

Resumen

En este trabajo se realiza una revisión de los reparos que presentan los usuarios a la hora de adquirir un vehículo eléctrico, analizando su fundamento real, así como sus perspectivas futuras. Por otra parte, se cuantifica la demanda potencial inducida que representará la electrificación del parque móvil en España, describiendo cómo la gestión de carga inteligente puede minimizar su impacto en el sistema eléctrico (red, generación y emisiones).

Palabras clave: vehículo eléctrico, demanda inducida, gestión de carga, emisiones, barreras de desarrollo.

Abstract

This research reviews the concerns that users have regarding the decision to purchase an electric vehicle, analysing their real rationale, as well as their future expectations. On the other hand, this study quantifies the demand potential induced by the electrification of the vehicle fleet in Spain, describing how smart charging management can reduce the impact on the power system (grid, generation and emissions).

Keywords: electric vehicle, demand potential, charging management, emissions.

JEL classification: Q40, Q47, Q53, R40, R41.

EL COCHE ELÉCTRICO: FORTALEZAS Y DEBILIDADES PARA SU EXPANSIÓN

Ángel ARCOS-VARGAS

Universidad de Sevilla

I. INTRODUCCIÓN

La principal preocupación de la sociedad actual está centrada en la sostenibilidad futura del planeta asociada a los procesos de calentamiento global que hemos venido experimentando durante las últimas décadas como consecuencia del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Según el *Avance del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)* correspondiente al año 2020 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021) si bien se ha reducido el valor absoluto de sus emisiones un 17,6 por 100, el transporte es el sector que presenta mayores emisiones en España (27,7 por 100) correspondiendo casi su totalidad de esta contribución al transporte por carretera.

La Unión Europea (UE), por su parte, es plenamente consciente de los efectos devastadores que podría tener de continuar con los hábitos y tendencias actuales, así como su responsabilidad para mitigar el problema. En este sentido, el pasado mes de abril, se alcanzó el acuerdo del Consejo y el Parlamento en el que se establecen unos objetivos más exigentes que los existentes hasta entonces, fijando una reducción neta de emisiones de gases de efecto invernadero de «al menos el 55 por 100» para 2030 en comparación con 1990, con el

fin de alcanzar la neutralidad climática de la UE para el 2050. Para ello, se ha dotado de una gran cantidad de recursos, como los asociados al Pacto Verde (European Green Deal) en el que se establecen hojas de rutas y planes de acción para un conjunto de sectores/actividades prioritarios, entre los que se encuentra, como no podría ser de otra manera, el transporte.

Por otra parte, el transporte presenta una gran importancia en la economía de la UE, suponiendo un 5 por 100 de su PIB y empleando a más de 10 millones de trabajadores en Europa, lo que hace que el sistema de transporte sea fundamental y se deba ser cuidadoso con las medidas que se adoptan para reducir su posible impacto. Se trata, por tanto, de proporcionar un transporte eficiente, seguro y respetuoso con el medio ambiente, que pueda seguir siendo competitivo a nivel mundial cumpliendo simultáneamente el ambicioso objetivo de reducir sus emisiones en un 90 por 100 para el 2050.

Las medidas propuestas para el sector transporte están dirigidas al transporte por carretera, aviación y transporte marítimo, aunque, como se ha visto anteriormente, corresponde la mayor parte al transporte por carretera, para el que se establecen objetivos aún más ambiciosos, según se muestra en el cuadro n.º 1.

CUADRO N.º 1

OBJETIVOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA EL TRANSPORTE POR CARRETERA PARA TURISMOS Y FURGONETAS

	OBJETIVOS ANTERIORES		OBJETIVOS ACTUALES	
	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA TURISMOS (%)	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA FURGONETAS (%)	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA TURISMOS (%)	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA FURGONETAS (%)
2025	15	15	15	15
2030	37,5	31	55	50
2035	–	–	100	100

Fuente: European Commission (2021b).

Estos nuevos objetivos solo serán posibles si se aumenta de forma significativa la proporción de vehículos de cero emisiones. Los vehículos de cero emisiones, que son los titulares de la Etiqueta 0 emisiones, Azul (DGT, 2021), son los vehículos eléctricos de batería (BEV); vehículos eléctricos de autonomía extendida (REEV); así como los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) con una autonomía mínima de 40 kilómetros y los vehículos provistos de pila de combustible. En este artículo

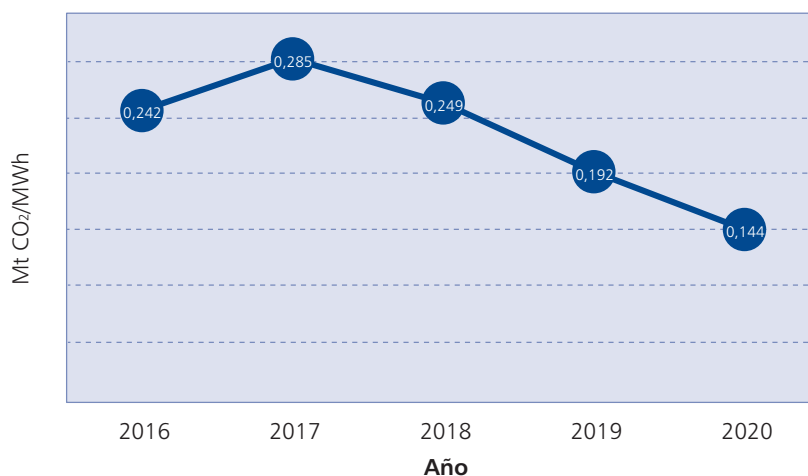
se analizarán exclusivamente a los de naturaleza eléctrica, dejando el resto para posteriores investigaciones. En este sentido, el Plan Nacional Integrado de Emisiones y Clima 2020-2030 –PNIEC– (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020), establece un objetivo de vehículos eléctricos para el 2030 de cinco millones, para lo que se incluyen unos planes específicos de dinamización (incentivos fiscales, zonas restringidas,...).

