrataciones mucho tiempo antes de que se produzca el servicio, hasta dos días antes, es decir, la oferta de generación se relaciona con la demanda días, meses y hasta dos años antes de que se consuma. Dentro de este mercado nos encontramos un mercado no organizado de contratos bilaterales (llamado OTC) y un mercado organizado que es gestionado por el OMIP. En el mercado diario existen varios tipos de mercados: el mercado para el día siguiente (day-ahead market) (gestionado por el OMIE), en el que se casan la oferta y la demanda; el mercado de restricciones (gestionado por REE) en el que se garantiza el suministro evitando congestiones en la red; y el mercado de servicios complementarios, en el que se controla la reserva de potencia y la ausencia de la demanda prevista (gestionado por REE). En el día en el que se va a producir el servicio pueden ocurrir cambios de última hora, tanto en la oferta como en la demanda eléctrica, estas modificaciones se gestionan en los mercados intradiarios (6 sesiones en el día, gestionados por el OMIE y un mercado continuo transfronterizo europeo, gestionado por OMIE dentro del proyecto XBID; Cross-Border Intraday Market Project, Proyecto de Mercado Intradiario Transfronterizo) y pueden producirse también cambios técnicos que son gestionados por REE.

- **OMI** (<https://www.grupoomi.eu/>).

El Operador del Mercado Ibérico (OMI) es realmente un grupo empresarial formado por dos compañías ya mencionadas anteriormente: OMIE y OMIP. Mientras que OMIE se encarga de los mercados diario e intradiario, OMIP gestiona el mercado a plazo de electricidad. Además, conjuntamente tienen funciones claves para el correcto funcionamiento del mercado, puesto que además de recibir ofertas de generación y compra de electricidad, gestionar los pagos que se deriven de la casación de la oferta y la demanda de electricidad y de realizar dicha casación, también deben proponer normativas que acerquen el mercado hacia un mejor funcionamiento y una mayor transparencia, manteniendo la confidencialidad de aquellos datos sensibles que obtengan de cualquiera de las partes

implicadas en esta transacción.

- **Red Eléctrica de España** (<https://www.ree.es/es>).

Red Eléctrica de España es una compañía con dos funciones principales. En primer lugar, es el Operador del Sistema (OS) eléctrico español. A su vez, REE también se encarga de la actividad de transporte (como transportista único) y de mejorar la red. Este modelo es conocido como TSO (Transmission System Operator) y en él, un único agente (el TSO) realiza la operación del sistema y el transporte, además de ser el propietario de las instalaciones destinadas a ese fin.

La operación del sistema supone controlar las actividades del sector para que el suministro sea seguro y sin cortes, puesto que en caso contrario la calidad del servicio sería insuficiente como para considerar su utilización en entornos tanto industriales como domésticos. Otro punto fundamental es el control del equilibrio generación-demanda. Al no poder almacenar la electricidad en grandes cantidades, la generación debe estar equilibrada con la demanda en tiempo real. Para ello existen varios mecanismos de ajuste:

- Solución de restricciones técnicas: Una vez casadas la oferta y la demanda de electricidad para un día determinado, REE comprueba la viabilidad de los modelos de producción y simula distintos escenarios con posibles fallos de la red, a lo que suma decisiones relacionadas con la seguridad. Tras esto, si es necesario, se cambia la planificación de la producción.
- Servicios complementarios:
  - Restricción primaria: Se calcula la variación que los generadores disponibles pueden ofrecer de forma instantánea tanto para aumentar la producción de electricidad como para disminuirla. En caso de detectar un desajuste, los reguladores de velocidad de estos generadores entrarán en funcionamiento automáticamente y actuarán como primera medida para equilibrar la generación con la demanda. Este servicio es obligatorio y no conlleva una remuneración.
  - Regulación secundaria: Está gestionada por el sistema de Regulación Compartida Peninsular (RCP), que a su vez es controlado por REE. En la regulación secundaria es este RCP quien controla las potencias necesarias que los generadores deben aportar, o dejar de suministrar, para garantizar que generación y demanda se mantengan equilibradas. Conlleva una remuneración que se calcula a partir del coste marginal de la banda de potencia de cada hora, aunque no sólo se remunera la banda de potencia, sino también la energía utilizada, al precio de sustitución de la energía terciaria.

- Regulación terciaria: Está compuesta por la variación máxima de potencia que se puede reclutar como máximo en 15 minutos y puede sostenerse durante 2 horas. Su misión es la recuperación de la reserva secundaria. El precio y cantidad se regula a través de un mercado que tiene lugar a última hora el día antes de que se preste el servicio. Sólo conlleva remuneración si lo utiliza el Operador del Sistema.
- Gestión de desvíos: Este método de control busca ajustar posibles desequilibrios detectados entre la generación y el consumo de electricidad tras el cierre de cada sesión del mercado intradiario pero antes de que se produzca el despacho de electricidad acordado en el mercado diario. Funciona mediante mecanismos de mercado, aunque sólo entra en funcionamiento si se supera un desequilibrio de 300 MW en media hora.

## 2.2. Actividades del sector eléctrico.

La ley básica de partida de regulación del Sistema Eléctrico Español actual es la ley 54/1997, que ha sido actualizada por la ley 24/2013. Esta ley divide al sistema eléctrico español, como se ha comentado anteriormente, en dos actividades reguladas (transporte y distribución) y dos actividades liberalizadas (generación y comercialización). Las actividades de transporte y distribución tienen condición de monopolios naturales, ya que su estructura de costes presenta fuertes economías de escala.

La actividad de transporte tiene como objetivo llevar la electricidad desde los lugares en los que se genera hasta el punto de entrega a los distribuidores, manteniendo calidad y seguridad en el suministro. Estaría formado por las líneas eléctricas y las redes de transformación que tienen, con carácter general, un valor igual o superior a 220 kV.

La actividad de distribución recibe la electricidad de la red de transporte en las subestaciones eléctricas y las lleva hasta el consumidor final. En España existen 5 grandes distribuidoras y algo más de 300 pequeñas distribuidoras.

La actividad de generación es la que se encarga de producir la energía eléctrica que luego utilizará la red de transporte. En 2018, en los sistemas peninsulares, el 21,5% de la producción fue de origen nuclear, el 19,8% eólico, el 14,1% carbón, el 13,8% hidráulico, 11,9% cogeneración, 10,7% ciclo combinado, 4,8% solar y un 3,4% de otras tecnologías, haciendo un total de 246.893 GWh. En los sistemas extrapeninsulares la generación se repartió entre las siguientes tecnologías: 47,5% fuel-gas, 4,4% eólica, el 17% carbón, 0,3% cogeneración, 25,9% ciclo combinado, 2,7% solar y un 2,2% en otras tecnologías, sumando un total de 14.081 GWh (fuente: REE, Informe del Sistema Eléctrico Español 2018).

La comercialización se encarga de ofrecer al cliente final la electricidad y recibe a cambio una contraprestación económica por parte de éste. El suministro se realiza mediante alguna de las

siguientes formas:

- Suministro de referencia:
  - Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC), que es un precio calculado por REE determinado por el precio de los mercados diario e intradiario. Pueden acogerse a ella los consumidores con potencia contratada menor a 10 kW.
  - Precio Fijo Anual en Mercado Regulado, que es el precio ofrecido por las comercializadoras de referencia (empresas obligadas al suministro por la Administración)
- Mediante un contrato negociado con una comercializadora en el mercado liberalizado.
- Mediante Bono Social, al que pueden acogerse los consumidores más vulnerables.



# 3 EL COCHE ELÉCTRICO

---

## 3.1. Historia

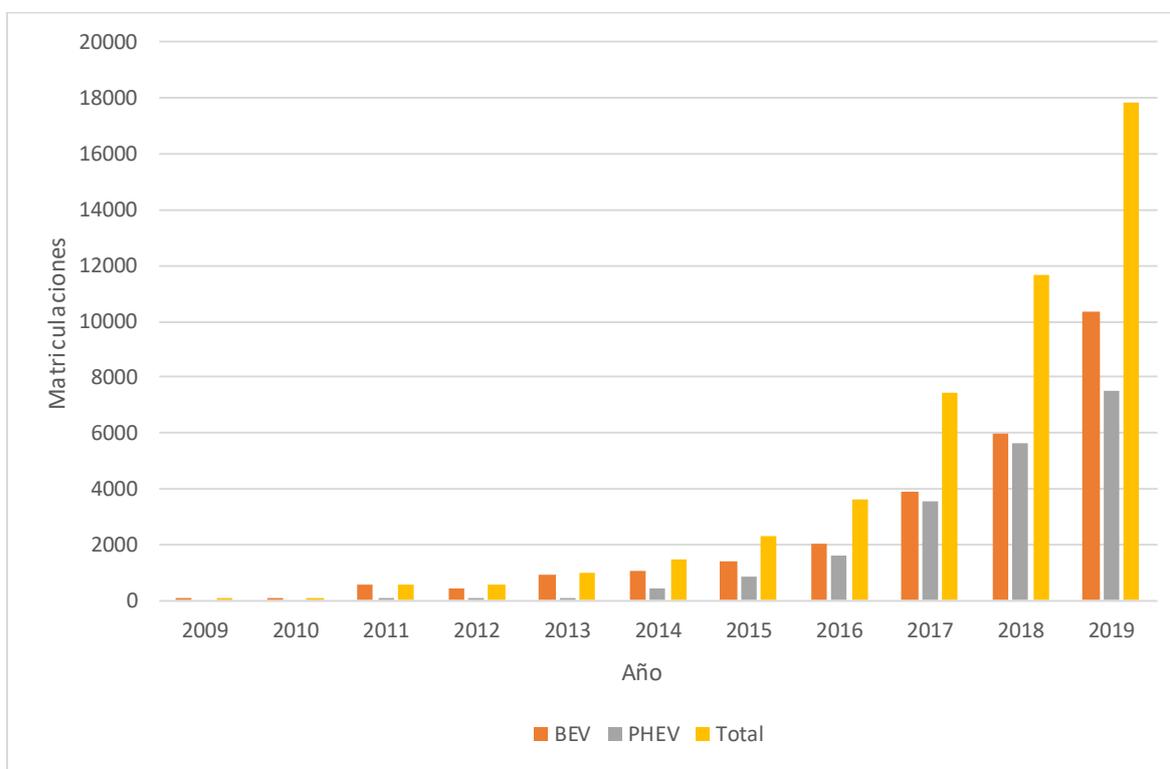
Como ocurre con otros inventos, no podemos establecer un origen claro del primer prototipo de vehículo eléctrico (VE). Existían desarrollos tecnológicos de este tipo en Centroeuropa, Estados Unidos y Gran Bretaña en el primer tercio del siglo XIX. Como anécdota, el primer coche eléctrico en España lo diseñó el ingeniero industrial sevillano Francisco Domínguez-Adame Romero en 1946 y, con una autonomía de 80 kilómetros, lo utilizó como vehículo familiar durante 12 años. La utilidad de estos vehículos era muy limitada, debido fundamentalmente a las baterías: eran pesadas, no recargables y de baja capacidad, con lo cual, las distancias que se podían recorrer eran cortas, por lo que estos modelos se utilizaron en circuitos cerrados y no fueron considerados una alternativa viable de movilidad. Pese a ello, el vehículo eléctrico siguió evolucionando.

En 1859 la invención de la batería recargable de plomo-ácido en Francia por parte del científico Gaston Planté impulsó la utilización de este tipo de vehículos. A partir de aquí se empieza a popularizar el uso del vehículo eléctrico, y por tanto su fabricación, aunque su utilización se limitó a recorridos urbanos. A final del siglo XIX, aparece el gran competidor del motor eléctrico: el motor de combustión interna. Ya en el siglo XX, en concreto en el año 1901, en Estados Unidos, el inventor Thomas Edison desarrolla una nueva batería de níquel-hierro que mejora las prestaciones de la batería de Planté. Los distintos desarrollos que se estaban produciendo en el ámbito del coche eléctrico parecían indicar que éste se encontraría en el futuro de la industria del automóvil, que se estaba desarrollando a principios de este siglo. En 1903 se crea la Ford Motor Company, fabricante de vehículos propulsados por motor de combustión, y en 1908, con la aparición de fabricación en serie de su modelo Ford T, se produce el principio del fin del coche eléctrico, que no volverá a tomar protagonismo hasta el siglo XXI.

## 3.2. Actualidad.

El transporte representa un cuarto de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea [6]. La sustitución de los vehículos con motor de combustión interna por sus homólogos eléctricos es uno de los caminos más prometedores en la lucha contra el cambio climático. La reducción de los gases expulsados por los vehículos de combustión supone no sólo una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también una mejora directa en la calidad de vida de los seres vivos, puesto que la contaminación atmosférica, especialmente en las grandes ciudades, causa diversos problemas de salud, como aquellos que afectan al sistema respiratorio.

Las estimaciones realizadas por la Comisión de Expertos de Transición Energética [7] sitúan el número de turismos eléctricos en España en 2030 entre 1 y 2,4 millones.



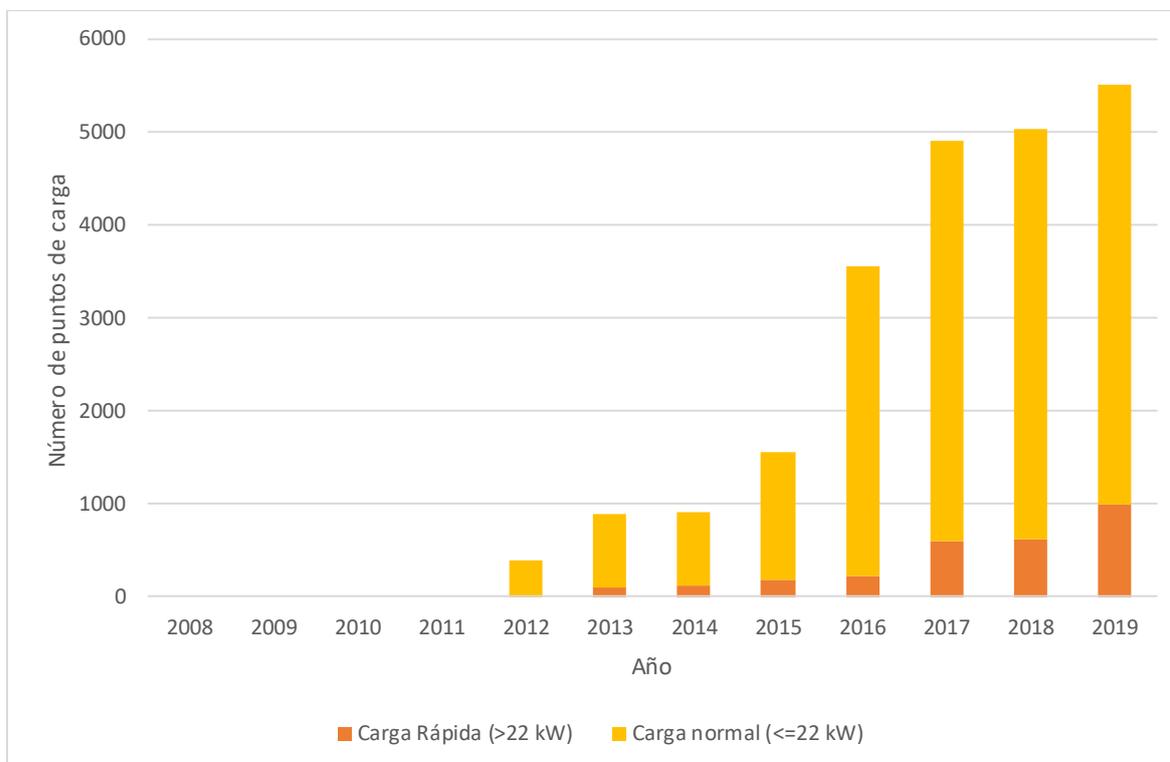
**Figura 1: Nuevas matriculaciones de turismos eléctricos en España.** Fuente: EAFO, European Alternative Fuels Observatory.

Nota: BEV: Battery electric vehicle, PHEV: Plug-in hybrid electric vehicle.

Sólo echando un vistazo a la prensa y a la información comercial de los diferentes fabricantes de vehículos, podemos observar que el coche eléctrico es ya una realidad, aunque aún serán necesarios algunos ajustes (tanto tecnológicos como de creación de incentivos para su uso) para que su adopción sea mayoritaria. Según un estudio de la consultora Deloitte [3] a final del año 2020 debería haber en España un parque de 300.000 vehículos eléctricos para cumplir los objetivos medioambientales comprometidos con la Unión Europea.

La autonomía de los últimos modelos de coche eléctrico oscila entre los 200 y los 400 kilómetros. Ésta es una de las principales desventajas que presentan ante sus competidores de motor de combustión. Otras desventajas son que la red de puntos de recarga es todavía incipiente, que el tiempo de recarga no es comparable al de un vehículo de motor de combustión –un turismo eléctrico de gama media tarda en cargar el 70% de la batería, aproximadamente, entre 1 hora, usando la carga rápida, y

unas 24 horas, usando la carga doméstica– y que su precio es superior al de un vehículo de motor de combustión de una gama similar (entre un 50% y un 100% más caro).



**Figura 2: Puntos de recarga en España.** Fuente: EAFO.

Numerosas ciudades españolas han implementado medidas de apoyo a la utilización del vehículo eléctrico, como la exención del impuesto de circulación de vehículos o el uso de zonas restringidas a vehículos de motor de combustión.

### 3.3. Funcionamiento.

Existen 4 tipos básicos de vehículos eléctricos:

- HEV (Hybrid Electric Vehicle, Vehículo Eléctrico Híbrido).
- PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable).
- BEV (Battery Electric Vehicle, Vehículo Eléctrico de Batería).
- EREV (Extended Range Electric Vehicle, Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida).

- El HEV es un vehículo que tiene dos motores, uno de combustión y otro eléctrico, y que utiliza el motor eléctrico mientras exista carga en la batería y en ciertos rangos de conducción. Cuando no es posible esto, entra en funcionamiento el motor de combustión. La batería se carga mediante el motor eléctrico utilizando las frenadas y las inercias del motor de combustión.
- El PHEV presenta las características de un híbrido y la batería puede recargarse externamente. Las baterías son de más capacidad que en los HEV y, por tanto, el modo eléctrico tiene más autonomía.
- Los BEV, son los que podemos llamar “eléctricos puros”. Constan de motores eléctricos alimentados por una batería que se puede cargar externamente, conectándola a la red, o utilizando los sistemas de frenada regenerativa.
- Los EREV son vehículos que llevan un motor de combustión que utilizan exclusivamente para cargar la batería, mientras que sólo el motor eléctrico se encarga de propulsar su movimiento. Por lo tanto tienen mayor autonomía que los BEV. Si bien, tienen el inconveniente de no ser eléctricos puros.

En definitiva, los componentes fundamentales de un coche eléctrico (BEV) son: uno o más motores eléctricos, baterías y un sistema de carga.

El motor eléctrico va acoplado al eje motriz. En el caso de que haya 2 motores se acoplan a cada uno de los ejes. Incluso hay casos en los que el vehículo tiene 4 motores eléctricos, cada uno de los cuales iría acoplado a cada una de las ruedas. Para turismos de gama media, el motor eléctrico que mueve al turismo oscila entre los 80 y los 100 kW de potencia. Por su parte, las baterías podemos encontrarlas de distintos tipos: níquel-cadmio, níquel-metalhidruro, ión-litio, polímero de litio y las de plomo-ácido, que están ganando popularidad de nuevo gracias al uso del grafeno.