El solo aumento de las matriculaciones del vehículo eléctrico no proporcionará una reducción de las emisiones de GEI. Es necesario acompañarlo de una reducción de las emisiones específicas del sistema de generación eléctrica. En el gráfico 1, se muestra la evolución de las emisiones específicas del sector eléctrico en España en los últimos años. Si bien se puede apreciar una marcada tendencia decreciente, el consumo de un MWh en el 2020 produjo algo menos de 150 kt de CO₂.

De esta manera, las emisiones de CO₂ producidas por un vehículo eléctrico que presente un consumo de 150 Wh por cada kilómetro recorrido, ascenderían alrededor de los 200 gramos de CO₂ en la península, aunque en determinados sistemas extrapeninsulares, como por ejemplo Melilla (0,875 Mt CO₂/MWh), ascenderían a 1,3 kg de CO₂, superando así a las emisiones de los modelos diésel más eficientes (Peugeot 208 y Opel Corsa) que se encontrarían por debajo del kilogramo de CO₂. Por tanto, la eficiencia medioambiental de la electrificación del transporte ligero está vinculada con la descarbonización del sistema eléctrico que, como se ha visto, se encuentra en proceso y se prevé su finalización para el año 2050 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020)

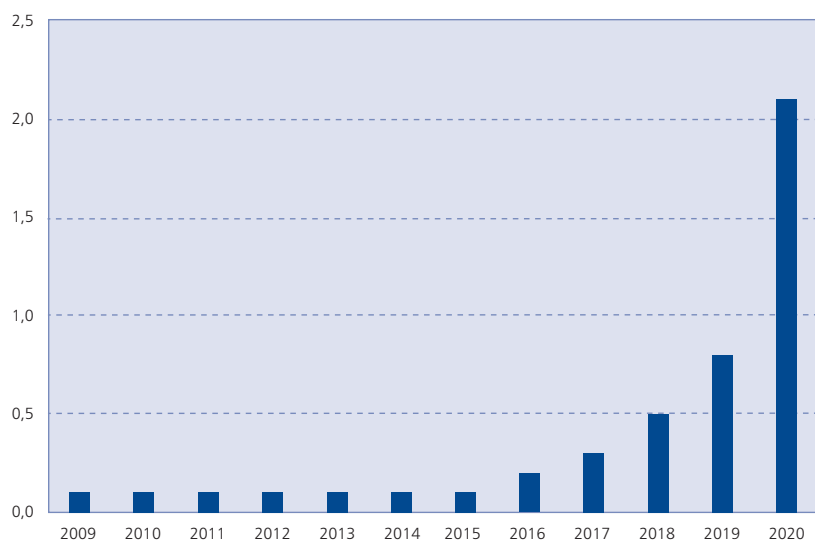
A la vista de las aspiraciones y preocupaciones públicas mencionadas anteriormente, tras esa breve introducción, este artículo explora, en primer lugar, los principales reparos que presentan los usuarios a la hora de adquirir un vehículo eléctrico, para posteriormente estimar la demanda inducida por estos nuevos receptores,

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES ESPECÍFICAS DEL SISTEMA PENINSULAR, 2016-2020



Fuentes: Red Eléctrica de España (2021) y elaboración propia.

GRÁFICO 2
EVOLUCIÓN DE LAS MATRICULACIONES DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA
 (En porcentaje sobre el total de matriculaciones)



Fuente: European Alternative Fuels Observatory, 2021.

procedentes de Europa, Estados Unidos y Asia (Deloitte, 2021). En el gráfico 3 se presentan las principales preocupaciones identificadas, donde se observa que los cinco principales reparos que tiene un usuario a la hora de optar por un vehículo eléctrico son la infraestructura de recarga, la autonomía, la seguridad, el coste de adquisición y el tiempo de carga.

Para alcanzar los objetivos de matriculaciones previstas hay que eliminar estas reservas de la mente de los consumidores y, para ello, se deben establecer medidas de formación, difusión, tecnológicas y fiscales, que faciliten esta transición. En los siguientes apartados se analizarán la evolución, el estado actual y las perspectivas futuras de estos determinantes.

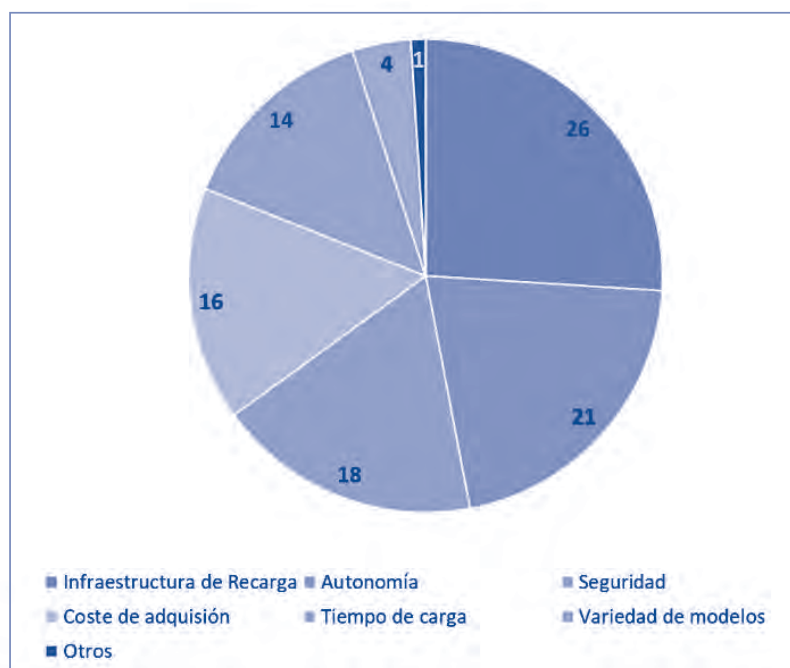
así como la influencia que puede tener los distintos modos de recarga. Para terminar, se presentan las principales conclusiones y futuros retos para la sociedad.

II. PRINCIPALES REPAROS A LA HORA DE ADQUIRIR UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Aunque los avances en las matriculaciones de vehículos eléctricos continúa creciendo de forma exponencial en España (European Alternative Fuels Observatory, 2021) como se muestra en el gráfico 2, quedan aún lejos de los objetivos del Gobierno.

Con objeto de analizar las posibles reservas que aún puedan tener los potenciales compradores a la hora de adquirir un vehículo eléctrico, se ha realizado una encuesta a más de 5.000 potenciales usuarios

GRÁFICO 3
PRINCIPALES PREOCUPACIONES DE LOS USUARIOS A LA HORA DE ADQUIRIR UN VEHÍCULO ELÉCTRICO



Fuentes: Deloitte (2021) y elaboración propia.

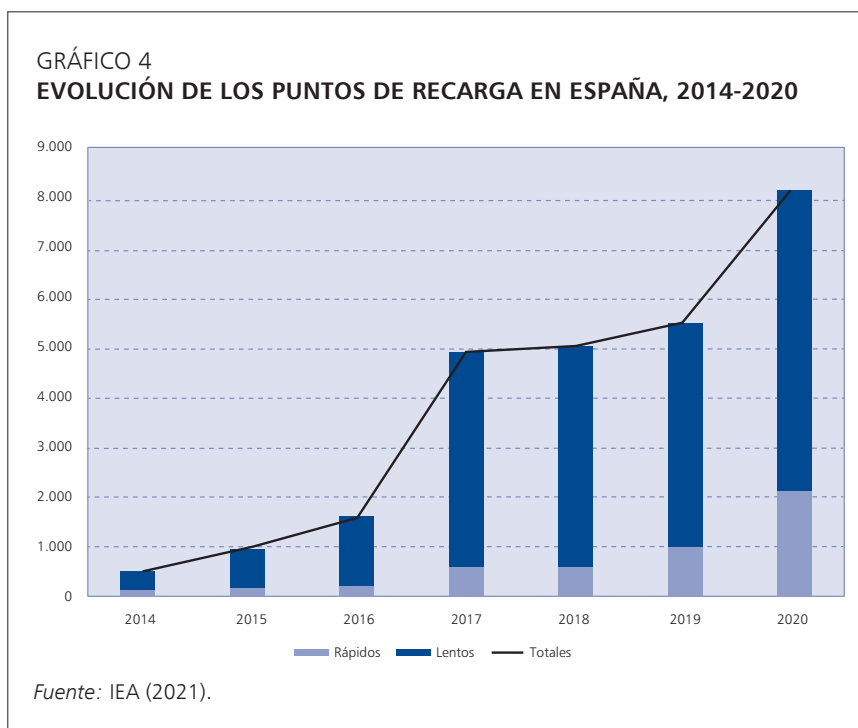
1. La infraestructura de recarga

La existencia de una infraestructura de recarga adecuada, además de ser la principal preocupación de los usuarios a la hora de adquirir un vehículo eléctrico, es el principal determinante del número de matriculaciones. De acuerdo con el estudio realizado por la Real Academia de Ingeniería (Arcos-Vargas, Maza-Ortega y Núñez-Hernández, 2018) el principal determinante de las matriculaciones de los vehículos eléctricos es el número de puntos de recarga rápida pública. En el citado trabajo se estima que su elasticidad se encuentra en valores cercanos a la unidad (1), aumentando el número de vehículos eléctricos, para el caso de España, en 24 por cada cargador rápido adicional. En el gráfico 4 se muestra la evolución del número de posiciones de recarga rápidas y lentas.

Aunque el estudio realizado contempla los países como unidad muestral, se podría replicar a nivel municipal observando la asimetría que existe entre las zonas urbanas y rurales, que se podría justificar por la baja densidad de puntos de recarga públicos.

Comparando los gráficos 3 y 4, se observa que los crecimientos del número de vehículos son superiores a los del número de postes de recarga, lo que justifica la reserva de los compradores. Esta menor velocidad de despliegue está asociado a escasa rentabilidad que presenta a empresarios privados, tal como se estudia en Arcos e Hidalgo (2021).

Dada la gran dependencia que existe entre el número de



estaciones de recarga rápida públicas, y la adquisición de vehículos eléctricos, tendría sentido a la hora de diseñar políticas públicas analizar hasta qué punto resulta eficiente la ayuda al consumidor final para la adquisición del vehículo o, por el contrario, destinar esos recursos a apoyar a los empresarios de estaciones de recarga para la ampliación de la red. Se debe tener en cuenta que las recientes ayudas previstas en el Real Decreto 266/2021 para el fomento de la movilidad eléctrica (MOVES III) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Europea (BOE, 2021), prevén una ayuda de hasta 7.000 euros por vehículo, mientras que, según se ha visto anteriormente, la instalación de un nuevo punto de recarga adicional haría aumentar la adquisición en veinticuatro unidades. Además de esta ineficiencia en la asignación, los planes

MOVES anteriores incurrieron en importantes ineficiencias operativas que le impidieron, en varias comunidades autónomas, la ejecución completa del presupuesto.