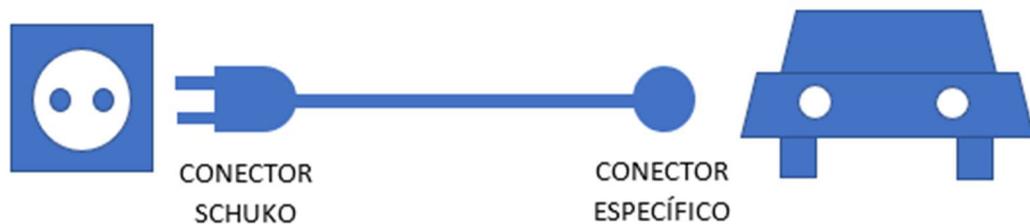
**Tabla 1: Tipos de baterías más comunes en los coches eléctricos.** Fuente: RACE, Real Automóvil Club de España.

Tipo de batería	Ventajas	Desventajas	Ciclo de vida	Mantenimiento
<b>Níquel-cadmio</b>	Fiabilidad Posibilidad de reciclado total	Alto precio Efecto memoria Contaminante Baja resistencia a la temperatura	Entre 1500 y 2000 ciclos de carga-descarga	Necesidad de cuidado específico
<b>Níquel-metalhidruro</b>	Reducción del efecto memoria Eliminan el cadmio	Baja fiabilidad No soporta fuertes descargas Baja resistencia a la temperatura	Entre 300 y 500 ciclos de carga-descarga	Elevado
<b>Ión-litio</b>	Segura Ligera Eficiente No tiene efecto memoria	Alto precio Frágil Necesita circuitería especial	Entre 400 y 1200 ciclos de carga-descarga	No requiere mantenimiento
<b>Polímero de litio</b>	Ligera Eficiente	Alto precio Ciclo de vida corto	Menos de 1000 ciclos de carga-descarga	No requiere mantenimiento
<b>Plomo-ácido</b>	Bajo coste Buena respuesta en frío	Pesadas Tóxicas Recarga lenta	Entre 500 y 800 ciclos de carga-dsecarga	Mantenimiento periódico

### 3.4. Modos de carga.

Existen hasta 4 modos de carga en los que se utilizan distintos conectores y que permiten distintas velocidades.

- Modo 1: es un modo de carga que podemos denominar como “doméstico”. Consiste en un cable conectado a una base de enchufe tipo SCHUKO y que en el otro extremo del cable tiene un conector específico para el vehículo eléctrico. Sólo permite una carga lenta y carece de una protección eléctrica específica por lo que no es recomendable su uso para turismos eléctricos, sino para pequeños vehículos de movilidad individual (patinetes, bicicletas...).



**Figura 3: Esquema de la carga en modo 1.**

- Modo 2: en este modo existe una protección específica en el cable de conexión, que además permite la comunicación entre el vehículo y el punto de carga. La carga es lenta y los conectores normalmente son tipo SCHUKO en el lado del punto de carga (permite también otro tipo de conectores), mientras que son específicos en el extremo del vehículo. El punto de carga suministra corriente alterna (CA), por lo que dentro del vehículo existirá un convertidor de corriente alterna a corriente continua.



**Figura 4: Esquema de la carga en modo 2.**

- Modo 3: en este modo el punto de carga suministra corriente alterna y permite una carga más rápida que los modos anteriores. Las protecciones y el control de la conexión se realizan en el lado de la red, lo que permite, por ejemplo, detectar que el coche no está conectado. Existe comunicación entre el vehículo y el punto de carga. El cable de conexión suele estar integrado por uno de sus extremos en el punto de carga y en el otro extremo tiene un conector específico para el vehículo. Al igual que en el modo 2, deberá existir un convertidor de corriente alterna a corriente continua.



**Figura 5: Esquema de la carga en modo 3.**

- Modo 4: la alimentación se produce en corriente continua lo que elimina la condición de tener un convertidor de corriente en el vehículo. Permite una carga rápida. El cable de conexión está integrado en el lado de la red y es específico en el extremo del vehículo.



**Figura 6: Esquema de la carga en modo 4.**

### 3.5. Niveles de carga.

La Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE, Society of Automotive Engineers) establece 3 niveles de carga según la transferencia de electricidad que se realice, con lo que se limita el uso de los

distintos tipos de conectores para los modos de carga.

- Nivel 1: Carga en corriente alterna, hasta 16 A a 120 V, con una potencia de 2 kW (monofásica).
- Nivel 2: Carga en corriente alterna, hasta 80 A a 240 V, con una potencia de 20 kW (trifásica).
- Nivel 3: Carga en corriente continua, hasta 400 A a 600 V, con una potencia de 240 kW.

### 3.6. Tipos de conectores.

En la carga del vehículo eléctrico podemos encontrar una gran variedad de conectores, siendo esto uno de los problemas a los que nos enfrentamos cuando acudimos a cargar el vehículo. Diferentes tipos de conectores se utilizan en distintas regiones del mundo, si bien en Europa se ha extendido el uso de unos conectores determinados.

- SCHUKO: cumple la normativa CEE 7/4 como tipo F. Sólo se puede utilizar en cargar lentas, sin comunicación y permite hasta 16 A.

- SAE J1772: se puede utilizar para cargas lentas y rápidas según el nivel. Permite hasta 16 A en el nivel 1 y hasta 80 A en el nivel 2. Es un modelo Tipo 1 según la normativa de la IEC (International Electrotechnical Commission). Utilizado fundamentalmente en Norteamérica.

- MENNEKES: su nombre proviene del primer fabricante de este tipo de conector. Sigue la normativa VDE-AR-2623-2-2 de la industria alemana y posteriormente fue aceptada por la IEC como conector Tipo 2. En monofásico permite hasta 16 A (recarga lenta) y en trifásico permite hasta 63 A (recarga rápida). Es uno de los estándares utilizados en Europa.

- SCAME: es un conector Tipo 3 según la normativa IEC. Permite recargas monofásicas y trifásicas de hasta 32 A, con lo que se consigue una recarga semi-rápida. Actualmente está en desuso.

- CHAdeMO: Permite una carga rápida en corriente continua y puede llegar hasta 200 A para realizar una carga super-rápida. Es un estándar utilizado en Japón.

- CCS COMBO: Permite un sistema de carga combinada, en continua o alterna (CCS, Combined Charging System). Utilizado principalmente en Europa.

**Tabla 2: Resumen de los conectores con las cargas más utilizadas en cada uno de ellos.** Fuente: elaboración propia.

Tipo de cargador	Corriente máxima	Modo de carga	Velocidad de carga*
Schuko	16 A - CA	Modo 1	Lenta (18 horas)
	16 A - CA	Modo 2	Lenta (18 horas)
SAE J1772	16 A - CA	Modo 1	Lenta (18 horas)
	32 A - CA	Modo 2	Semi-rápida (7 horas)
Mennekes	16 A(1 F) - CA	Modo 2	Lenta (18 horas)
	63 A (3 F) - CA	Modo 3	Rápida (1,5 horas)
Scame	32 A - CA	Modo 3	Semi-rápida (7 horas)
CHAdeMO	200 A - CC	Modo 4	Super-rápida ( 50 min)
CCS Combo	63 A (3 F) - CA	Modo 3	Rápida (1,5 horas)
	200 A - CC	Modo 4	Super-rápida ( 50 min)

\*Tiempos aproximados referidos a una batería tipo de 50 kWh

La instalación eléctrica de los puntos de carga debe contar con las protecciones oportunas contra sobreintensidades, sobretensiones y derivaciones. La normativa que regula estas instalaciones es la ITC-BT-52, que regula, entre otros aspectos, la previsión de carga.

### 3.7. Incidencia en la red eléctrica.

Dentro de este trabajo, este apartado cobra una relevancia especial. Posteriormente se analizarán diferentes escenarios de implantación del coche eléctrico, es decir, diferentes incidencias en la red eléctrica, desde un punto de vista económico. Evaluar, por tanto, los requerimientos técnicos que la introducción de nuevos vehículos eléctricos exigirá a la red se convierte en un paso necesario para conocer la viabilidad de estos escenarios.

El impacto en la red eléctrica principalmente se deberá al número de vehículos, al tiempo de carga, y al requerimiento exigido a la red durante la misma. Según un estudio de Deloitte [3] en el año 2030 el parque de vehículos eléctricos que se podrían conectar a la red se estima entre 4,4 y 6 millones. Esta carga adicional a la que se verá sometida la red eléctrica provocará efectos negativos en la misma, como la posibilidad de picos de demanda en la red, desequilibrios en la red o la reducción de la vida útil de las instalaciones eléctricas, que será necesario gestionar. Para ello, podemos considerar distintas

alternativas:

- Inversión en nuevas instalaciones y en el mantenimiento preventivo de las existentes: parece evidente que, si va a aumentar la demanda por la recarga de vehículos eléctricos, necesitaremos reforzar la red. En muchos casos, cuando se plantea ampliar la red, el problema que puede surgir no proviene realmente de la instalación del cableado y equipamiento, sino de las canalizaciones en las ciudades o líneas de postes en los extrarradios. Si valoramos que los servicios en las zonas no urbanas no se incrementarán de tal manera que sea necesario reforzar la red para poder atenderlos, nos quedaría darle una solución al problema de la red urbana, la de las ciudades. En estos casos, si la planificación a largo plazo de las canalizaciones o líneas de postes se hizo adecuadamente, únicamente deberíamos ampliar el número de cables instalados y el equipamiento que los acompaña, si bien, en algunos casos, sería necesario la realización de obras para poder atender el incremento de la demanda, con los problemas que esto conlleva: permisos, molestias para el vecindario, ruido. Es conveniente planificar adecuadamente las nuevas infraestructuras de carga, como por ejemplo electrolinerías, pudiendo evitar así desequilibrios y la ejecución de infraestructuras de red no necesarias. Las electrolinerías requieren una alta demanda de electricidad en un corto periodo de tiempo, por lo que el número de este tipo de instalaciones será limitado en los núcleos de población, con el objetivo de evitar los desequilibrios anteriormente mencionados. Se podría estudiar también una generación local de energía (generación distribuida), si bien, como norma general, no sería factible en entornos urbanos, podrían instalarse en las afueras de las ciudades.

- Gestión inteligente de los puntos de carga: utilizando el Protocolo de Punto de Carga Abierto (OCPP, Open Charge Point Protocol) es posible la comunicación de los puntos de carga con una plataforma que gestiona la red que forman las distintas estaciones de carga, con lo que mejoraríamos la carga de la red y posibles desequilibrios.

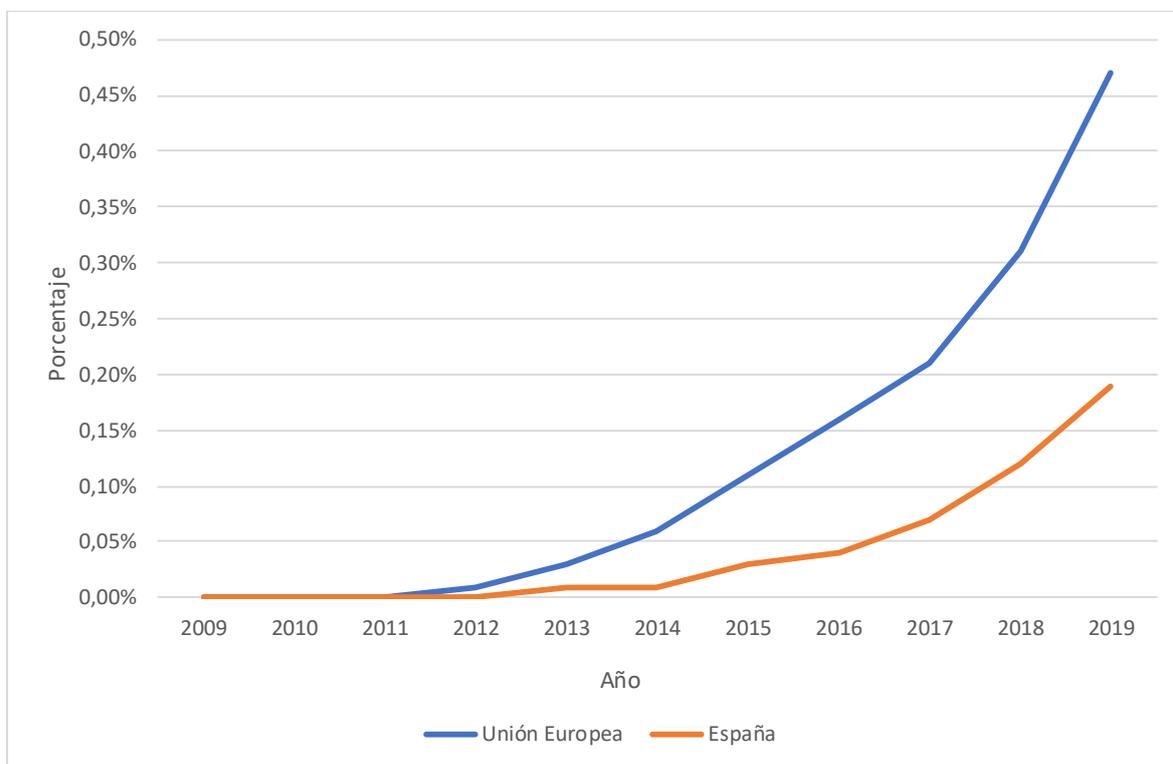
- Gestión de la conexión punto de carga-vehículo: en un modelo de recarga inteligente existe una comunicación vehículo-red que permite intercambiar datos de uso de la electricidad, de forma que exista una mejor distribución de la carga. Existen también distintos sistemas comerciales que realizan un control inteligente de un parque de vehículos, gestionando la carga de éstos según el uso al que se destinen, por ejemplo, dando prioridad a la carga de vehículos que trabajen en servicios de urgencia y deben tener una disponibilidad mayor, que a otros que tienen un menor uso. Incluso, recurriendo a la tecnología V2G (Vehicle to Grid, Del Vehículo a la Red), podríamos obtener electricidad para consumo doméstico a partir de la batería del coche eléctrico, aunque actualmente esta tecnología está presente en escasos modelos. Estos tipos inteligentes de carga se traducen en una menor incidencia en la red.

- Promoción de medidas de estímulo ya existentes: actualmente ya existen medidas que podrían aplicarse con éxito al caso del vehículo eléctrico. Las tarifas con discriminación horaria son un ejemplo de ello, ya que permiten al cliente pagar menos por la electricidad en aquellas horas en las que es más

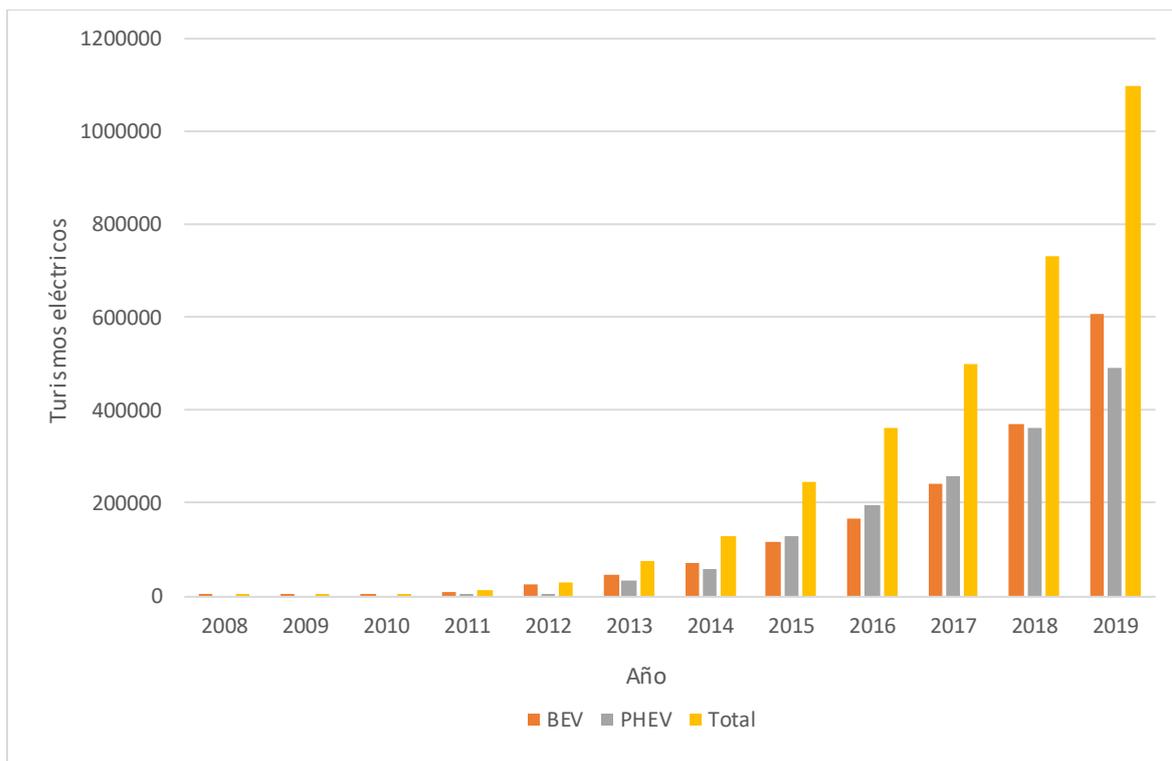
barata, es decir, en las que hay menos demanda. La aplicación de estas tarifas al vehículo eléctrico supondría una recarga más barata para el cliente, a la vez que evitamos picos de demanda en horas punta.