La relación de dependencia entre la disponibilidad y el número de puntos de recarga públicos, y la matriculación de vehículos eléctricos, se ha desarrollado en numerosas ocasiones en la literatura académica, conociéndose como el dilema del huevo y la gallina (Shi *et al.*, 2020).

2. La autonomía

Aunque muy relacionado con la infraestructura de recarga, la autonomía (o rango del vehículo eléctrico) constituye el segundo reparo de los compradores a la hora de adquirir un vehículo eléctrico. Si bien la distancia media que recorren los vehículos particulares en España no

alcanza los 35 km recorridos (INE 2021) y que el 95 por 100 de los días no se superan los 100 km, el hecho de no disponer de una gran autonomía representa un gran problema psicológico, denominado «rango de ansiedad».

Aunque existen varios factores personales y ambientales que pueden afectar a la ansiedad del conductor (Rauh, Franke y Krems, 2015), existen dos factores reales que lo reducen, como son la infraestructura de recarga (que se ha visto en la subsección anterior) y la capacidad de la batería (Xu, Yang y Wang, 2020).

En la actualidad, la autonomía teórica de los vehículos eléctricos comerciales se encuentra entre los 200 y los 614 km, como se puede observar en el cuadro n.º 2. Estos valores se obtienen de dividir la capacidad de la batería (en kWh) entre el consumo por km del vehículo; dicho consumo

CUADRO N.º 2

DATOS OFICIALES DE AUTONOMÍA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS

	AUTONOMÍA OFICIAL (KM)
Tesla Model 3 (Gran autonomía)	614
Ford Mustang Mach-3	610
Volkswagen ID.3	539
Skoda Enyaq	520
Hyundai Kona	484
Audi e-tron GT	468
BMW iX3	450
Tesla Model 3 SR	448
Mercedes EQA	417
Volvo XC40 Recharge	417
Citroën e-c4	350
Opel Mokka-e	324
Fiat 500 Icon	298
Honda e	210
Mazda MX-30	200

Fuentes: Elaboración propia, Asociación de Automóviles de Noruega (NAF) y *El Motor* (2021).

GRÁFICO 5
EVOLUCIÓN DEL COSTE DE LAS BATERÍAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, 2010-2020



Fuentes: Elaboración propia y Arcos-Vargas, Canca y Núñez (2020).

dependerá del peso, la potencia del motor, de la velocidad y de las condiciones ambientales a las que se someta (temperatura, pendiente, carga, aceleración, uso de la climatización, etc.).

Si bien la practica totalidad de las baterías instaladas en los vehículos eléctricos son de iones de litio, su tamaño varía entre los escasos 17,6 del Smart, hasta los casi 100 kWh que se instalan en algunos modelos de Tesla (Insideevs, 2021). En lo que se refiere a la energía consumida, varían en este caso entre los 140 Wh/km, del Fiat 500 hasta los 281 Wh/km, del Mercedes 300 (Electric Vehicle Database, 2021). Como se ha dicho antes, de la combinación de estas dos variables (capacidad y consumo) se obtienen los valores de la autonomía.

Aunque para aumentar la autonomía es posible reducir el consumo por kilometro del

vehículo, existen límites físicos para ello, siendo más fácil aumentar el tamaño de las baterías. Por su parte, el tamaño de las baterías viene determinado por su coste (€/kWh), su densidad energética (kWh/l) y su intensidad energética (kWh/Kg.), siendo la más relevante el coste de la misma.

Actualmente, el coste de la batería de un vehículo eléctrico se encuentra en torno a los 100€/kWh, reduciéndose su coste más de un 90 por 100 en los últimos años (gráfico 5). De acuerdo con la investigación de la Oficina de Tecnologías de Vehículos del Departamento de Energía (US Department of Energy, 2021) sobre la estimación de los costes de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos, se observa que se ha producido una reducción cercana al 90 por 100 entre 2008 y 2021 (en términos constantes de 2021). La estimación para 2021

se sitúa en 143 dólares/kWh, en base a su energía nominal, considerando unas escalas de producción de 100.000 unidades al año. Si se comparan estos valores con los 1.237 dólares/kWh de 2008, se obtiene las reducciones antes mencionadas. Esta reducción ha sido posible gracias a los importantes avances tecnológicos y al incremento en el volumen de fabricación.

De esta manera, considerando un tamaño característico de la batería de en torno a los 35 kWh, las mejoras en los costes han supuesto la reducción del coste del vehículo en casi 40.000 euros, lo que lo ha posibilitado que pase de ser una curiosidad tecnológica a una opción real para el consumo masivo.

3. La seguridad

La tercera preocupación que muestran los usuarios a la hora de optar por la adquisición de un vehículo eléctrico es la seguridad. Los tres aspectos de la seguridad que provocan la duda de los compradores son seguridad de la conducción, riesgo de electrocución y riesgo de incendio.

Los vehículos eléctricos se caracterizan por una gran capacidad de aceleración y elevado peso. La combinación de estas variables le proporciona el desarrollo de una gran fuerza, disponiendo de una importante inercia. Por otra parte, el dimensionamiento del freno regenerativo, que aunque inicialmente fue diseñado exclusivamente como mecanismo de ahorro de energía, mejora la seguridad del vehículo, así como el hecho de que la mayor parte de la masa se encuentre en las baterías, cuyo centro de gravedad se encuentra a escasa distancia del suelo, le proporciona una gran

estabilidad y un mejor comportamiento ante colisiones con otros vehículos. De esta manera, aunque su conducción debe hacerse de un modo diferente a la de los vehículos convencionales, su comportamiento en la conducción lo hace ser una alternativa segura (Clean Tecnica Report, 2018).