### 3.8. Evolución del vehículo eléctrico.

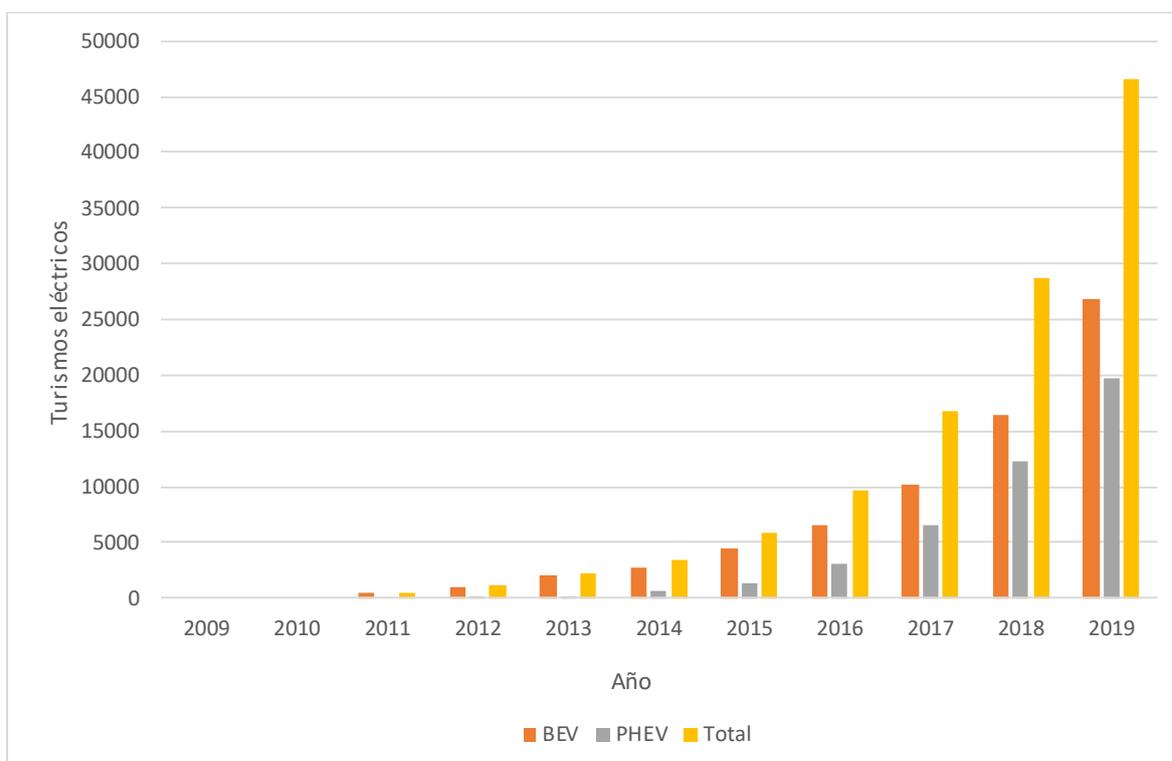
El número de vehículos eléctricos en España ha ido creciendo de manera apreciable en la última década. Actualmente, el parque de turismos eléctricos en España es de 53.191 unidades, lo que supone un porcentaje aproximado del 0,22% con respecto del total de turismos existentes (EAFO, European Alternative Fuels Observatory, Observatorio Europeo para Combustibles Alternativos). En la Unión Europea el número de turismos eléctricos es de 1.254.693 unidades, que representa aproximadamente un 0,52% del total de turismos de la Unión Europea (EAFO).



**Figura 7: Comparativa de los porcentajes de turismos eléctricos. España vs. Unión Europea.**  
Fuente: EAFO.



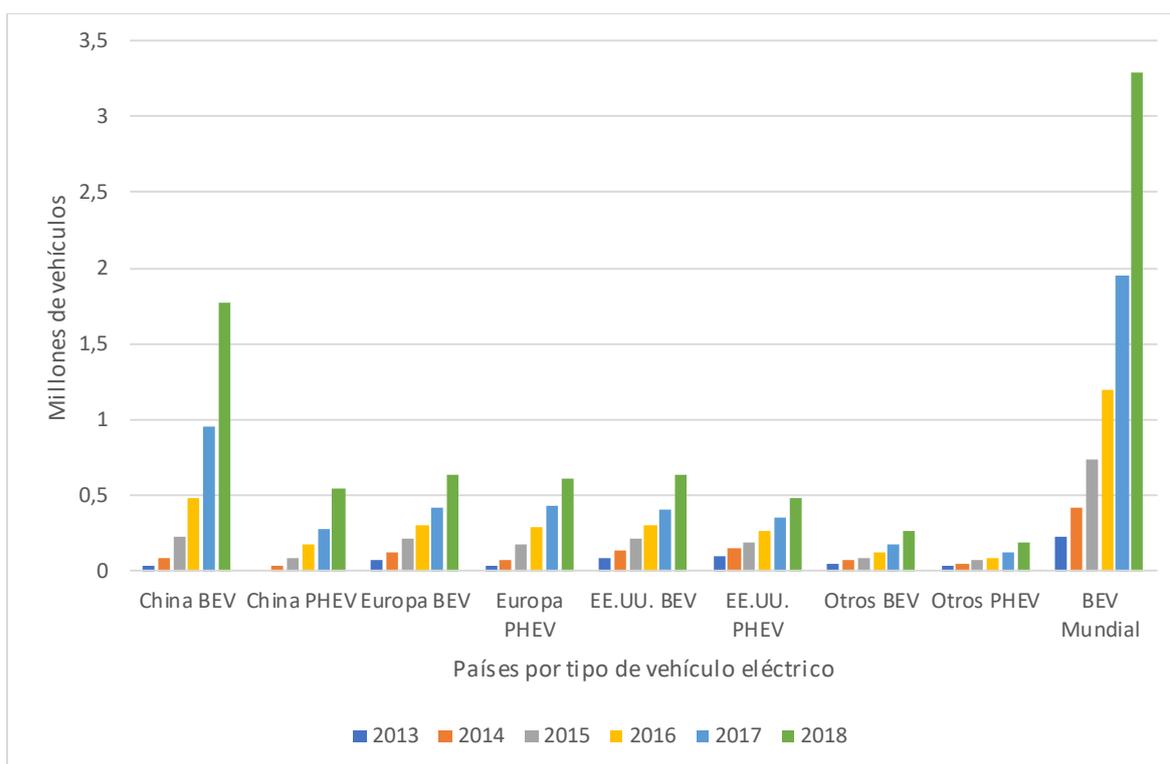
**Figura 8: Coches eléctricos en la Unión Europea según tipo.** Fuente: EAFO.



**Figura 9: Coches eléctricos en España según tipo.** Fuente: EAFO.

El número de vehículos eléctricos deberá seguir creciendo si queremos cumplir con los objetivos medioambientales ya comentados (Objetivo 20-20-20, reducción del 40% de los gases de efecto invernadero para el año 2030, etc.).

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, International Energy Agency), con respecto al resto del mundo los vehículos eléctricos tipo BEV de Europa (incluyendo países no pertenecientes a la Unión Europea) suponen aproximadamente 1/5 del total de los vehículos de este tipo existentes en el mundo, muy por detrás de China, que representa más de la mitad de los vehículos BEV del mundo.



**Figura 10: Comparativa vehículos eléctricos por países.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IEA y EAFO.

Para conseguir un mayor crecimiento del parque de vehículos eléctricos, en España se han planificado distintos incentivos:

- Ayudas a la compra del vehículo eléctrico (plan MOVES 2020). El Gobierno aporta una ayuda económica a la compra de BEV o PHEV, que aumenta en el caso de que se entregue en la compra del nuevo coche el vehículo de combustión interna que estemos usando.
- Exención del impuesto de matriculación.
- Exención o reducción del impuesto de circulación. Hay ayuntamientos que eximen a los vehículos eléctricos del pago, al menos en parte, del impuesto de circulación.

- Acceso a zonas exclusivas de circulación y aparcamiento. Los vehículos eléctricos tienen acceso a circular en zonas restringidas prohibidas para los vehículos de combustión interna. Además, en algunas regiones se les autoriza a utilizar el carril Bus-VAO (Autobuses y Vehículos de Alta Ocupación). Numerosos ayuntamientos permiten también que los vehículos eléctricos estacionen en zonas de aparcamiento regulado (zonas azules) gratuitamente.

En relación con las políticas de estímulo relativas al coche eléctrico, es interesante tener en cuenta el resultado obtenido por Núñez y Arcos [8], que destaca que, para apoyar el despliegue del vehículo eléctrico, resultan más efectivas aquellas políticas destinadas a favorecer las industrias auxiliares, como la de los puntos de carga, sobre las orientadas a estimular el mercado.

### 3.9. Modelos de vehículos eléctricos más vendidos en España.

El incremento en la popularidad de los coches eléctricos ha llevado a que las diferentes empresas automovilísticas oferten numerosos modelos de este tipo de vehículos. Estos modelos tienen diferentes características, en función del público objetivo al que se dirigen. A continuación, se presenta una tabla comparando los 5 modelos de PHEV y los 5 modelos de BEV más vendidos en España en el primer semestre de 2020, ordenados por precio en orden creciente. En ella se han incluido los aspectos que los distintos constructores reflejan con mayor importancia en sus catálogos de venta, entendiendo que son los criterios de búsqueda principales de los futuros compradores.

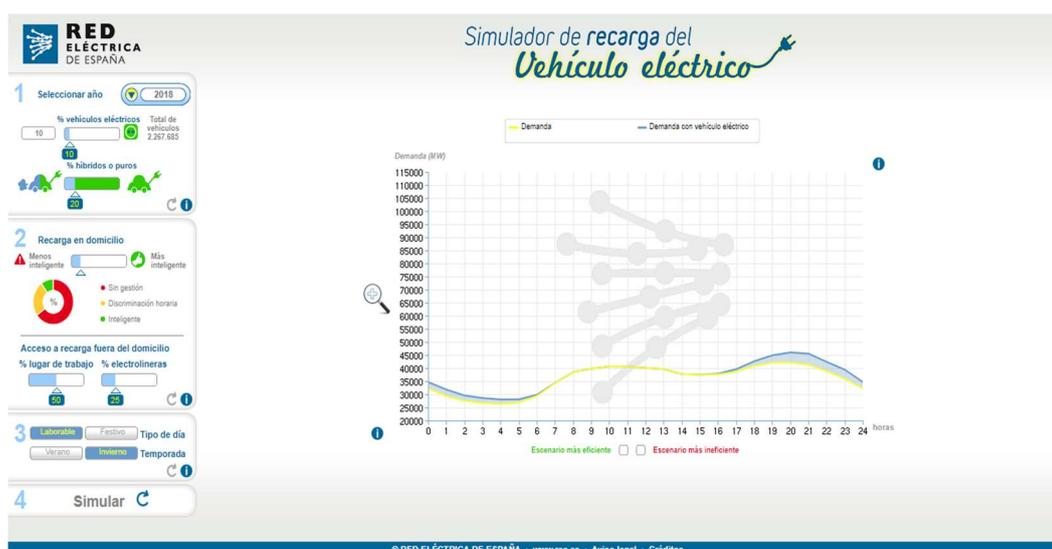
Para determinar la autonomía de las baterías, los fabricantes han seguido para todos los modelos expuestos el procedimiento WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure, Procedimiento de Ensayo de Vehículos Ligeros a Nivel Mundial). Éste es un nuevo estándar que busca medir el consumo de los vehículos de forma más realista que el estándar anterior, el llamado NEDC (New European Driving Cycle, Nuevo Ciclo de Conducción Europeo). Sobre la autonomía de la batería es importante destacar dos puntos. En primer lugar, la autonomía de los PHEV está referida a un modo de conducción completamente eléctrico, sin intervención del motor de gasolina. En segundo lugar, aunque la utilización del WLTP ofrece una imagen más real de la autonomía de las baterías, ésta depende de diversos factores: el estilo de conducción del usuario, el recorrido a realizar (pendientes, paradas, carga en el maletero, ...) o incluso el clima. Los vehículos híbridos eléctricos enchufables (PHEV), como se ha comentado anteriormente, disponen de dos tipos de motores, uno eléctrico y otro de combustión. En modo eléctrico, el vehículo permite una autonomía en torno a 50 km. Los motores pueden funcionar independientemente o de forma conjunta. En la columna “potencia del motor”, para los PHEV, las potencia que se refleja es la del conjunto del sistema (suma de la potencia del motor de combustión y del motor eléctrico).

**Tabla 3: Vehículos eléctricos más vendidos en España, primer semestre de 2020.** Fuente: Ideauto (Instituto de Estudios de Automoción) y los diferentes fabricantes de vehículos.

MODELO	Nº PLAZAS	CAPACIDAD MALETERO (litros)	TIPO	BATERÍA (kWh)	AUTONOMÍA MÁXIMA (km)	POTENCIA DEL MOTOR (kW)	PRECIO (euros)
SEAT Mii electric	5	251	100% VE	36,8	259	83	17.800
RENAULT ZOE	5	338	100% VE	40 - 52	390	80 - 100	28.485 - 32.162
PEUGEOT e-208	5	311	100% VE	50	340	100	30.050
NISSAN LEAF	5	394	100% VE	40 - 62	270 - 385	110 - 160	31.900 - 38.950
HYUNDAI IONIQ PHEV	5	341	PHEV	8,9	52	104	33.525
KIA Niro PHEV	5	324	PHEV	8,9	58	103	35.800
FORD KUGA PHEV	5	411	PHEV	14,4	56	168	37.800
PEUGEOT 3008 Hybrid	5	395	PHEV	13,2	53	212	38.700
MINI Cooper SE ALL4 Countryman	5	405	PHEV	10	52	162	41.800
TESLA Model 3	5	425	100% VE	50 - 75	409 - 560	228 - 365	49.000 - 65.300

### 3.10. Diferentes escenarios de implantación del vehículo eléctrico en España.

Para conocer la demanda actual de energía eléctrica y el impacto que el coche eléctrico tendría sobre ésta, se ha utilizado el Simulador de Recarga del Vehículo Eléctrico disponible en la web de Red Eléctrica de España (<https://www.ree.es/sites/all/SimuladorVE/simulador.php>).



**Figura 11: Simulador de recarga del vehículo eléctrico.** Fuente: REE.

Como se puede observar en la imagen, este simulador permite modificar los siguientes parámetros:

- Año: para este estudio se ha seleccionado el año 2018, puesto que los datos del OMIE que se van a analizar son los de dicho año.
- Porcentaje de vehículos eléctricos sobre el parque total de turismos: cambiando esta variable podemos simular escenarios con diferentes niveles de penetración del vehículo eléctrico.
- Porcentaje de vehículos eléctricos puros y de vehículos híbridos enchufables: La herramienta considera solo los vehículos cuya batería puede cargarse conectándose a la red.
- Nivel de inteligencia de la carga doméstica: Esta variable permite modificar el nivel de gestión de los puntos de carga instalados en plazas de aparcamiento particulares. Se consideran tres niveles:
  - Sin gestión: el usuario no cuenta con sistemas de optimización de la recarga.
  - Discriminación horaria: el vehículo se cargará durante aquellas horas en las que la electricidad es más barata.
  - Inteligente: existe comunicación entre el vehículo y la red. Se tienen en cuenta las necesidades del sistema y de los usuarios.
- Acceso a recarga en el lugar de trabajo y en electrolinerías.
- Tipo de día y temporada: el simulador considera dos tipos de día, laborable y festivo, y dos temporadas, verano e invierno. Las horas de mayor demanda varían según la temporada (uso de calefacciones, aire acondicionado, ...) y el nivel de actividad laboral.

Para obtener una imagen más completa del posible impacto del vehículo eléctrico en la demanda de electricidad, se han simulado seis escenarios diferentes variando los parámetros anteriormente mencionados:

**Tabla 4: Escenarios simulados.**

Parámetros		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
% VE (0 - 100%)		10	15	20	10	15	20
Tipo de VE (0-100%)	% Híbrido (PHEV)	20	20	20	20	20	20
	% Puro (BEV)	80	80	80	80	80	80
Gestión carga (0-100%)	% Sin gestión	30	30	30	65	65	65
	% Discriminación horaria	40	40	40	25	25	25
	% Inteligente	30	30	30	10	10	10
% Carga en lugar de trabajo (0 - 100%)		50	50	50	50	50	50
%Carga en electrolinerías (0 - 100%)		25	25	25	25	25	25

Los escenarios 4, 5 y 6 consideran un menor número de puntos de carga inteligentes instalados en garajes particulares (65 % de los puntos no tendrían ningún tipo de gestión, un 25 % funcionaría con un modelo de tarifa con discriminación horaria y el 10 % restante serían puntos de carga inteligente) con respecto al estudiado en los escenarios 1, 2 y 3, donde el 70 % tendría algún nivel de inteligencia en la carga. Según la evolución de los precios de compra de estos puntos de carga para particulares, la demanda se aproximará más a unos escenarios u otros.

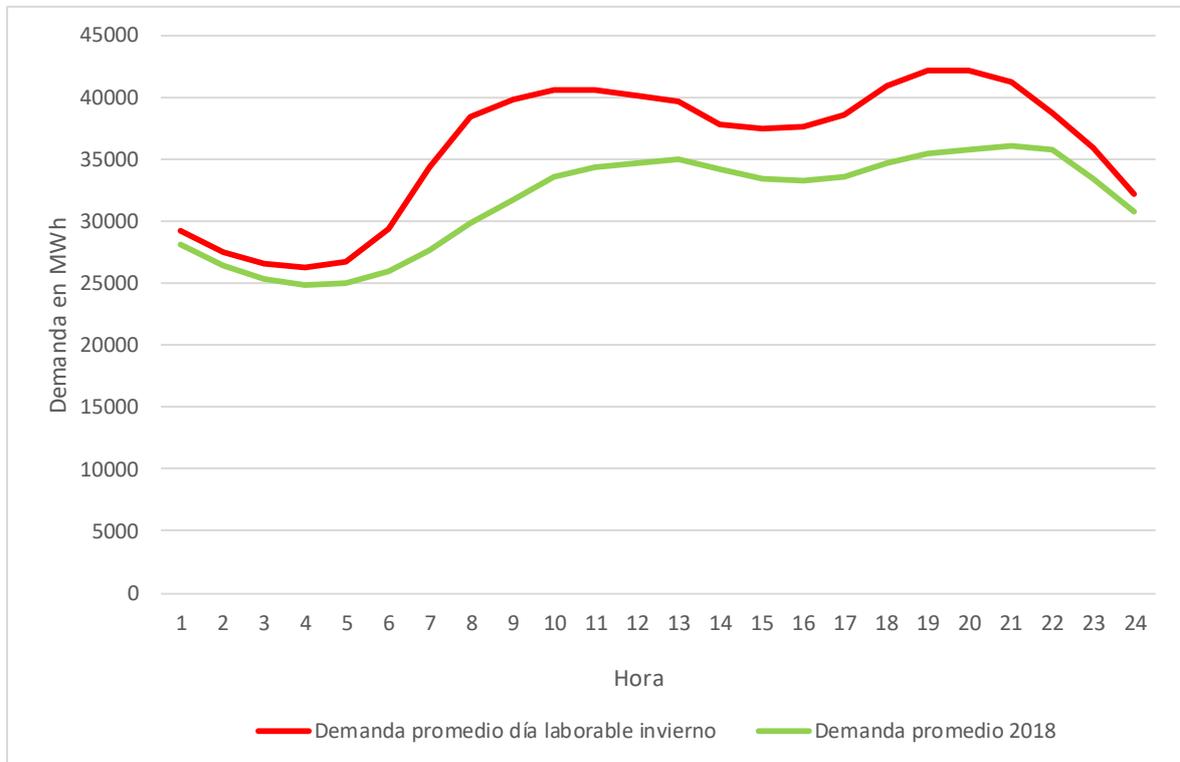
Por otra parte, se ha considerado un nivel máximo de penetración del vehículo eléctrico (% VE) de un 20% con respecto al total de turismos que circulaban en 2018 (escenarios 3 y 6), lo que se traduce en unos 4,5 millones de unidades de vehículos eléctricos. Los demás escenarios de implantación del VE son menos optimistas en este sentido, pues se simulan porcentajes del 10% y del 15% de vehículos eléctricos respecto al total de turismos en España en 2018, representando respectivamente unos 2,25 y 3,5 millones de unidades de vehículos eléctricos. Teniendo en cuenta los números actuales de vehículos eléctricos en circulación en España, estos escenarios nos permiten estimar, para un futuro cercano, la variación positiva de la demanda de electricidad debida a este tipo de vehículos.