El posible riesgo de electrocución se encuentra asociado más al proceso de recarga que al de conducción, y dependerá de las medidas técnicas y de la potencia que se utilice durante el proceso de carga (ver subsección 5). Por otra parte, el riesgo de incendio se relaciona con la posible autoignición de la batería, que se ha demostrado como una realidad que ha llevado recientemente a General Motors a retirar 142.000 unidades de Chevy Bolts (Bloomberg Green, 2021) por riesgo de incendio, tras identificar 13 incendios en este modelo en los últimos 17 meses. Aunque las noticias de incendios en vehículos eléctricos atraen la atención de los consumidores, el análisis de la información disponible nos muestra que la probabilidad de incendio es mucho menor que en los vehículos convencionales. A partir de la información de la National Fire Protection Association (NFPA.org), Tesla incluye en su *Impact report 2020* (TESLA, 2021) una comparación entre los valores relativos de incendios por distancia recorrida entre los vehículos de su marca y los convencionales, obteniendo valores diez veces menores que sus homólogos de combustión interna.

4. El coste de adquisición

Aunque las diferencias de precio con los vehículos convencionales se van reduciendo, a pesar de las ayudas públicas y las con-

tinuas ofertas de los fabricantes, la opción eléctrica se encuentra por encima de la oferta básica convencional. En este sentido, y como consecuencia de las reuniones de la Conferencia de las Partes (COP26) en Glasgow, 30 países y seis fabricantes han acordado finalizar la comercialización y producción de vehículos de combustión antes del año 2035, por lo que dejarán de ser una opción frente al eléctrico.

Si bien es cierto que los vehículos eléctricos presentan unos mayores precios de adquisición, las ayudas y las ofertas antes mencionadas, unidas a los menores costes de mantenimiento y combustible, los configura como una opción más económica. Los menores costes de mantenimiento de los vehículos eléctricos están asociados a que tienen siete veces menos componentes que los convencionales, es decir de 210 a 1.400 euros (Soria, 2014) que, unido a la ausencia de aceites y filtros, hace que los gastos de mantenimiento resulten un 60 por 100 inferiores en el caso del vehículo eléctrico.

Un reciente estudio de Argonne U.S. Department of Energy Laboratory (2021), analiza los costes totales para el propietario (TCO) de los vehículos eléctricos frente a los de combustión para distintas configuraciones y tamaños (Burnham, 2021), alcanzando resultados parecidos a los presentados por UBS Limited en 2017 (Hummel y Lesne, 2017). Los estudios anteriores se refieren a los mercados norteamericanos y europeos. El caso español presentaría resultados intermedios entre ambos, ya que el precio del combustible (gasolina/gasoil) resulta más caro que en EE. UU., aunque algo menor que en el resto de Europa.

5. El tiempo de recarga

El tiempo de recarga dependerá inversamente de la potencia de la instalación de carga. En este sentido, las instalaciones de recarga se pueden clasificar como:

- *Recarga lenta.* Es la más habitual del mercado. También se llama carga vinculada, convencional, normal o estándar lenta. Su conexión es en corriente alterna monofásica a 230 V, 16 A y con 3,7 kW de potencia máxima, aunque existe una variedad trifásica que admite hasta 32 A y 7,4 kW.
- *Recarga semirrápida.* Este tipo de recarga es la que encontraremos habitualmente en espacios públicos, como empresas o aparcamientos públicos. Se realiza a una potencia mayor de 7,4 kW (normalmente entre 11 kW y 22 kW).
- *Recarga rápida.* La potencia a partir de la que llamamos «carga rápida» es de unos 43 kW – 50 kW. Está pensada para las estaciones de uso público exteriores que supongan un punto de recarga para trayectos largos o situaciones concretas en las que tengamos poco tiempo para recargar el vehículo, como las electrolineras.
- *Recarga ultrarrápida.* Es la habitual en las electrolineras de carretera. La potencia de estos cargadores es superior a los 80 kW, pudiendo alcanzar los 250 kW.

Como se ha mencionado más arriba, el tiempo de carga del vehículo dependerá de la potencia del punto de recarga.

CUADRO N.º 3

TIPOS DE POSTES DE RECARGA Y TIEMPO CARACTERÍSTICO

TIPO DE CARGADOR	POTENCIA CARACTERÍSTICA	TIEMPO (HORAS)	
	kW	TAMAÑO DE BATERÍA (kWh)	
		35	100
Lento	3,2	10,9	31,3
Semirrápido	22	1,6	4,5
Rápido	50	0,7	2,0
Ultrarrápido	150	0,2	0,7

Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad, la capacidad de los vehículos oscila entre los 35 kWh en coches más pequeños (por ejemplo, el Honda e) y los 100 kWh (como el Model S de Tesla). En el cuadro n.º 3 se muestran los tiempos de carga característicos para cada tipo de cargador y los tamaños de baterías característicos.

Aunque a primera vista puede parecer atractivo cargar las baterías en postes de alta potencia, los efectos de las temperaturas de carga hacen que se reduzca la esperanza de vida de las baterías, y es por eso por lo que es recomendable, con carácter general, la recarga lenta, dejando las opciones rápidas como carga de oportunidad, viaje o emergencia.

6. Perspectivas futuras

De acuerdo con lo expuesto en las subsecciones anteriores, las actuales posibles reservas de los usuarios a la hora de optar por la adquisición de un vehículo eléctrico, o bien no tienen un fundamento científico, o bien la tecnología las resolverá en los próximos meses. Este hecho, unido a las mayores exigencias medioambientales y restricciones en la comercialización y a la producción de los vehículos convencionales, hará que la electrificación del transporte ligero sea una realidad en los próximos años.