### 3.10.1. Análisis de la demanda de electricidad en los diferentes escenarios de implantación del coche eléctrico.

En este apartado se procede a analizar gráficamente la demanda de electricidad diaria para el año 2018 en función del tipo de día (laborable o festivo) y de la estación (distinguiendo, grosso modo, 6 meses de calor o verano y 6 meses de frío o invierno), y considerando además los 6 escenarios descritos anteriormente. Para cada combinación “tipo de día / tipo de estación”, comparamos en un primer gráfico la demanda diaria promedio para esa combinación y la demanda promedio del año, ofrecidas por REE, todo ello sin adición de nueva demanda debida a la venta de coches eléctricos. En una

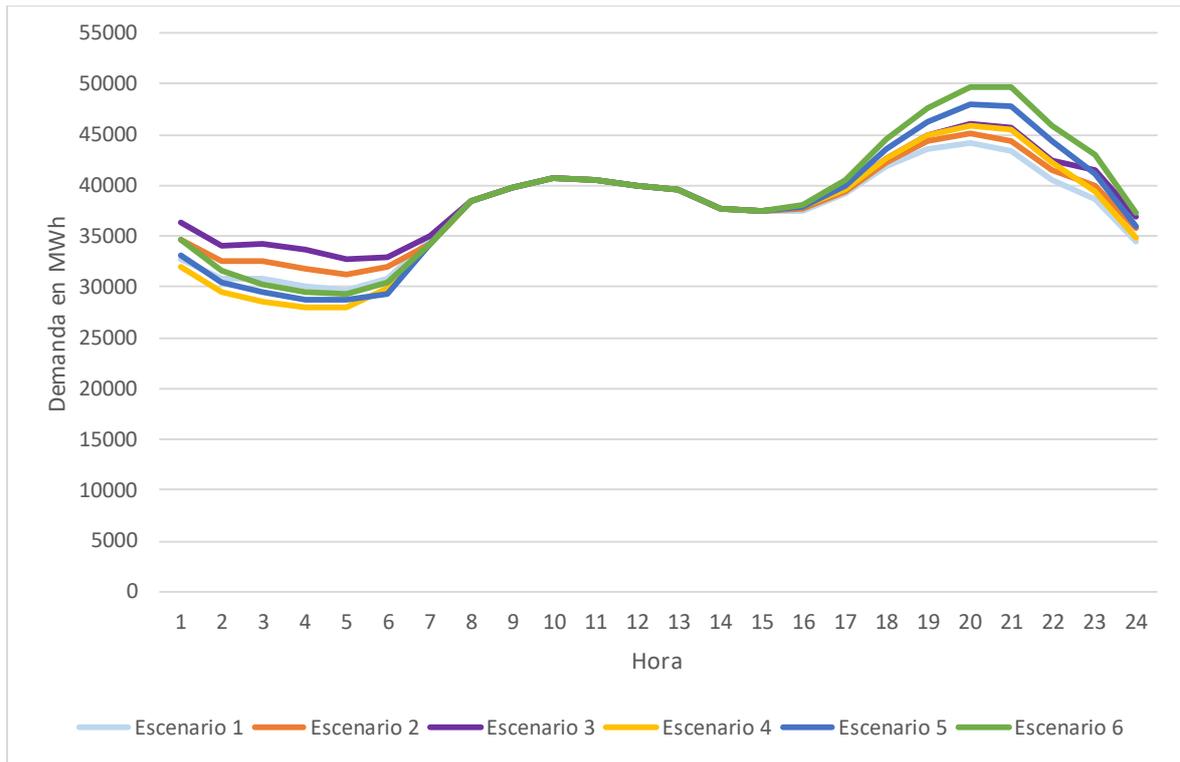
segunda figura se comparan las demandas que existirían en cada uno de los seis escenarios de penetración del coche eléctrico considerados.

- Laborable invierno



**Figura 12: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día laborable en invierno y demanda promedio de 2018.** Fuente: REE.

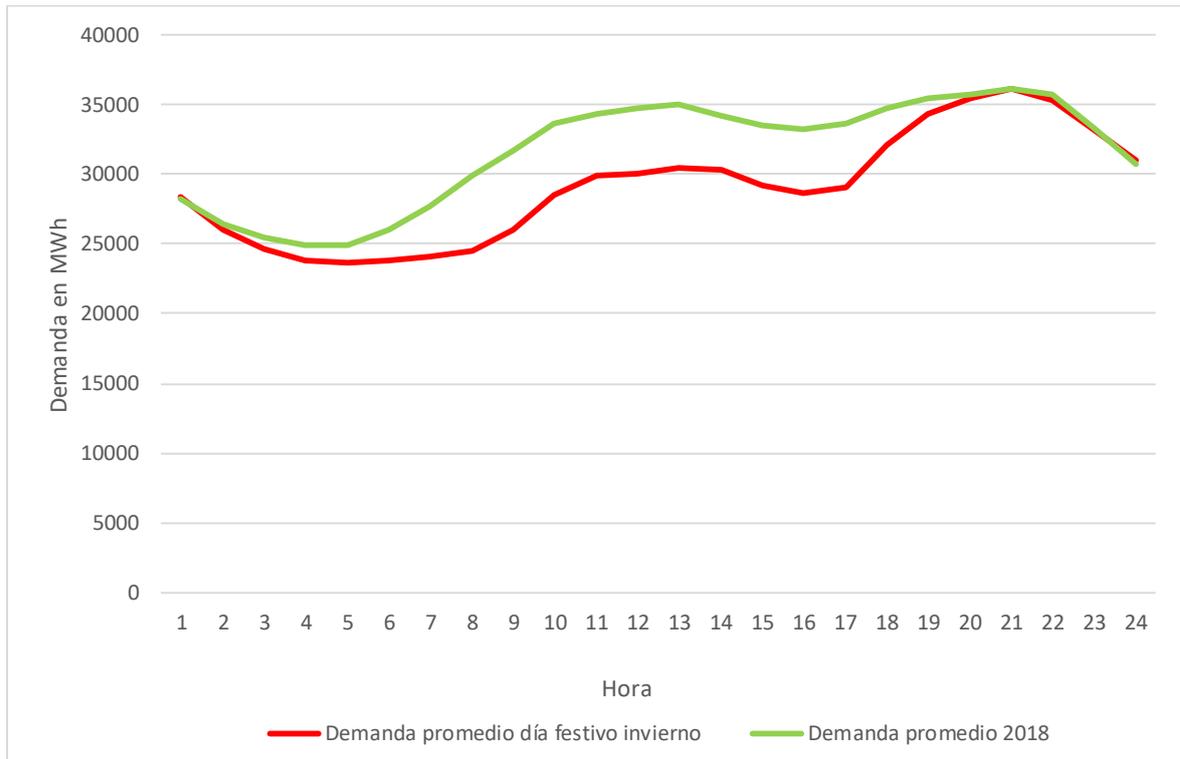
Para la combinación “laborable invierno”, REE registra una demanda diaria promedio que supera al promedio diario del año 2018. Destaca como la diferencia máxima entre ambas es de 8000 MWh aproximadamente, aunque tanto en las primeras como en las últimas horas del día esta diferencia se reduce drásticamente.



**Figura 13: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día laborable en invierno.** Fuente: REE.

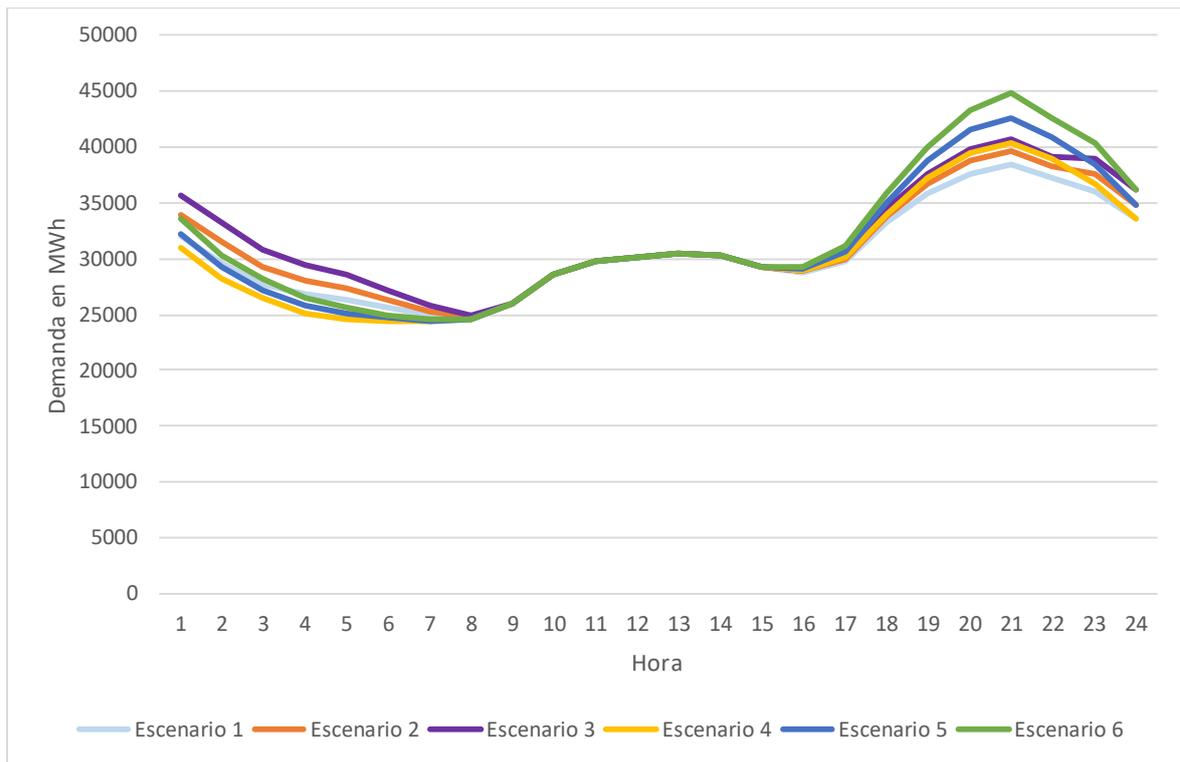
Al analizar la Figura 13, se aprecia que, aproximadamente, entre las horas 1 y 8 de un día laborable en invierno son los escenarios con más puntos de carga inteligentes los que exigen una mayor demanda de electricidad a la red, mientras que los escenarios 4, 5 y 6, con menos puntos de carga inteligente, se sitúan por encima entre las horas 18 y 24, con una pequeña subida del escenario 3 sobre la hora 23.

- Festivo invierno



**Figura 14: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día festivo en invierno y demanda promedio de 2018.** Fuente: REE.

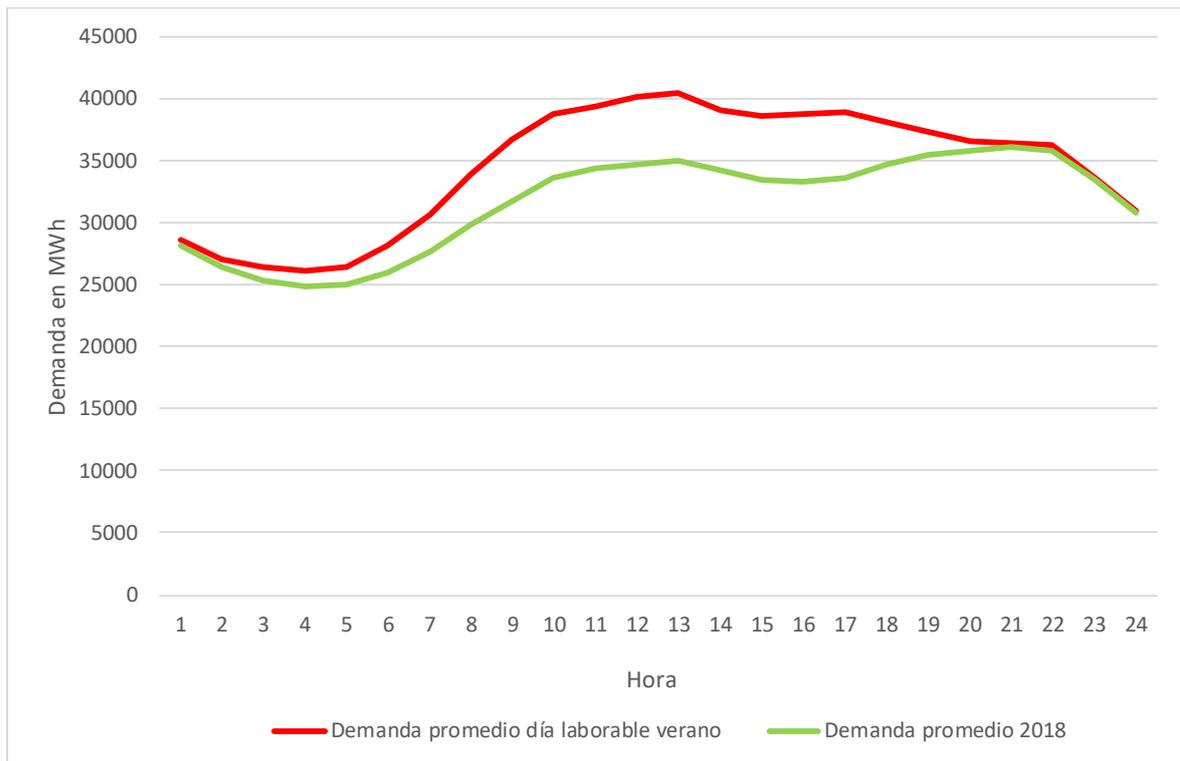
La Figura 14 pone de manifiesto que la demanda promedio de electricidad para la combinación “día festivo en invierno” es inferior, en general, a la demanda promedio para el año 2018, siendo la diferencia máxima entre ambas unos 5000 MWh. Destaca como ambas gráficas se aproximan para las últimas horas del día.



**Figura 15: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día festivo en invierno.**  
Fuente: REE.

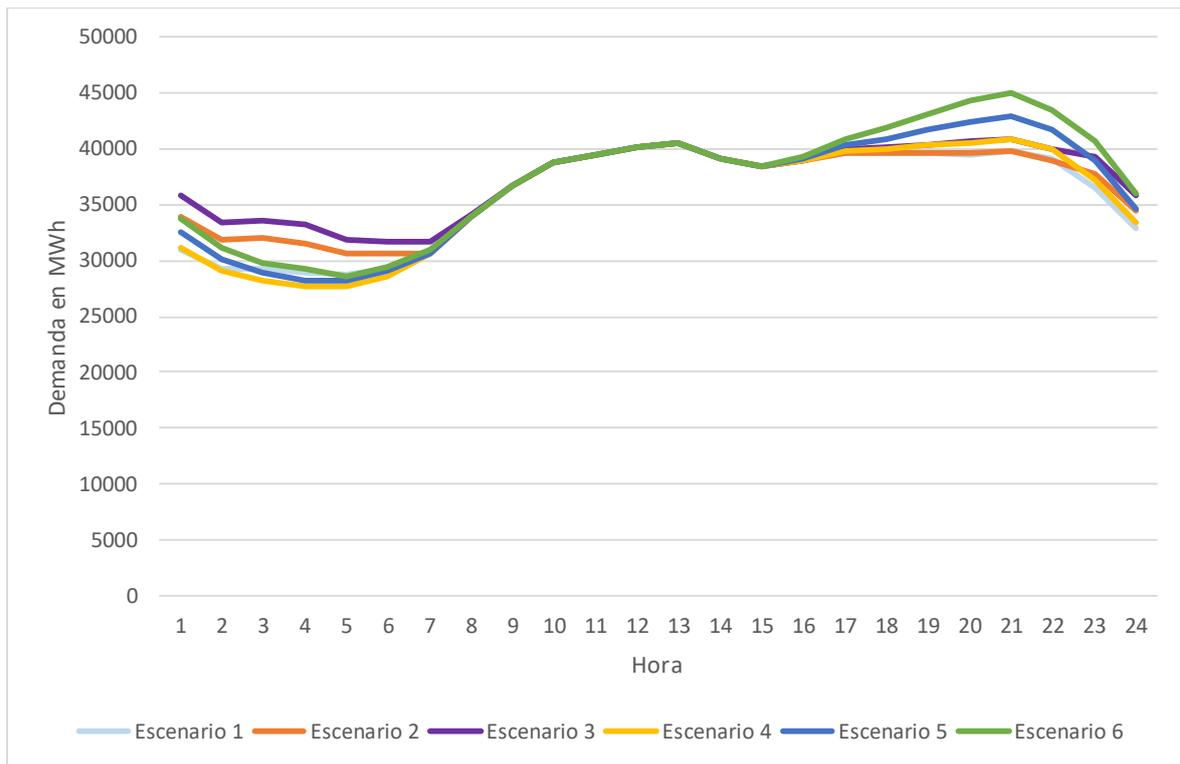
Se aprecia, al estudiar la Figura 15, un fuerte aumento en la demanda a últimas horas de la tarde, aumento que se aproxima a los 15000 MWh en el escenario 6 entre las horas 12 y 21. Sin embargo, si comparamos las Figuras 15 y 13, se observa como la demanda del día festivo de invierno es inferior, comparando los mismos escenarios entre sí, que la existente en los días laborables de invierno.

- Laborable verano



**Figura 16: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día laborable en verano y demanda promedio de 2018.** Fuente: REE.

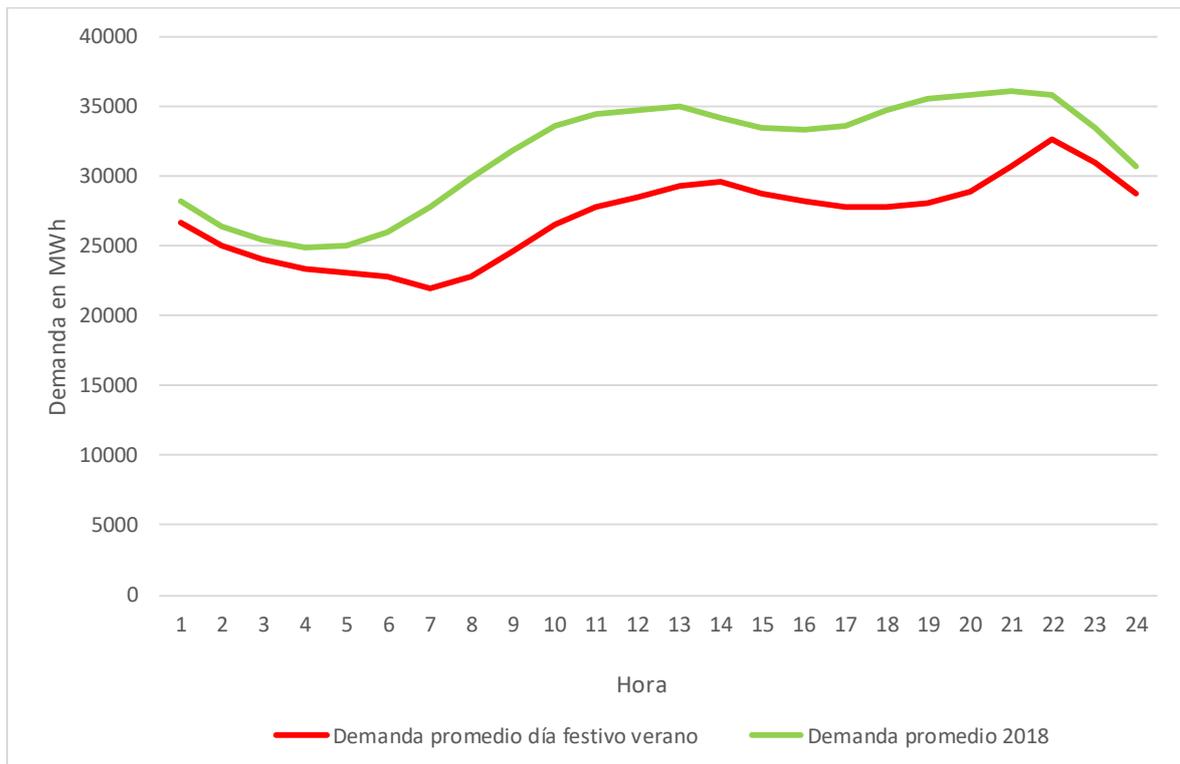
Los días laborables de verano, la demanda promedio vuelve a ser mayor que la demanda media para 2018, como ocurría con los días laborables de invierno. A pesar de este dato, los promedios reflejados en la Figura 16 mantienen una diferencia menor durante el día que en el caso anteriormente mencionado. Destaca también como existe un único pico de demanda, que se alcanza en torno a las 13 horas, mientras que para las dos combinaciones de invierno anteriormente estudiadas obteníamos dos máximos de demanda, uno al mediodía aproximadamente y otro al final de la tarde.



**Figura 17: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día laborable en verano.** Fuente: REE.

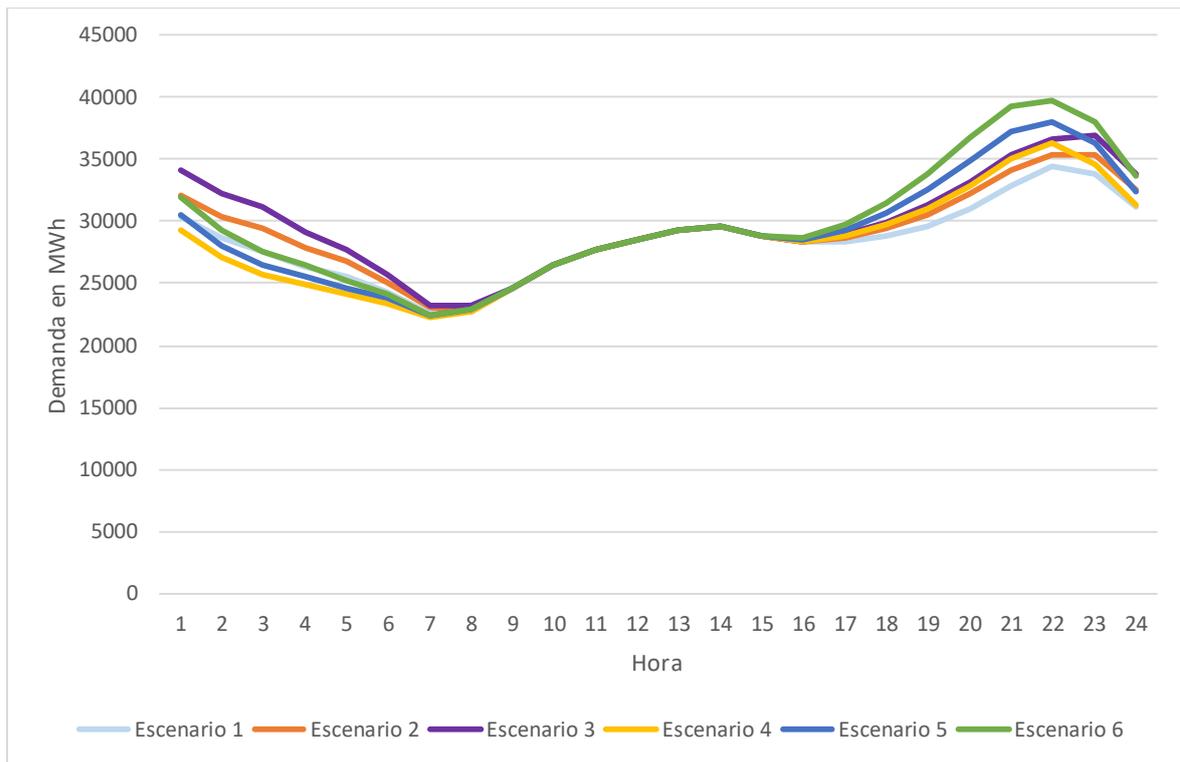
Llama la atención de la Figura 17 como, para cada escenario, la demanda se mantiene aproximadamente constante en las primeras horas del día y a lo largo de la tarde, salvo para los escenarios 5 y 6, que registran picos de demanda en torno a la hora 21. El elevado número de coches eléctricos de estos escenarios y el bajo número de puntos de carga inteligente justifica este incremento en la demanda.

- Festivo verano



**Figura 18: Comparativa demanda promedio de electricidad para un día festivo en verano y demanda promedio de 2018.** Fuente: REE.

La demanda para los días festivos de verano es la menor de todas las que se dan en el año, estando durante todas las horas del día por debajo de la obtenida para los días festivos de invierno (que, como se expuso en la Figura 14, también presentaban una demanda promedio por debajo de la registrada para 2018). Se percibe por tanto la importancia del papel que juega la actividad laboral en la demanda de electricidad.



**Figura 19: Comparativa de demandas en los diferentes escenarios para un día festivo en verano.**  
Fuente: REE.

Se registra para los diferentes escenarios, como muestra la Figura 19, un rápido descenso de la demanda en las primeras horas del día, al igual que un rápido incremento en la demanda entre las horas 16 y 22.

Nótese como las subidas de la demanda se dan fuera de las principales horas productivas. Este resultado está justificado, puesto que, como se ha expuesto anteriormente, los picos de demanda en las horas principales para el suministro eléctrico afectarían sobre la calidad del mismo que perciben los usuarios.



# 4 EL MERCADO DIARIO DE LA ELECTRICIDAD

---

## 4.1. El mercado en competencia perfecta, la estática comparativa y la elasticidad.

Un mercado en competencia perfecta (sobre el mercado en competencia perfecta, véase el manual de Mankiw [9]) cumple con las siguientes características:

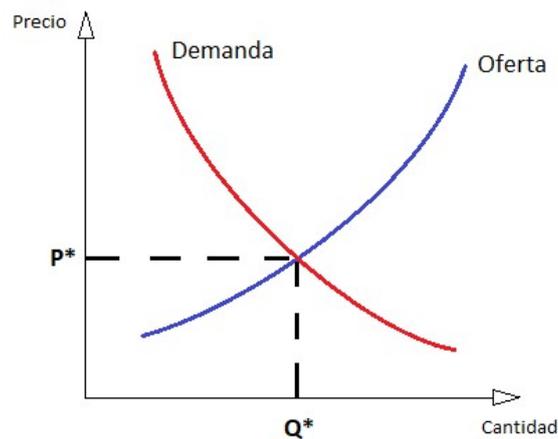
- El producto que se intercambia es homogéneo. Esto quiere decir que el bien ofertado por una empresa en particular es idéntico al que oferta cualquier otra empresa del mercado.
- Existen muchos compradores y vendedores, por lo que uno solo de ellos (con su deseo individual de oferta o de demanda) no puede modificar el precio del mercado, que vendrá dado por la acción conjunta de la oferta y la demanda del mercado. Por esta razón, se dice que los agentes participantes en el mercado son precio-aceptantes (no precio-decisores).
- Información perfecta para compradores y vendedores. Todos los agentes conocen con detalle las condiciones del mercado. Las disposiciones a cobrar y a pagar de unos y otros son conocidas por todos.
- Libre entrada y salida de empresas del mercado a largo plazo.

En el mercado eléctrico español, el generador, el comercializador, así como el consumidor directo (grandes empresas principalmente), tienen acceso libre a las redes de transporte y distribución para realizar sus actividades (oferta, comercialización, consumo), previo pago del correspondiente peaje de acceso: estos peajes, unificados para todo el territorio español, son determinados anualmente por la Secretaría de Estado de Energía. Además, el número de cada uno de estos agentes es significativo, por lo que ninguno de ellos podría, individualmente, modificar el precio de la electricidad a través de sus ofertas de compra (demandas) o de venta (ofertas). Por otra parte, la normativa española (ley 17/2007), que es una traslación de la normativa europea al marco jurídico español, impide que un bloque empresarial con distintas actividades (generación, distribución y comercialización) pueda actuar como tal (integrado verticalmente), exigiendo una separación tanto jurídica como contable para cada una de las empresas de ese grupo que actúen en las distintas partes del mercado. Podemos considerar, según lo expuesto, que la generación en el mercado eléctrico español es un mercado en competencia perfecta.

La cantidad demandada de un bien es aquella cantidad de ese bien que los compradores están dispuestos a adquirir a un precio determinado. La relación entre la cantidad demandada y el precio del bien, permaneciendo el resto de factores constantes, constituye lo que se conoce como ley de demanda, ley que sostiene que la cantidad demandada de un bien aumenta al bajar el precio de éste; esto es, la curva de demanda tiene pendiente negativa.

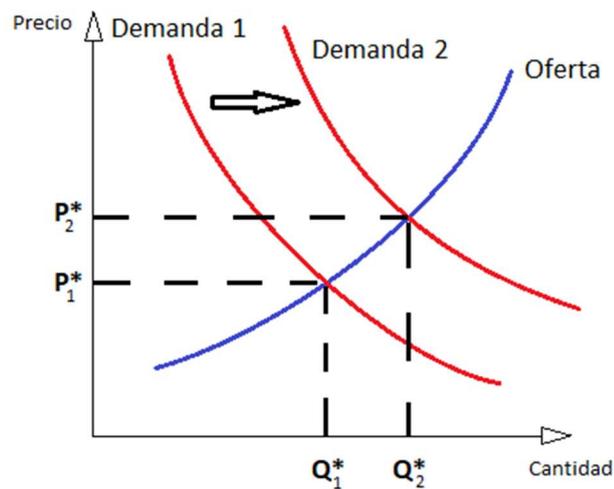
De forma equivalente, la cantidad ofertada de un bien es aquella cantidad de un bien que los vendedores están dispuestos a ofrecer en el mercado a un precio determinado. La relación entre la cantidad ofertada de un bien y su precio, *ceteris paribus*, da lugar a la ley de oferta. Según esta ley, la cantidad ofertada de un producto aumenta al aumentar el precio, o lo que es lo mismo, la curva de oferta tiene pendiente positiva.

Estas dos curvas, en un mercado en competencia perfecta, determinan conjuntamente, en el punto de corte entre ellas, la cantidad y el precio que el mercado fija para un bien.



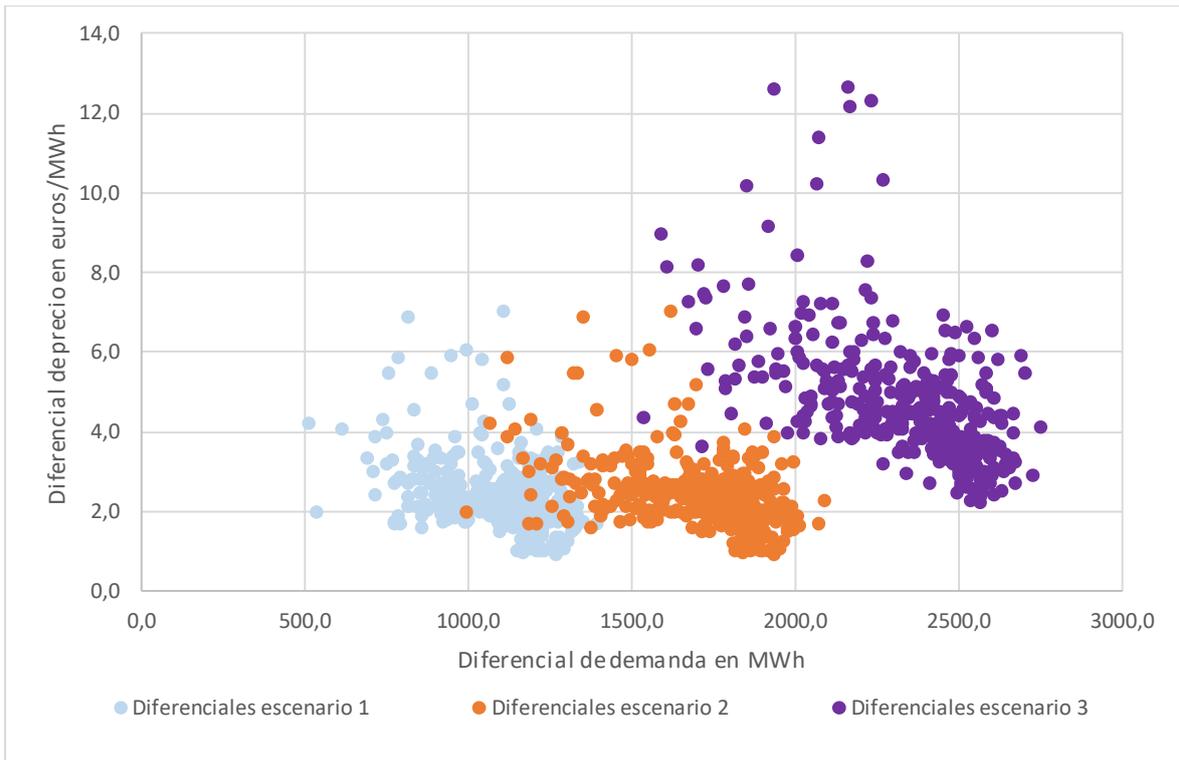
**Figura 20: Las curvas de oferta y demanda del mercado y el equilibrio.**

Este equilibrio variará al producirse algún fenómeno económico que desplace alguna o ambas curvas. El análisis de los cambios en el equilibrio consistente en comparar el antiguo equilibrio con el nuevo recibe el nombre de estática comparativa.

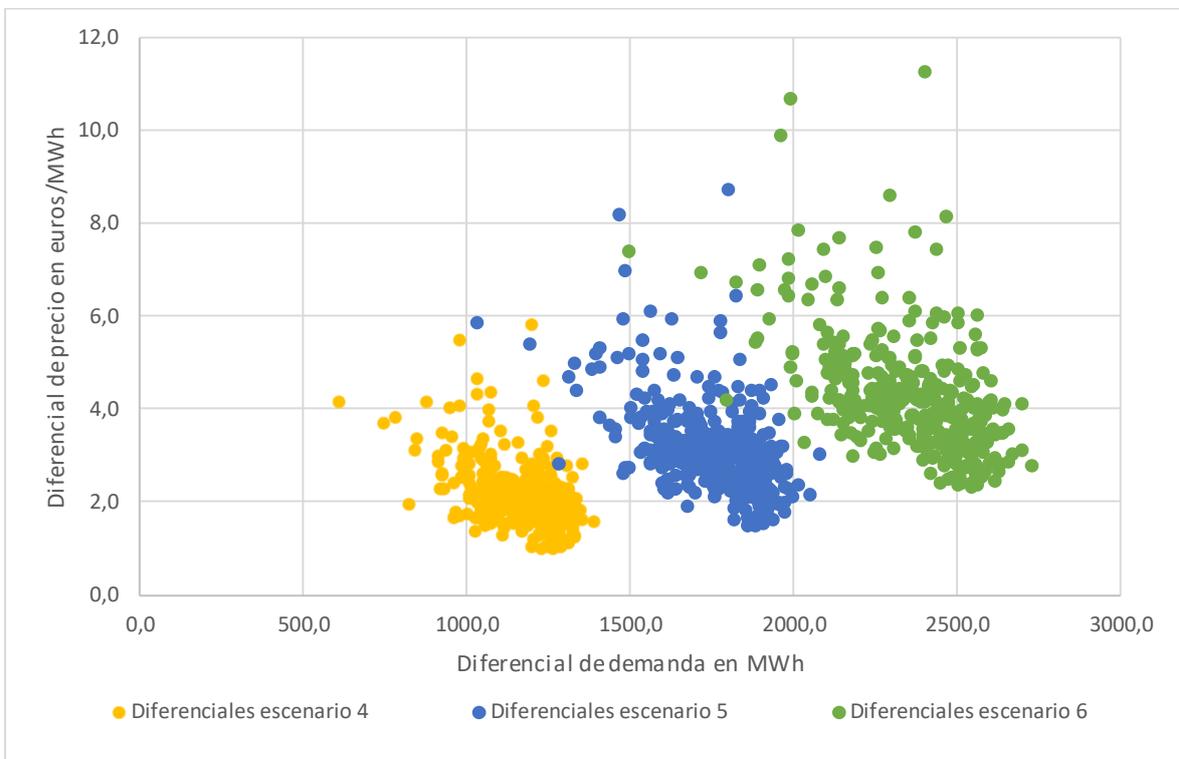


**Figura 21: Desplazamiento de la demanda y nuevo equilibrio.**

En este Trabajo, aplicaremos este tipo de análisis estático al mercado de la electricidad, manteniendo constante la curva de oferta y desplazando únicamente la curva de demanda, ya que analizamos el efecto a corto plazo de la implantación del vehículo eléctrico. En concreto, tomaremos como situación inicial del mercado aquella que no considera al coche eléctrico, y la compararemos con los 6 escenarios finales que estudian la entrada de éste en el mercado. A continuación, se representan los puntos de equilibrio del mercado para cada día del año en los diferentes escenarios. Debido a la elevada cantidad de puntos a representar, para facilitar su visualización, se han comparado los escenarios en grupos de tres, incluyendo en un mismo gráfico aquellos que tienen el mismo porcentaje de carga inteligente. Para representar estos equilibrios, no se han utilizado valores absolutos de los precios y cantidades, sino que se han tomado estas variables de forma diferencial, esto es, restándoles el valor de la misma variable (ya sea precio o cantidad) en el equilibrio original, por lo que éste quedará representado en las figuras por el punto (0,0).