De cualquier forma, el desarrollo del vehículo eléctrico será tanto mayor cuanto mayor será el progreso en las tecnologías de las baterías. Aunque el despliegue masivo del vehículo eléctrico multiplicaría por veinte las demandas de litio y cobalto, solo en este último podrían provocar problemas de abastecimiento (Hummel y Lesne, 2017) ya que necesitaría casi el 40 por 100 de las reservas mundiales, cuya practica totalidad es controlada por China, en explotaciones de África central (De La Torre et al., 2020). Para evitar este riesgo potencial, se están desarrollando tecnologías de almacenamiento menos intensivas en cobalto, pasando de una configuración de un 33 por 100 de cobalto (NMC111: 1 parte de níquel, 1 de manganeso y 1 de cobalto) a otra con una proporción de cobalto mucho menor (NMC811: 8 parte de níquel, 1 de manganeso y 1 de cobalto), lo que reduce la magnitud del problema, sin que esto suponga una reducción de su eficiencia ni aumento de costes significativos.

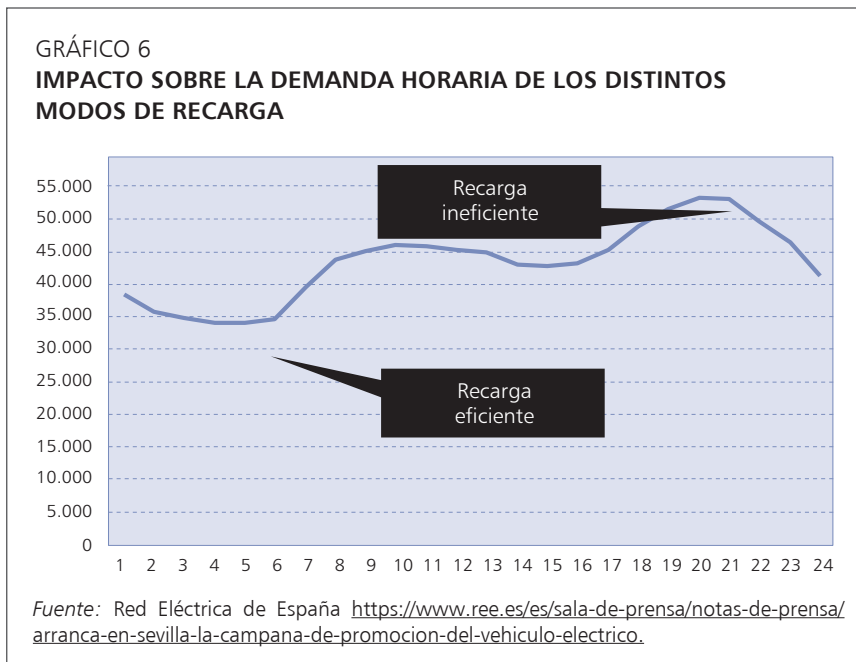
III. DEMANDA ELÉCTRICA INDUCIDA

Para estimar la demanda eléctrica derivada de la electrificación del parque móvil, se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo VE} = \text{Consumo específico (kWh/km)} \times [\text{1}] \text{ distancia recorrida (km)}.$$

En España circulan casi treinta millones de vehículos de distinta naturaleza, lo que hace que presenten distintos consumos específicos y régimen de uso. Usando la metodología propuesta por Gutiérrez-García y Arcos-Vargas (2021), se han identificado casi treinta millones de vehículos en España correspondientes a seis categorías diferentes (turismos, furgonetas, autobuses, motocicletas, ciclomotores y camiones). Cada una de estas categorías presentan consumos específicos y regímenes de uso diferentes, tal como se muestra en el cuadro n.º 4.

Del cuadro n.º 4 se desprende que la demanda derivada de la electrificación completa del transporte terrestre ascendería a 280 TWh, lo que supondría algo más que duplicar la demanda actual. Por otra parte, habría que tener en cuenta los posibles cambios de uso derivados de la introducción de otros medios de transporte (como, por ejemplo, los vehículos de movilidad persona -VMP) así como de los cambios de hábitos y propiedad (uso compartido).



Como se ha visto en las secciones anteriores, mientras para el transporte ligero la electrificación resulta una opción interesante, no está aún resuelto en el caso del transporte pesado (camiones) que es el que representa una mayor participación en la demanda derivada (casi el 80 por 100). Actualmente se están explorando otras opciones (hidrógeno, amoníaco, combustibles verdes,...) de forma que se vea reducido su impacto ambiental.

A efectos de cálculo, se adopta la hipótesis de la electrificación del transporte ligero (turismos, furgonetas, motocicletas y ciclomotores) y de los autobuses (para los que ya existen experiencias en varias ciudades, como son los casos de Badajoz, Barcelona, Madrid, Vitoria y Zaragoza) con lo que se obtendría una demanda de 60 TWh anuales, lo que representaría un 25 por 100 de la demanda actual.