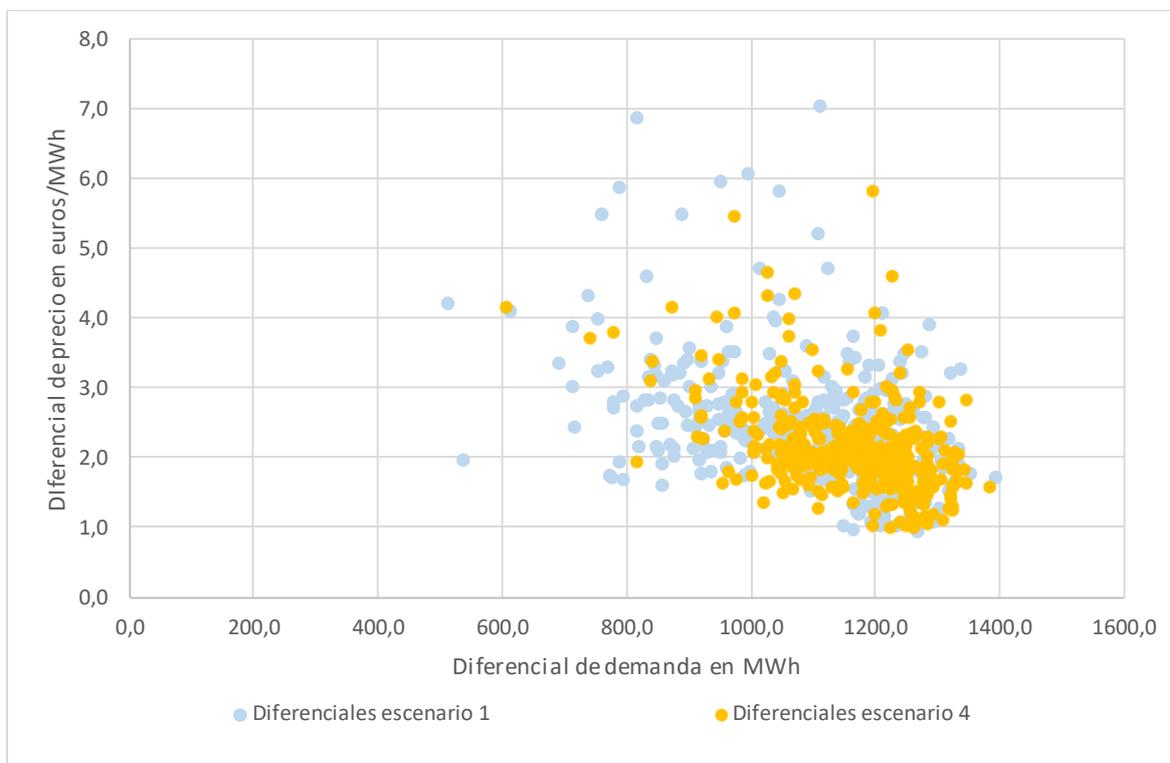


**Figura 22: Diferenciales de los escenarios 1, 2 y 3.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.



**Figura 23: Diferenciales de los escenarios 4, 5 y 6.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

Por último, se hará un estudio diferencial de la elasticidad de la oferta, concretamente de la elasticidad precio de la oferta. La elasticidad se define como la sensibilidad de la oferta (o de la demanda) de un bien ante un cambio en uno de sus determinantes, siendo el precio el determinante que cambia en el caso de la elasticidad precio. Para evaluar con más precisión el comportamiento de la oferta en el entorno del punto de equilibrio original, utilizaremos el escenario con adición de coche eléctrico que menos desplace la curva de demanda, de forma que el análisis se aproxime a un análisis diferencial. Como se puede observar en las Figuras 22 y 23, los diferenciales en los escenarios 1 y 4 son los que más se aproximan al origen, es decir, al punto de equilibrio original. Por tanto, el escenario que escogeremos debe ser uno de estos dos. A continuación, se representa en la Figura 24 una comparación de estos dos escenarios.



**Figura 24: Diferenciales de los escenarios 1 y 4.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

Se observa que existe una importante superposición en los diferenciales, si bien los puntos del escenario 1 se encuentran ligeramente más cercanos al origen. Es por esto que se elegirá finalmente el escenario 1 para el estudio de la elasticidad precio de la oferta.

## 4.2. Los datos del OMIE. Obtención de la oferta y la demanda. Equilibrio.

El OMIE recopila la información por horas de todos los días del año de la oferta y demanda de electricidad de los distintos agentes participantes. Estos registros los ofrece en archivos de microdatos que incluyen las disposiciones a pagar y a cobrar (OMIE habla de ofertas de compra y de venta) de los diferentes agentes individuales del mercado.

Estos datos por sí solos, constituyen la oferta y demanda individual de cada agente del mercado, lo que, por sí mismo, no proporciona información sobre el comportamiento agregado del mercado. Para obtener la demanda y la oferta del mercado a partir de los datos individuales del OMIE, se agregan para cada día y hora del año (8760 horas) las cantidades de electricidad demandadas y ofertadas por cada agente individual. Es decir, la oferta de electricidad resultará de la suma de todos los MWh ofertados individualmente, a un mismo precio, en la misma hora del mismo día del año. Este proceso de agregación se ha implementado en Excel para un número pequeño de horas y luego se ha calculado para todas las horas del año usando el software estadístico STATA. Una vez realizadas estas agregaciones de conductas individuales, obtenemos las curvas de oferta y demanda de electricidad del mercado y calculamos su punto de equilibrio. Este punto de equilibrio define el precio final al que las ofertas de compra y venta casadas se formalizarán. Es interesante destacar que las empresas generadoras ofertarán todos aquellos MWh que reporten a la empresa un ingreso marginal, dado por este precio de equilibrio, mayor que su coste marginal (o disposición a cobrar), mientras que las empresas distribuidoras o el consumidor directo, operan al contrario, es decir, demandarán todos aquellos MWh que supongan mayor ingreso marginal (disposición a pagar) que gasto marginal, dado este último por el precio de equilibrio.

A modo de ejemplo, se exponen parte de las tablas de ofertas de venta y compra del mercado diario de electricidad (Fuente: OMIE), en este caso para las 12 horas del día 1 de abril de 2018. En ambas tablas se observan los siguientes campos:

- Hora: hora de un día en la que se registra la oferta.
- Día: día del año en el que se registra la oferta.
- Unidad: código exclusivo para cada agente interviniente en el mercado.
- Tipo de oferta: este campo puede mostrar la letra “V”, si la oferta es de venta de electricidad (empresas generadoras), o la letra “C” si la oferta es de compra de electricidad (comercializadoras o consumidores directos).
- Energía Compra/Venta: cantidad de energía, medida en MWh, que un participante desea comprar o vender.
- Precio Compra/Venta: precio al que un agente desea ofrecer o comprar una determinada cantidad de electricidad.

- Ofertada (O)/Casada (C): este campo registra si la oferta de compra fue emparejada con una oferta de venta y viceversa (casada), o si finalmente la oferta no se casó y se quedó únicamente como ofertada.

Como ejemplo, se puede observar en la tabla de ventas (Tabla 5) la unidad EGVD094, que corresponde a la empresa Axpo Iberia, S.L. que ofertó 18,1 MWh a 10,5 euros el MWh; mientras que en la tabla de compras (Tabla 6) el agente FORTC01, Fortia Energía, S.L., realizó una oferta de compra de 20 MWh a 78,45 euros/MWh. Ambas ofertas fueron casadas, por lo que consiguieron su oferta y su compra al precio de equilibrio para ese día a esa hora.

La oferta agregada de energía para ese día, a esa hora, resultaría de sumar las ofertas de venta de todos los agentes individuales según su precio, del mismo modo, todas las ofertas de compra definirían de forma conjunta la demanda agregada.

**Tabla 5: Ofertas de venta en el mercado diario.** Fuente: OMIE.

Hora	Fecha	Unidad	Tipo Oferta	Energía Compra/Venta	Precio Compra/Venta	Ofertada (O)/Casada (C)
12	01/04/2018	EONVD33	V	17,4	10,3	C
12	01/04/2018	EONVD31	V	6,6	10,3	C
12	01/04/2018	EONVD30	V	0,3	10,3	C
12	01/04/2018	EONVD35	V	0,6	10,3	C
12	01/04/2018	EONVD32	V	5,1	10,3	C
12	01/04/2018	EGVD094	V	18,1	10,5	C
12	01/04/2018	EONVD29	V	0,4	10,61	C
12	01/04/2018	EONVD29	V	0,2	10,65	C
12	01/04/2018	EONVD29	V	0,1	10,71	C
12	01/04/2018	WMVD088	V	1	12	C
12	01/04/2018	GNRVD35	V	6,5	12	C
12	01/04/2018	EGVD085	V	38,3	12	C
12	01/04/2018	EONVD29	V	0,1	12,05	C
12	01/04/2018	ECYRRE1	V	4,6	12,06	C
12	01/04/2018	UFBG	V	17	12,13	C
12	01/04/2018	EGEDVD3	V	12,9	12,4	C
12	01/04/2018	EGEDRE1	V	1,8	12,79	C
12	01/04/2018	COGEVD8	V	8,2	15,89	C

**Tabla 6: Ofertas de compra en el mercado diario.** Fuente: OMIE.

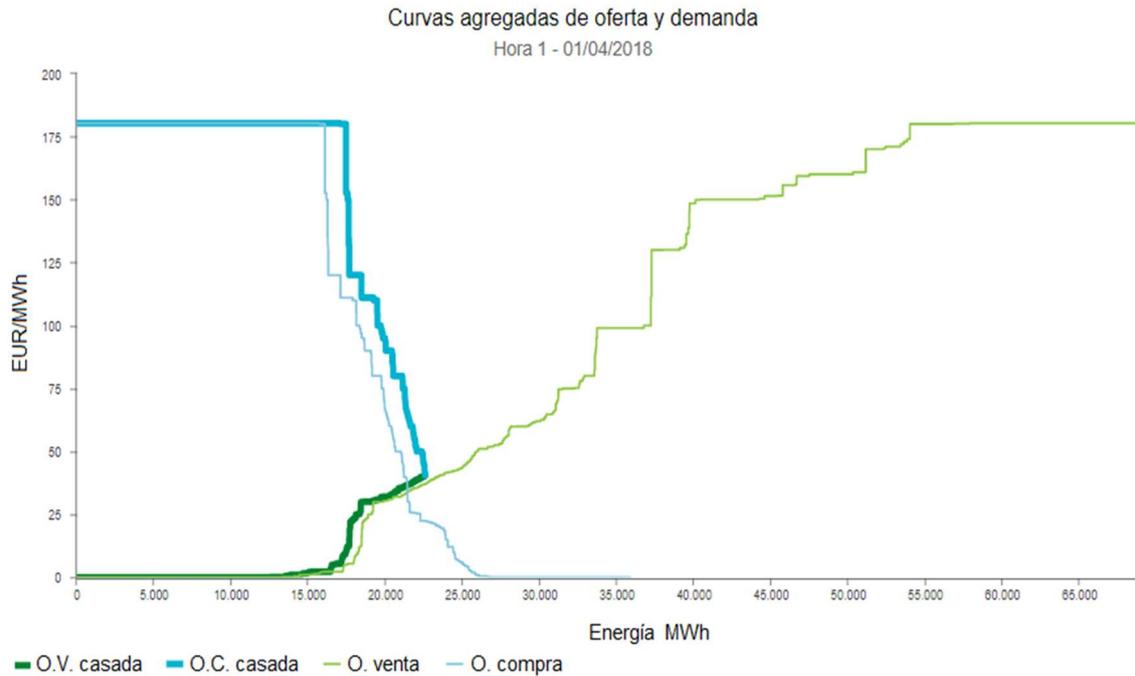
Hora	Fecha	Unidad	Tipo Oferta	Energía Compra/Venta	Precio Compra/Venta	Ofertada (O)/Casada (C)
12	01/04/2018	ENMEC01	C	0,7	80	C
12	01/04/2018	CESUC01	C	0,9	80	C
12	01/04/2018	GOIRM02	C	0,1	80	C
12	01/04/2018	IM3C01	C	0,9	80	C
12	01/04/2018	MOIAC01	C	0,2	80	C
12	01/04/2018	FETEC01	C	0,1	80	C
12	01/04/2018	FORTC01	C	20	78,45	C
12	01/04/2018	RSPRC01	C	18,5	78	C
12	01/04/2018	LAURM03	C	5,1	77,96	C
12	01/04/2018	CRNRC01	C	3,6	75,01	C
12	01/04/2018	GUISCO2	C	8,8	75,01	C
12	01/04/2018	PALOC01	C	2,1	75,01	C
12	01/04/2018	CORNC01	C	3	75,01	C
12	01/04/2018	VITRM03	C	2	75	C
12	01/04/2018	VITRM05	C	37,5	75	C
12	01/04/2018	VITRM06	C	9,3	75	C
12	01/04/2018	VITRM09	C	0,1	75	C
12	01/04/2018	VITRM10	C	4,9	75	C

Es importante destacar ahora una condición especial que tienen las ofertas, tanto de compra como de venta, realizadas en el mercado eléctrico español. Para evitar posibles situaciones de poder de mercado, las ofertas tienen un precio máximo permitido de 180,3 euros/MWh. Las ofertas de compra a ese precio la realizan principalmente comercializadoras de electricidad, de manera que se garantiza un precio techo a sus clientes (hogares, empresas y AA. PP.) –incluso en condiciones donde la oferta de electricidad fuera muy escasa–. En cualquier caso, recuérdese que el precio final que la comercializadora pagará por la electricidad comprada no es el precio al que realiza su puja de compra, sino que pagará por cada MWh el precio que determine el equilibrio del mercado para esa hora.

Este precio límite es importante también para comprender el proceso de desplazamiento de la demanda seguido en este Trabajo. En cada escenario, la adición de nuevos vehículos eléctricos supone la introducción de un lote de MWh adicionales en cada hora del día, para los 365 días del año. Para desplazar la curva de demanda horaria de electricidad en dicho lote adicional de MWh, y obtener así la curva de cada escenario de implantación del coche eléctrico, se han sumado estos MWh adicionales a las demandas individuales (ofertas de compra) ya existentes al precio de 180,3 euros/MWh, de forma que toda la curva de demanda queda desplazada hacia la derecha de forma paralela.

La casación de las ofertas la gestiona el OMIE utilizando el algoritmo Euphemia. Las ofertas de venta pueden ser simples o complejas: la oferta de venta simple es aquella que las empresas generadoras realizan para una cantidad de energía, a un precio determinado, para cada hora; mientras que las ofertas complejas son ofertas que tienen unos condicionantes técnicos o económicos añadidos. Euphemia

evalúa las ofertas de venta y de compra y realiza la casación, es decir, convierte las ofertas en compromisos firmes de compra y venta de energía. De este proceso de casación se obtiene el punto de equilibrio del mercado que, posteriormente, podrá sufrir ligeras modificaciones debido a cambios de las condiciones en algunas ofertas complejas o a restricciones técnicas.



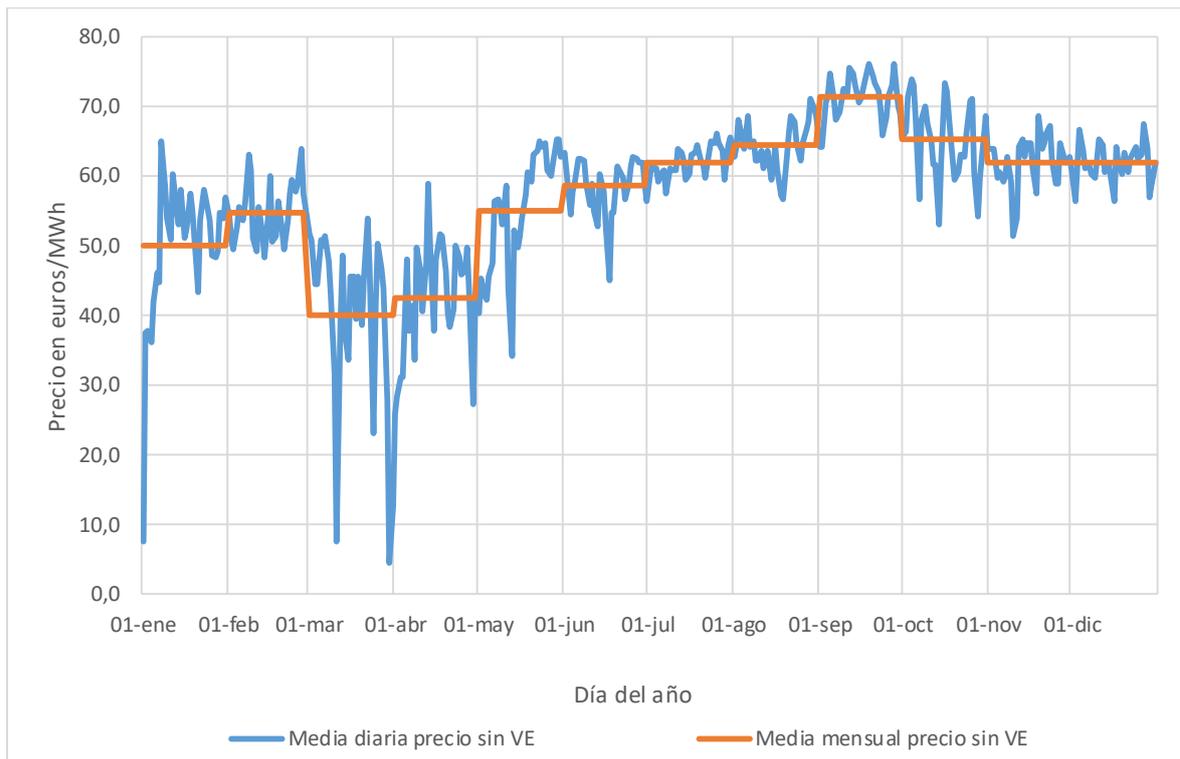
**Figura 25: Curvas agregadas de oferta y demanda.** Fuente: OMIE.



# 5 ANÁLISIS DE ESTÁTICA COMPARATIVA

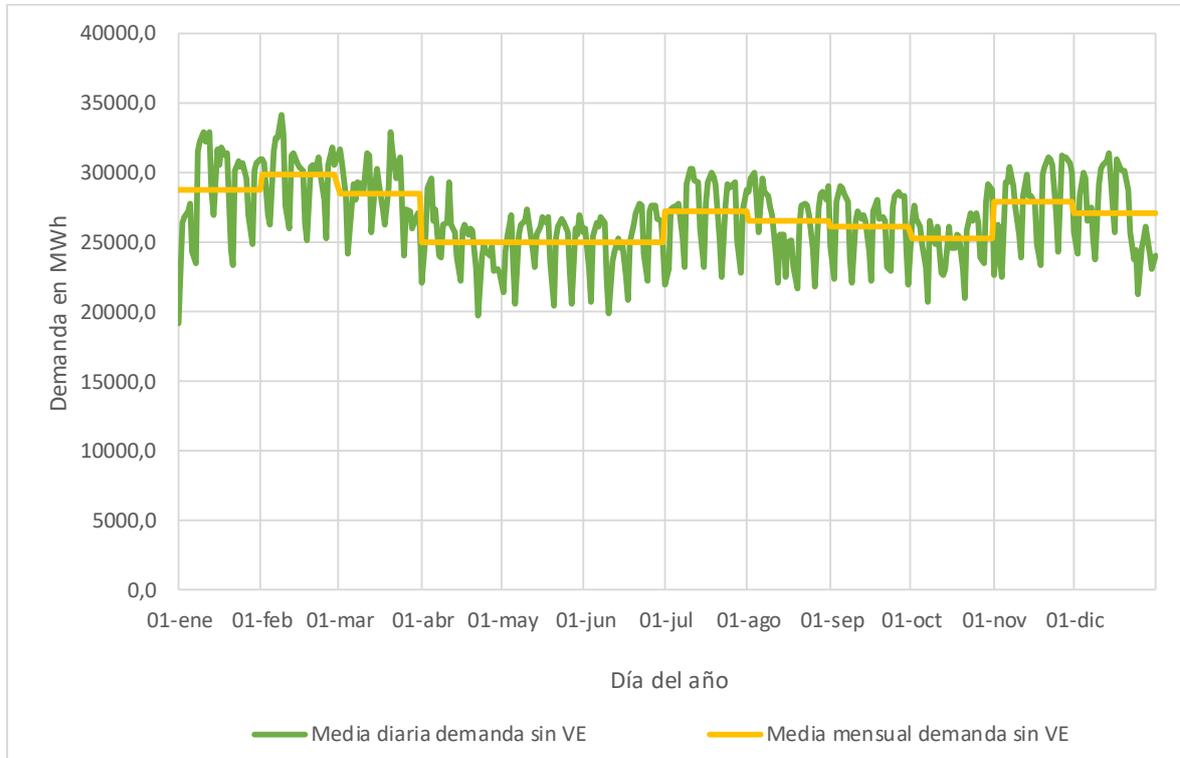
## 5.1. Situación inicial: análisis del mercado diario de la electricidad en el año 2018.

Se analiza a continuación la situación inicial del mercado diario eléctrico español desde el 1 de enero de 2018 al 31 de diciembre de ese mismo año. En las figuras siguientes (Fig. 26 y 27) se han representado las series temporales del precio y la cantidad de equilibrio a lo largo del año. En concreto, representamos la media diaria de la variable en cuestión, que nos permite estudiar la evolución de la misma con mayor precisión, y la media mensual, con la que se trata de mitigar el efecto de la elevada volatilidad de la serie diaria.



**Figura 26: Evolución anual del precio de equilibrio sin VE.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

Como se puede observar en la figura, los precios más altos se dan desde finales de verano hasta final de año, mientras que los precios descienden en marzo y crecen progresivamente durante los meses de primavera y verano.



**Figura 27: Evolución anual de la demanda de equilibrio sin VE.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

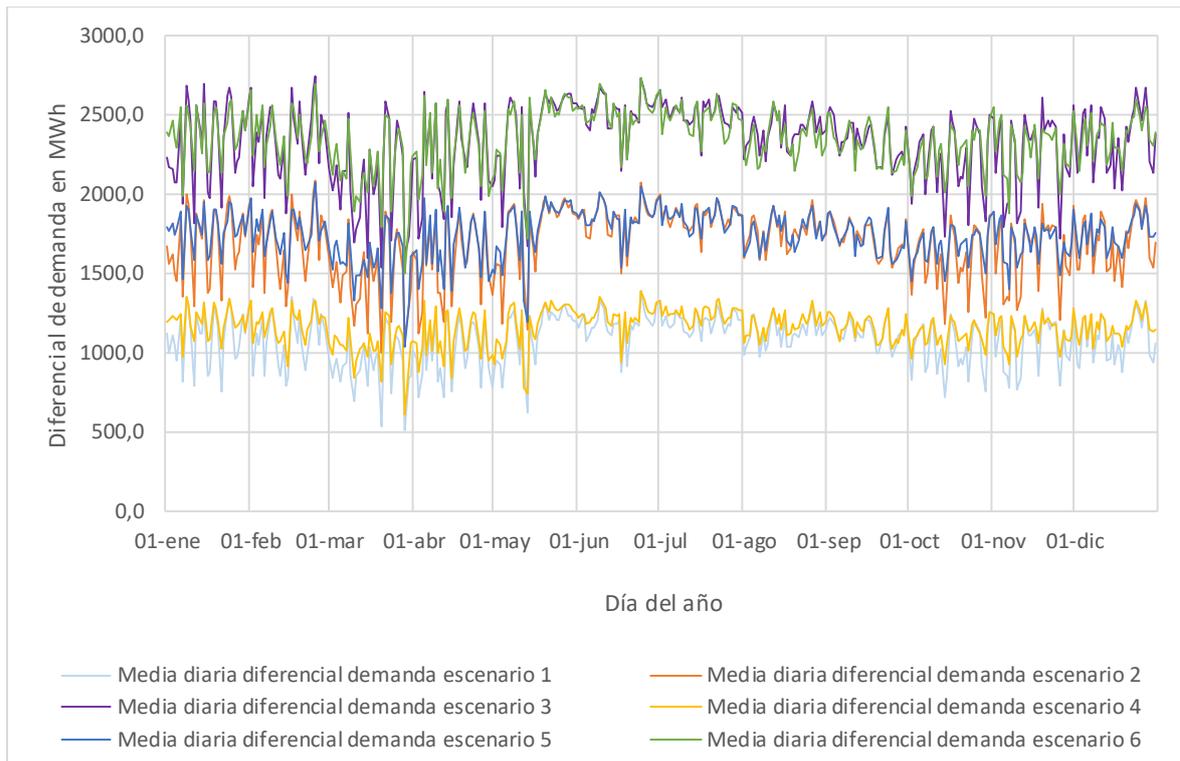
En la figura 27 se ha representado la evolución de la demanda de equilibrio a lo largo del año 2018. Se observa que la curva de la demanda mantiene una cierta estabilidad a lo largo de todo el año. La demanda alcanza sus puntos más altos en los primeros meses del año, tiene un pequeño repunte a principios de verano, desde aquí cae levemente y se da otro repunte en noviembre.

## 5.2. Situación final: análisis de las variaciones de precio y cantidad tras el cambio en la demanda eléctrica.

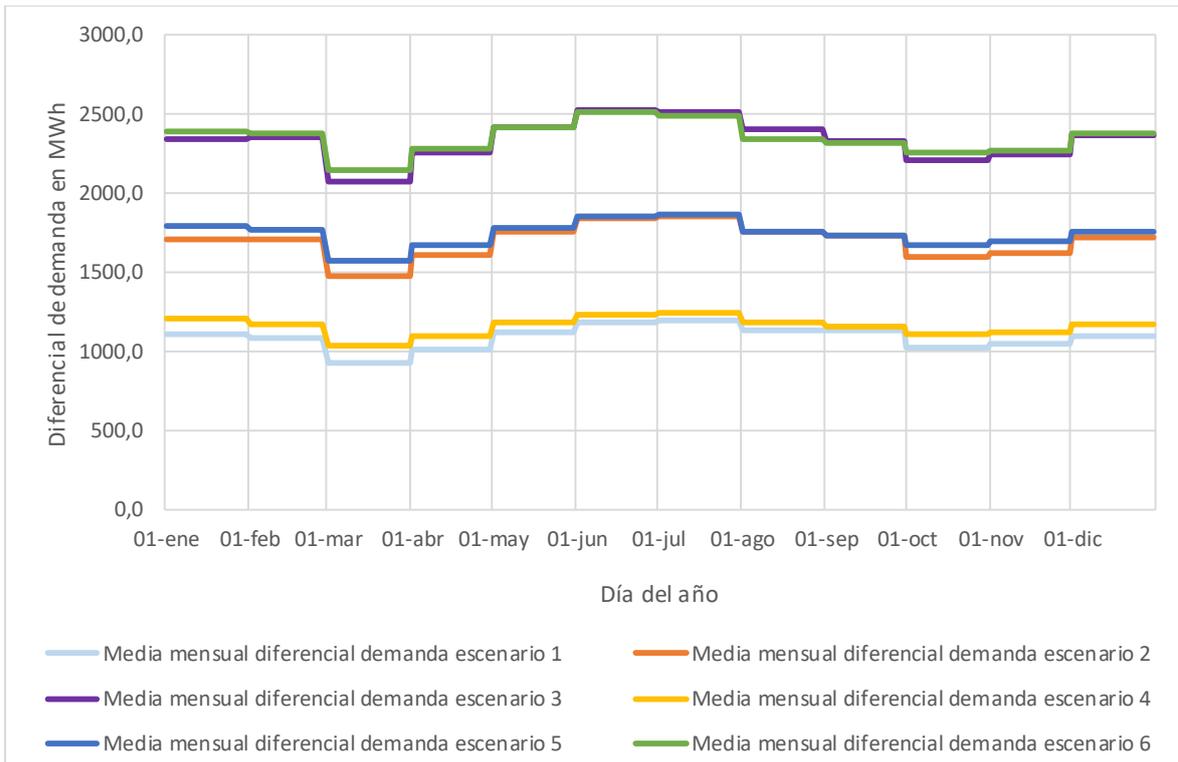
Se analizan ahora los diferentes escenarios de implantación del vehículo eléctrico anteriormente definidos. Para obtener resultados con mayor claridad, se ha realizado un análisis diferencial; es decir, se analiza la diferencia entre la variable estudiada (demanda o precio de la electricidad) en el escenario bajo estudio y la misma variable en el escenario real del año 2018, esto es, sin adición virtual de vehículo eléctrico.

Al igual que en el apartado anterior, se han representado medias diarias y mensuales de los 6 diferenciales calculados.

A continuación en las Figuras 28 y 29 se representan, respectivamente, la evolución anual de la media diaria del diferencial de la demanda de equilibrio y la evolución anual de la media mensual del diferencial de la demanda de equilibrio



**Figura 28: Evolución anual de la media diaria del diferencial de la demanda de equilibrio.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

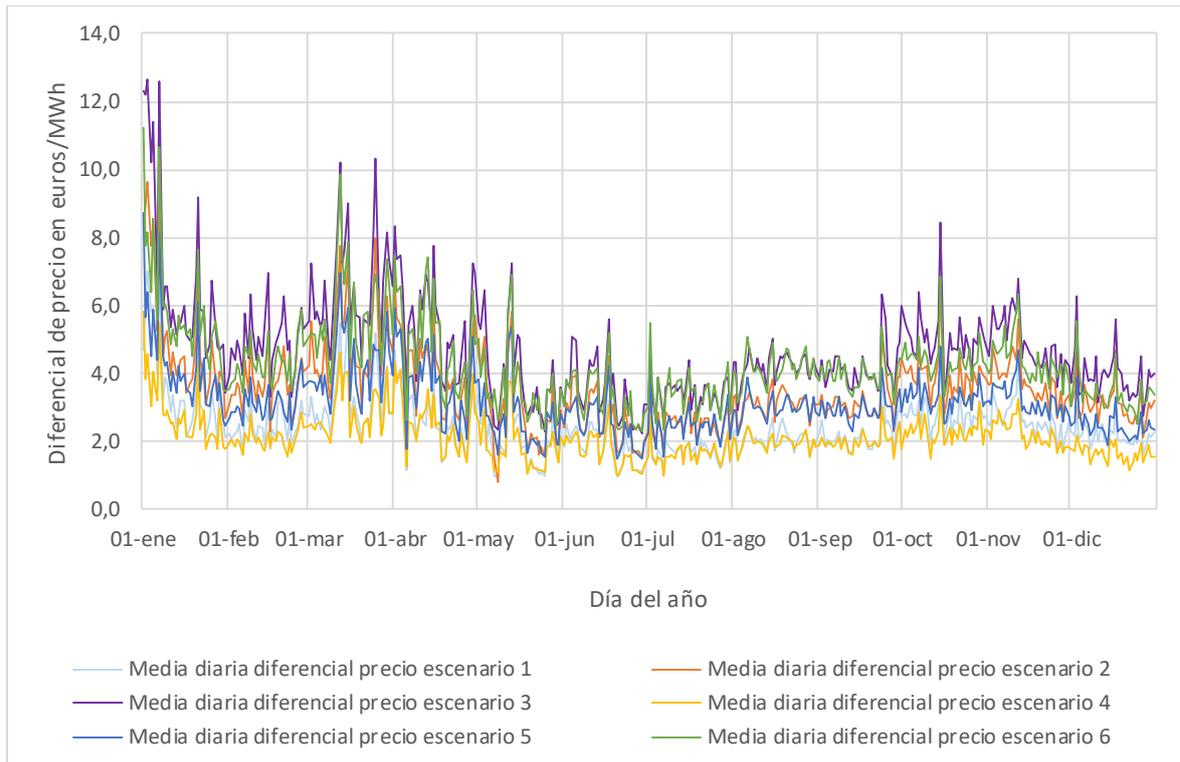


**Figura 29: Evolución anual de la media mensual del diferencial de la demanda de equilibrio.**

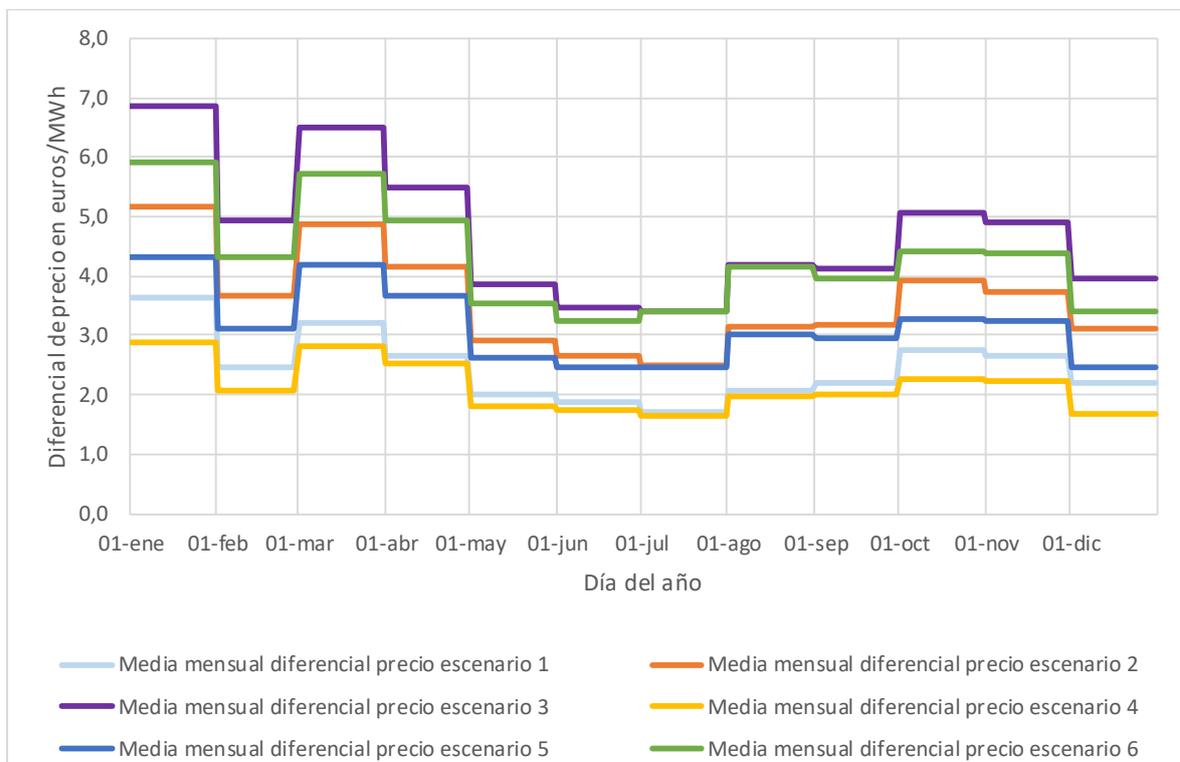
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

Como se observa en las Figuras 28 y 29, la demanda de electricidad aumenta, como era de esperar, al aumentar el nivel de penetración del coche eléctrico. Los escenarios con el mismo nivel de implantación del coche eléctrico (escenarios 1 y 3, escenarios 2 y 4 y por último los escenarios 3 y 6) tienen demandas similares, aunque resulta llamativo como la media de la demanda de los escenarios con menor nivel de inteligencia en los puntos de carga particulares se encuentra, en general, por encima de la media de sus homólogos con puntos de carga más inteligente.

A continuación, en las Figuras 30 y 31 se representan la evolución anual de la media diaria del diferencial del precio de equilibrio y la evolución anual de la media mensual del diferencial del precio de equilibrio, respectivamente.



**Figura 30: Evolución anual de la media diaria del diferencial del precio de equilibrio.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.



**Figura 31: Evolución anual de la media mensual del diferencial del precio de equilibrio.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

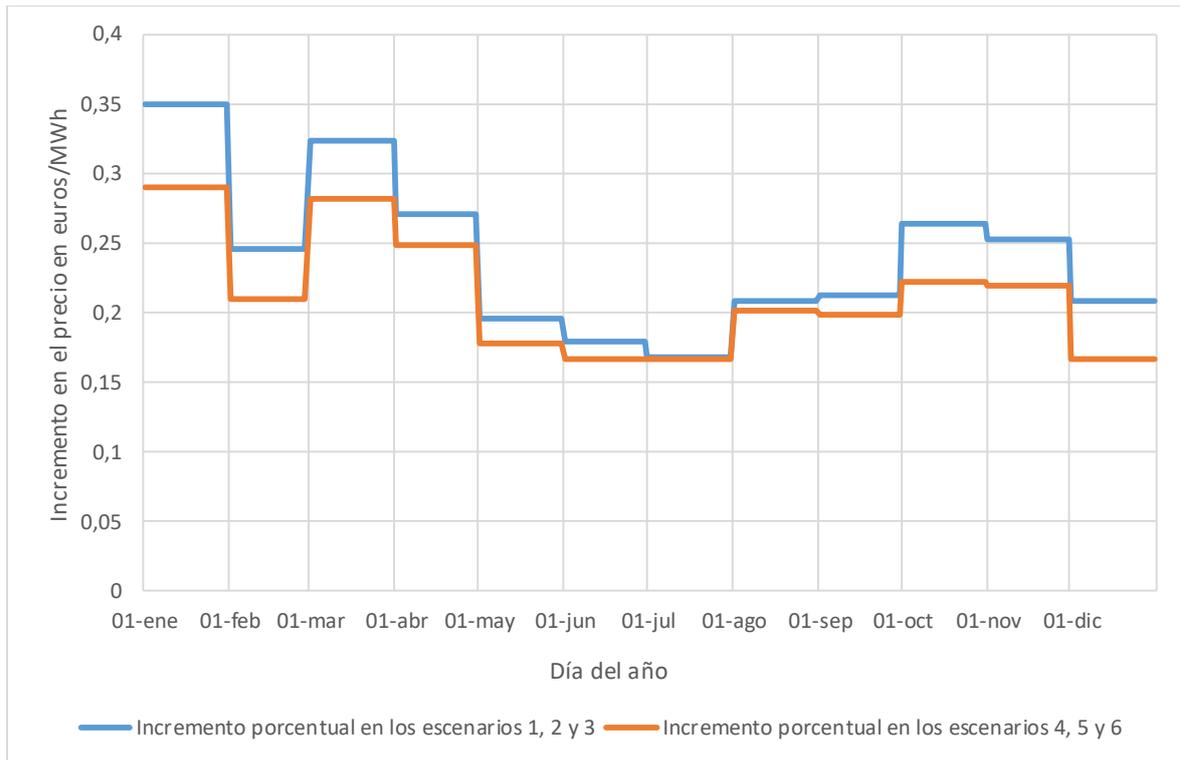
La evolución observada en los precios también parece lógica: al aumentar el número de coches eléctricos, y por tanto la demanda de electricidad, el precio sube, puesto que la oferta se ha mantenido constante. Al comparar los escenarios con el mismo número de vehículos eléctricos (1-4, 2-5 y 3-6), aunque existe una media mensual de demanda inferior en los escenarios 1, 2 y 3 (mayor número de puntos inteligentes), se observa como en los escenarios con menor implantación de puntos inteligentes (4, 5 y 6) se obtienen variaciones de precios menores en media. Aunque todos los coches pagan lo mismo por el MWh cuando se cargan a la misma hora, no todos los puntos de carga permiten aprovechar las horas con los mejores precios. Los puntos de carga inteligentes obtendrían un mejor precio por la carga completa en cualquier escenario, ya que, como permiten variar distintos parámetros de carga, pueden gestionar la misma para que se realice en horas valle, es decir, en aquellas horas en las que la electricidad es más barata. Por tanto, aquellos coches que realicen su carga en puntos inteligentes obtendrán un precio final más barato que aquellos que lo hagan en puntos no inteligentes.