IV. INFLUENCIA DE LA GESTIÓN DE LA RECARGA

La capacidad del sistema actual para incorporar estos 60 TWh sin necesidad de realizar inversiones adicionales dependerá de la forma y el instante de realizar la recarga de los vehículos. Dada las características de la demanda horaria, la recarga del parque móvil en las horas valle no requeriría inversiones adicionales en red ni en generación, mientras que su incorporación a la punta provocaría situa-

CUADRO N.º 4

TIPOS DE POSTES DE RECARGA Y TIEMPO CARACTERÍSTICO

	TURISMOS	FURGONETAS	AUTOBUSES	MOTOCICLETAS	CICLOMOTORES	CAMIONES
DISTANCIA MEDIA ANUAL (km)	12.500	19.500	55.000	11.000	11.000	100.000
CONSUMO ESPECÍFICO (kWh/100 km)	16,2	22,6	144,9	7,6	3,1	96,9
CONSUMO MEDIO ANUAL (kWh)	2.025	4.409	79.701	831	345	96.900
FLOTA	22.113.723	2.193.230	56.071	1.389.234	1.777.566	2.252.425
DEMANDA TOTAL (GWh)	44.780.289	9.669.841	4.468.887	1.153.759	613.971	218.259.983

Fuentes: Gutiérrez-García y Arcos-Vargas (2021) y elaboración propia.

ciones de riesgo del sistema, lo que induciría importantes inversiones en capacidad. En el gráfico 6 se muestra la curva característica de la demanda horaria, y cómo si la incorporación de la demanda de los vehículos eléctricos se hace en el valle (sistema eficiente) no tendría prácticamente ninguna incidencia en el sistema

Con objeto de determinar el impacto horario sobre la demanda horaria, Red Eléctrica de España ha desarrollado un simulador de recarga del vehículo eléctrico, disponible en la web (<https://www.ree.es/sites/all/Simulador-VE/simulador.php>). con el que se pueden evaluar distintos escenarios. Los parámetros a determinar son:

- *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 electrolineras.*
 - *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.

Mediante la combinación de estos parámetros, se han definido seis escenarios diferentes para los que se evalúa el impacto sobre la demanda.

Del análisis del gráfico 7, se observa que los escenarios que presentan una mayor proporción de gestión inteligente (1, 2 y 3) aprovechan el valle de demanda para su recarga.

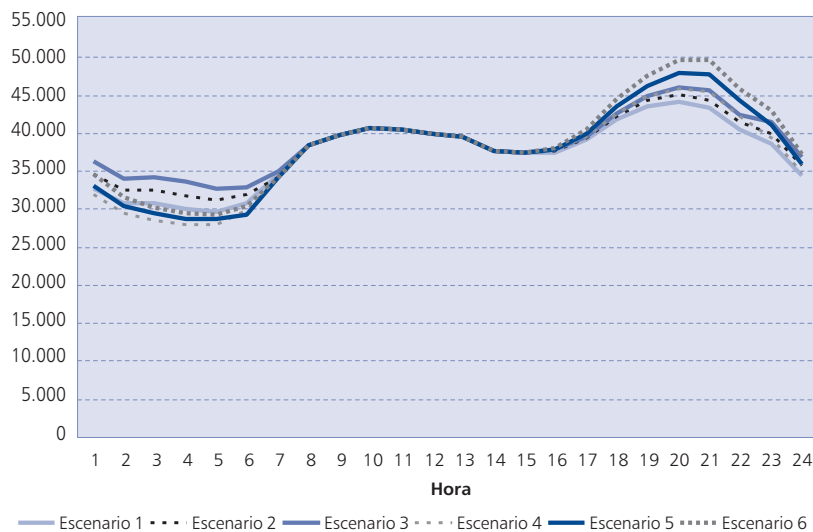
Otra alternativa sería volver a analizar los mecanismos de carga basados en el cambio de batería, conectando estas baterías en aquellos momentos en los que pudiera tener un menor efecto (en costes, en seguridad o en emisiones). Este modelo fue desarrollado por el proyecto Project Better Place (<https://web.archive.org/web/20110616141426/http://www.betterplace.com/>), que fundó una empresa en California en el año 2007. La experiencia no fue positiva debido a los grandes volúmenes de inversión y menor penetración de los vehículos eléctricos que lo esperado, declarándose en quiebra en el año 2013.

CUADRO N.º 5
ESCENARIOS DE PENETRACIÓN E INTELIGENCIA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

PARÁMETROS		ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4	ESCENARIO 5	ESCENARIO 6
% VE (0 - 100 por 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 electrolineras (0 - 100 %)		25	25	25	25	25	25

Fuente: López-Moreno (2020).

GRÁFICO 7
COMPARATIVA DE DEMANDAS EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS



Fuente: López-Moreno (2020).

Las condiciones de penetración de vehículo eléctrico y de costes de la electricidad actuales podrían hacer que el proyecto volviera a tener sentido. Analizando el modelo que desarrolla Gómez-Expósito, Arcos-Vargas y Gutiérrez-García (2020) para España, de un sistema energético libre de emisiones basado en renovables y almacenamiento, se observan que aparecen unos vertidos de energía superiores a la demanda prevista de los turismos eléctricos, con lo que, con este sistema, se le podría asignar a un coste extremadamente bajo.

V. CONCLUSIONES

Los niveles actuales de penetración del vehículo eléctrico están respondiendo a las previsiones realizadas, no existiendo causas objetivas que impidan la completa electrificación del transporte ligero en los próximos años, en línea con las aspiracio-

nes de numerosos países presentadas en la COP26 de Glasgow.

Como asignatura pendiente queda diseñar la transición del transporte pesado a una economía baja en carbono, bien sea mediante la electrificación, bien por el uso de otros combustibles de bajas o nulas emisiones. Cabe recordar, como se ha visto en este trabajo, que el consumo energético del transporte pesado supone casi cuatro veces la del ligero, siendo Este el responsable de la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por último, resaltar la importancia de desarrollar sistemas inteligentes de carga de los vehículos con objeto de minimizar el impacto en la red y las emisiones, así como en posibles inversiones extraordinarias en generación. Aunque el desarrollo de los sistemas *Better Place* ha sido abandonado, es posible que,

con los niveles actuales de penetración y la energía destinada a vertidos en sistemas renovables y de almacenamiento, resulte de nuevo atractivo.