Para profundizar en estos aspectos, en la Figura 32 se representa la variación del precio a lo largo de un día concreto del año, en este caso se ha elegido el día 15 de enero como día representativo; enero es uno de los meses donde la diferencia de precio entre escenarios con el mismo nivel de implantación del coche eléctrico es mayor. De las 0 a las 8 horas, en el escenario 6 (con menor número de puntos de carga inteligente) se obtendría una carga más barata que en el escenario 3 (donde existen más puntos de carga inteligente); mientras que desde las 16 a las 24 horas, el escenario 3 obtendría mejores precios. Cabe destacar que, aunque los precios del escenario 6 son más baratos en sus horas valle, sólo la pequeña fracción de puntos de carga inteligente de este escenario pueden gestionar de una forma programada la conexión en estas horas.



**Figura 32: Evolución del precio de la electricidad el día 15 de enero.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

Otro análisis que puede ofrecer resultados interesantes es conocer la variación media del precio de la electricidad frente a un incremento del 1% en la implantación del vehículo eléctrico a lo largo del año. Al tratarse de una variación del precio ante un incremento porcentual en el número de coches eléctricos, obtendremos dos curvas anuales: una referida a los escenarios 1, 2 y 3 y otra relativa a los escenarios 4, 5 y 6. Esto es así debido a que lo único que varía entre estos escenarios es el número de vehículos, mientras que el resto de variables permanecen constantes. En la Figura 33 se puede ver el resultado de este análisis. Resulta llamativo como la diferencia entre los dos grupos de escenarios se reduce entre los meses de mayo y septiembre. Estos 5 meses se encuentran entre los meses con menores incrementos en el precio de la electricidad. El resto del año la media relativa a los escenarios 1, 2 y 3 registra incrementos superiores a la media de los escenarios 4, 5 y 6. Al calcular la media anual de los incrementos, se obtiene que para los escenarios 1, 2 y 3 el precio aumentará 0,24 euros/MWh por cada 1% que aumente la implantación del vehículo eléctrico, mientras que para los escenarios 4, 5 y 6 este incremento será de 0,213 euros/MWh.

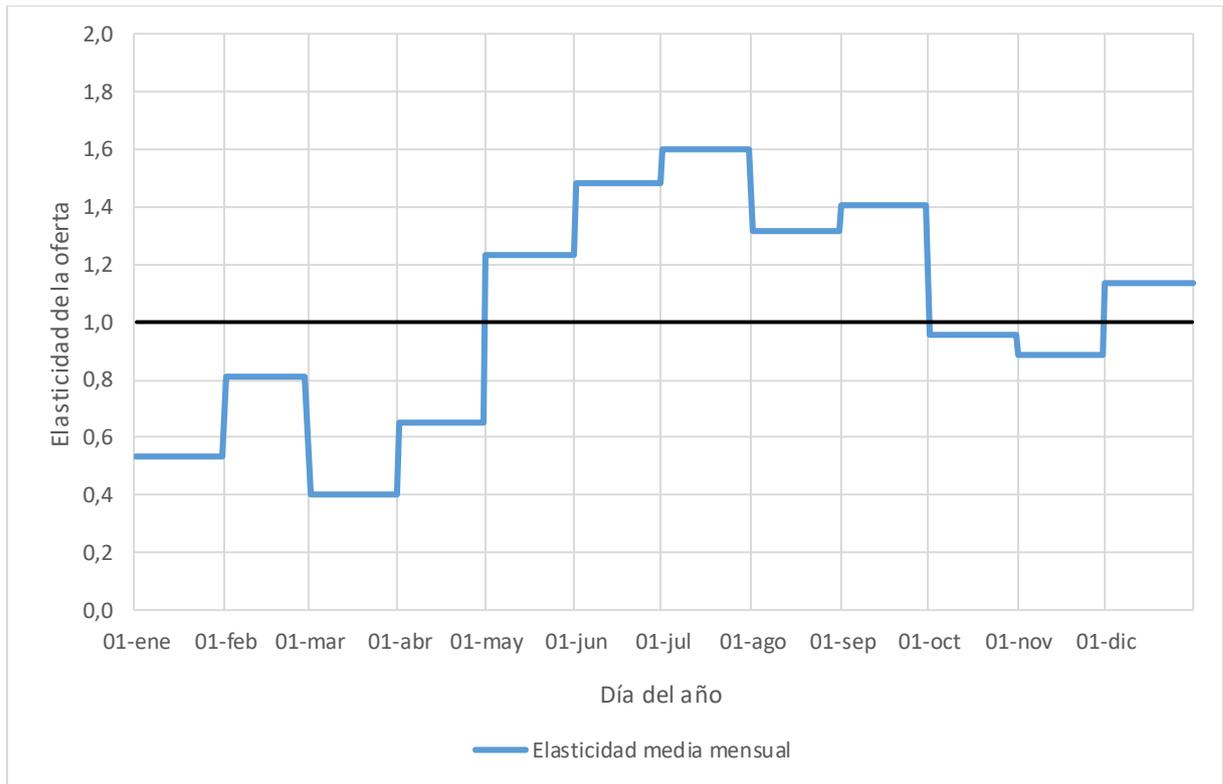


**Figura 33: Variación media en el precio de la electricidad ante un incremento porcentual en el número de vehículos eléctricos.** Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

Por último, se estudia la evolución de la elasticidad precio de la oferta a lo largo del año 2018. Para calcularla, se ha empleado la siguiente ecuación:

$$e_{Q_s-P} = \left| \frac{\frac{Q_1 - Q_0}{Q_0}}{\frac{P_1 - P_0}{P_0}} \right|$$

donde el subíndice 0 indica la situación inicial (sin adición de coche eléctrico) y el subíndice 1 hace referencia al escenario 1 de implantación del coche eléctrico (menor número de coches eléctricos y mayor número de puntos de carga inteligente), por ser el escenario que menos desplaza la curva de demanda, permitiendo un análisis puntual más preciso. La elasticidad se ha representado mediante una media mensual de sus valores para conseguir una visión más clara de su evolución en función de las estaciones.



**Figura 34: Evolución de la elasticidad precio de la oferta durante el año.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE.

En la Figura 34 se estudia la evolución de la elasticidad precio de la oferta durante el año. Se destaca especialmente en el gráfico el valor 1, puesto que marca la frontera entre una oferta elástica (mayor que 1) y una oferta rígida o inelástica (menor que 1). Se aprecia como la oferta es especialmente elástica desde final de primavera hasta principios de otoño, lo que significa que ante un incremento en el precio, la oferta ha aumentado más, porcentualmente, que el precio. El efecto contrario se observa en los primeros meses del año, donde la oferta es más rígida.



## 6 CONCLUSIONES

---

Aunque los coches eléctricos no son un invento reciente, la tecnología existente en la época de sus inicios no hacían de él una alternativa real a otros medios de transporte. Con los conocimientos técnicos actuales, fundamentalmente asociados a la capacidad de las baterías, el coche eléctrico está abriéndose un hueco en la movilidad actual, desplazando a los vehículos de combustión. Bajo el nombre “coche eléctrico” o “vehículo eléctrico” subyacen varios tipos de vehículos (fundamentalmente PHEV y BEV), con diferentes particularidades, pero cuya idea básica es la misma: una batería alimenta un motor eléctrico que permite que el coche se desplace. A pesar de las ventajas que este tipo de vehículos representa (cero emisiones, con las repercusiones positivas que esto conlleva en la salud, acceso a zonas restringidas al tráfico a otro tipo de vehículos), sigue presentando algunos inconvenientes, como su mayor precio o la escasa autonomía que presenta al compararlo con sus homólogos de combustión. Otro problema, es la variedad de estándares que existen en los adaptadores para la carga. Actualmente son 8 los estándares más utilizados, variando según el país o, incluso dentro del mismo país, existen distintos adaptadores para distintos tipos de carga. Esto supone un problema de cara a la instalación de electrolinerías, puntos de carga en garajes, etc., lo que representa una traba añadida a la implantación del vehículo eléctrico.

Las cifras actuales de turismos eléctricos, tanto en España como en la Unión Europea, son casi anecdóticas comparadas con el número de turismos totales, pero la tendencia en los últimos años permite observar un rápido crecimiento, ayudado por los incentivos que los diferentes organismos han asociado a la movilidad eléctrica. Desde el punto de vista de la red, tener las infraestructuras adecuadas para afrontar este incremento de demanda es fundamental para garantizar la calidad del suministro. Asimismo, la globalización también ha llegado al mercado de la electricidad. La interconexión del sistema eléctrico español con los sistemas eléctricos de otros países, fundamentalmente de Europa, ya es una realidad. El objetivo de un mercado unificado europeo de la electricidad otorgará progresivamente un papel más relevante a las instituciones europeas en el marco internacional. De hecho, ya se ha visto como los objetivos de reducción de emisiones de la Unión Europea han acelerado la implantación del vehículo eléctrico en los diferentes países miembros.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado ha sido simular los efectos que la implantación del coche eléctrico provocaría en el mercado eléctrico español en el corto plazo (dada la estructura actual de la oferta eléctrica). Para ello es necesario conocer tanto el punto de partida del mercado eléctrico antes de la introducción del coche eléctrico como su estado final tras la llegada del mismo. Para acercarnos tanto a la demanda como a la oferta actual de energía eléctrica generada, se ha recurrido a los datos

ofrecidos por el operador de mercado OMIE, el cual registra las ofertas de compra y venta de electricidad de los diferentes agentes individuales que participan en el mercado diario mayorista. Estas ofertas se han agregado, primero en Excel y luego en el software STATA, para obtener las curvas agregadas de oferta y demanda para las 8760 horas del año 2018. Posteriormente, para poder conseguir una buena aproximación del incremento de demanda eléctrica que supondría la penetración del coche eléctrico, se han utilizado los datos que proporciona un simulador de implantación del vehículo eléctrico que ofrece Red Eléctrica Española, simulador web que permite variar diversos parámetros para conseguir un análisis más realista de dicha implantación. De este simulador se han obtenido los resultados de diferentes escenarios posibles de penetración del coche eléctrico en España; en concreto, hemos generado 6 escenarios diferentes. Los escenarios 1, 2 y 3 se caracterizan por simular los mismos porcentajes de puntos con gestión de la carga (un 30% de puntos sin gestión de carga, un 40% de puntos con tarifas de discriminación horaria y un 30% de puntos con gestión inteligente), mientras que la penetración del vehículo eléctrico se ha considerado un 10%, un 15% y un 20% respectivamente. De forma similar, en los escenarios 4, 5 y 6 también se ha simulado una implantación del coche eléctrico un 10%, un 15% y un 20%, respectivamente, mientras que los tres comparten los mismos porcentajes relativos a los puntos con gestión de la carga (un 65% de puntos sin gestión, un 25% de puntos con discriminación horaria y un 10% de puntos inteligentes). El resto de los parámetros se ha mantenido constante en los 6 escenarios. Por tanto podríamos clasificar los escenarios atendiendo a dos criterios: aquellos con un mismo nivel de implantación del coche eléctrico (escenarios 1 y 4, escenarios 2 y 5 y escenarios 3 y 6) y escenarios con mismo porcentaje de puntos con gestión de la carga (escenarios 1, 2 y 3 y escenarios 4, 5 y 6).

Los datos de los 6 escenarios posibles simulados se han combinado con los datos de la demanda actual de electricidad, procedentes del OMIE, para conseguir la demanda final de cada escenario. Para ello se ha añadido en la curva de la demanda real el lote adicional de MWh, que supone la entrada en circulación de nuevos coches eléctricos, al precio máximo (180,3 euros/MWh). De esta forma toda la curva queda desplazada hacia la derecha, obteniéndose la demanda para cada escenario. Analizando los respectivos equilibrios del mercado podemos obtener los precios que la electricidad alcanzaría en cada escenario y las cantidades de electricidad intercambiadas.

Para interpretar correctamente los resultados de este análisis hemos efectuado, como paso previo, una revisión del funcionamiento del sistema eléctrico español (relacionándolo además con el sistema eléctrico europeo) y de la tecnología actualmente empleada en el vehículo eléctrico. Conocer estos datos nos permite obtener conclusiones prácticas, que no se limitan a lo teórico, a partir del análisis económico desarrollado.

Realmente, el marco temporal de este proyecto es de corto plazo, puesto que aunque los escenarios obtenidos del simulador de REE nos permiten obtener los incrementos estables de demanda eléctrica, adoptamos el supuesto de corto plazo de que el mix de tecnologías que compone la oferta de

electricidad en el mercado diario no cambia. Además, según los datos del “Informe del Sistema Eléctrico Español 2018” publicado por REE, la cuota de demanda cubierta por las energías renovables se ha mantenido aproximadamente constante desde 2013. Si esta tendencia de estabilidad continúa, los resultados de nuestro estudio podrían tener cierta validez en el medio plazo (esto es, en la próxima década).

Al analizar los diferentes escenarios se ha visto, como era de esperar, que una mayor penetración del vehículo eléctrico se traduce en una mayor demanda de electricidad y, por tanto, al mantener la oferta constante, en un mayor precio medio. Al comparar, por ejemplo, los escenarios 1 y 3, se registra en junio el mayor incremento en la demanda media mensual, 1.343,5 MWh, con un incremento en el precio de 1,6 euros/MWh, mientras que el menor incremento en la demanda se produce en el mes de marzo, 1.150,5 MWh, con una subida de precio de 3,3 euros/MWh. Las oscilaciones del precio de la electricidad a lo largo del día, debido a los diferentes niveles de demanda horaria durante el mismo, permiten que cargar el coche en las horas valle sea más barato. Según el escenario, las diferencias pueden superar los 30 euros/MWh entre las horas pico y las horas valle. Adicionalmente, los puntos de carga juegan en este aspecto un papel fundamental. Un punto de carga inteligente facilita al usuario cargar su vehículo en las horas más baratas. Sin embargo, un resultado muy interesante, y que puede observarse en este estudio es que las diferencias de precio entre las horas donde la electricidad es más barata y aquellas donde es más cara es mayor en los escenarios con menor número de puntos de carga inteligente (escenarios 4, 5 y 6). Teniendo en cuenta que las horas más baratas serán siempre aprovechadas por los puntos más inteligentes, esto significa que en los escenarios con menor número de puntos inteligentes éstos consiguen un mayor ahorro para el usuario. Es decir, es recomendable la instalación temprana de un punto de carga inteligente particular, puesto que esto permitirá recuperar mucho antes la inversión que supone para el usuario la compra de este tipo de puntos, además del consiguiente ahorro una vez se amortice. Por otro lado, hemos observado que en los escenarios con mayor número de puntos de carga inteligente, los puntos de carga no inteligentes obtienen mejores resultados que en los escenarios donde son mayoría. Adoptar un punto de carga inteligente, aunque obtenga mejores precios, en un estado avanzado de implantación del vehículo eléctrico puede resultar menos atractivo para un usuario particular, puesto que, aunque consiguen precios más bajos para la carga al realizarla en horas de menor demanda, la diferencia de precio en la electricidad entre las horas pico y las horas valle es menor, por lo que el usuario tardaría más tiempo en recuperar la inversión. También es interesante conocer el incremento promedio anual del precio de la electricidad por cada 1% de aumento en la implantación del vehículo eléctrico. Para los escenarios 1, 2 y 3, dicho incremento es de 0,24 euros/MWh, mientras que para los escenarios 4, 5 y 6, el incremento es de 0,213 euros/MWh.

Continuando con el análisis de otras variables económicas, se ha estudiado la elasticidad de la oferta a lo largo del año. Cuando la elasticidad, en este caso de la oferta, es mayor que 1, se dice que la

oferta es elástica, lo que significa que ante un incremento en el precio, la oferta aumenta más, porcentualmente, que el precio, mientras que si la elasticidad es menor que 1 se dice que la oferta es rígida o inelástica, y se observa el fenómeno opuesto: ante un incremento en el precio, la oferta experimenta un incremento menor, porcentualmente, que el precio. Se observa que la elasticidad varía a lo largo del año, siendo los primeros meses del año los que tienen una oferta más rígida, alcanzando incluso el valor 0,4 en marzo y subiendo hasta llegar a alcanzar el valor 1,6 en los meses con mayor elasticidad (final de primavera y principios de otoño).

Este Trabajo de Fin de Grado deja abiertas algunas líneas de investigación futuras. Una primera línea sería estudiar el cambio en la demanda junto con un cambio en la oferta de electricidad, debido, por ejemplo, a la entrada de un mayor número de MWh de energías renovables en el mix energético, como parece que ocurrirá en los próximos años. Otra posible línea de investigación podría ser el cálculo de los excedentes de los productores y de los compradores, pudiendo estimar el beneficio que la sociedad obtiene de los cambios en el mix energético y por la implantación del coche eléctrico. Por último, queda abierta una interesante línea de investigación futura asociada la elasticidad de la oferta de la electricidad. Aunque no es objeto de este proyecto, se ha observado que aquellos meses en los que la oferta es más inelástica, las centrales de carbón y ciclo combinado aportan más energía (en julio de 2018 la electricidad procedente del carbón y ciclos combinados alcanzaron a cubrir más del 25% de la demanda diaria de electricidad, asimismo, la energía eólica solo llegó a cubrir el 20% en momentos puntuales); mientras que en aquellos meses en los que la elasticidad es más alta son las energías renovables las que cubren la mayor parte de la demanda (en marzo de 2018, la energía eólica llegó a cubrir más de un 45% de la demanda diaria de electricidad). Un estudio en profundidad sobre los datos anteriormente mencionados puede aportar datos interesantes sobre el funcionamiento del mercado eléctrico español.

# REFERENCIAS

---

- [1] Red Eléctrica de España (2019). *Informe del Sistema Eléctrico Español 2018*. Recuperado de: [https://www.ree.es/sites/default/files/11\\_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2018/inf\\_sis\\_elec\\_ree\\_2018.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2018/inf_sis_elec_ree_2018.pdf)
- [2] Dirección General de Tráfico, DGT (2019). *parque\_2018\_anuario.xlsx*. Recuperado de: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/>
- [3] Deloitte (2017). *Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050*
- [4] Arcos Vargas, Á., Maza Ortega, J.M. y Núñez Hernández, F. (2018). *Propuestas para el fomento de la movilidad eléctrica: barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar*. Real Academia de Ingeniería de España.
- [5] Boletín Oficial del Estado, 170, de 14 de julio de 2018, 71012 a 71013. Recuperado de: <https://www.boe.es/boe/dias/2018/07/14/pdfs/BOE-A-2018-9859.pdf>
- [6] European Environment Agency, EEA (2017). *Monitoring progress of Europe's transport sector towards its environment, health and climate objectives*.
- [7] Comisión de Expertos de Transición Energética (2017). *Análisis y propuestas para la descarbonización*.
- [8] Núñez Hernández, F. y Arcos Vargas, Á. (2019). Análisis comparativo a nivel internacional de la expansión del vehículo eléctrico. *Economía Industrial*, 411, 55-68.
- [9] Mankiw, N. G. (2012). *Principios de economía*, Paraninfo, 6ª Ed.