NOTA

(1) España presenta la mayor elasticidad de los países europeos, encontrándose el valor mínimo en Italia (0,2), siendo su valor medio cercano al 0,6.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCOS-VARGAS, Á. e HIDALGO, A. (2021). Economic Analysis of Recharging Electric Vehicles. En *The Role of the Electric Vehicle in the Energy Transition*, pp. 81-92. Cham.: Springer.
- ARCOS-VARGAS, Á., MAZA-ORTEGA, J. y NÚÑEZ-HERNÁNDEZ, M. (2018). Real Academia de Ingeniería de España. *Propuestas para el fomento de la movilidad eléctrica: Barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar*. http://www.raing.es/sites/default/files/EV_por_10020RAING_por_1002020180125_por_10020DEF.pdf
- ARCOS-VARGAS, Á., CANCA, D. y NÚÑEZ, F. (2020). Impact of battery technological progress on electricity arbitrage: An application to the Iberian market. *Applied Energy*, 260, p. 114273.
- BLOOMBERG GREEN (2021). *Battery Fires Haunt the Electric Car and Clean Power Revolution*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-24/battery-fires-haunt-the-electric-car-and-clean-power-revolution?srnd=premium-europe>
- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (2021). Real Decreto 266/2021, de 13 de abril, por el que se aprueba la concesión directa de ayudas a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla para la ejecución de programas de incentivos ligados a la movilidad eléctrica (MOVES III) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Europea
- BURNHAM, A., GOHLKE, D., RUSH, L., STEPHENS, T., ZHOU, Y., DELUCCHI, M. A., ... y BOLOOR, M. (2021). *Comprehensive Total Cost of Ownership*

<p><i>Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains</i> (No. ANL/ESD-21/4). Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States).</p> <p>CLEAN TÉCNICA REPORT (2018). <i>The EV Safety Advantage</i>. https://cleantechnica.com/files/2018/07/CleanTechnica-EV-Safety-Advantage-Report.pdf</p> <p>DELOITTE (2021). <i>Deloitte Global Automotive Consumer Study</i>. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-2021-global-automotive-consumer-study-global-focus-countries.pdf</p> <p>DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO, DGT (2021). <i>Etiqueta Ambiental</i>.</p> <p>ELECTRIC VEHICLE DATABASE (2021). <i>Energy consumption of full electric vehicles</i>. https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car</p> <p>ELECTROMAPS (2021). https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/espana</p> <p>EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY (2021). <i>Spain: Total number of vehicles electricity</i>. https://www.eafo.eu/countries/spain/1754/summary. Updated 08/2021.</p> <p>EUROPEAN COMMISSION (2021a). <i>A European Green Deal Striving to be the first climate-neutral continent</i> https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en</p> <p>EUROPEAN COMMISSION (2021b). <i>Factsheet - The Transport and Mobility Sector</i>. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_en</p>	<p>GÓMEZ-EXPÓSITO, A., ARCOS-VARGAS, A. y GUTIÉRREZ-GARCÍA, F. (2020). On the potential contribution of rooftop PV to a sustainable electricity mix: The case of Spain. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>, 132, p. 110074.</p> <p>GUTIÉRREZ-GARCÍA, F. J. y ARCOS-VARGAS, A. (2021). Forecast of EV Derived Electrical Demand. The Spanish Case. En <i>The Role of the Electric Vehicle in the Energy Transition</i>, pp. 25-43. Cham.: Springer. https://www.dgt.es/es/seguridad-vial/distintivo-ambiental/etiqueta_o_azul.shtml</p> <p>HUMMEL, P. y LESNE, D. (2017). <i>UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead?</i> UBS Investment Research.</p> <p>INSIDEEVS (2021). <i>Compare Electric Cars: EV Range, Specs, Pricing & More</i>. https://insideevs.com/reviews/344001/compare-evs/</p> <p>INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2020). <i>Encuesta de hogares y medio ambiente 2008. Kilómetros medios recorridos al año por los vehículos para uso personal, por relación con la actividad económica de la persona de referencia y antigüedad del vehículo</i>. https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t25/p500/2008/p10/l0/&file=10020.px#!tabs-grafico</p> <p>INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021). <i>Global EV Data Explorer</i>. https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer</p> <p>LÓPEZ MORENO, M. (2020). <i>Un análisis de los efectos de la introducción del vehículo eléctrico sobre el mercado eléctrico español</i>. TFG. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla.</p>	<p>MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2020). <i>Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030</i>. https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx</p> <p>MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2021). <i>Nota informativa sobre el avance de emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes al año 2020</i>. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-avance-gei-2020-tcm30-528804.pdf</p> <p>RAUH, N., FRANKE, T. y KREMS, J. F. (2015). Understanding the impact of electric vehicle driving experience on range anxiety. <i>Human factors</i>, 57(1), pp. 177-187.</p> <p>SHI, L., HAO, Y., LV, S., CIPCIGAN, L. y LIANG, J. (2020). A comprehensive charging network planning scheme for promoting EV charging infrastructure considering the Chicken-Eggs dilemma. <i>Research in Transportation Economics</i>, 88(3), p. 100837.</p> <p>TESLA (2021). <i>Impact Report 2020</i>. https://www.tesla.com/ns_videos/2020-tesla-impact-report.pdf</p> <p>U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DoE) (2021). <i>FOTW #1206, Oct 4, 2021: DOE Estimates</i>. https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1206-oct-4-2021-doe-estimates-electric-vehicle-battery-pack-costs-2021</p> <p>XU, M., YANG, H., y WANG, S. (2020). Mitigate the range anxiety: Siting battery charging stations for electric vehicle drivers. <i>Transportation Research Part C: Emerging Technologies</i>, 114, pp. 164-188.</p>
--	---	---