

3 RESUMEN/ABSTRACT

7 INTRODUCCIÓN

VEHÍCULO ELÉCTRICO

Visión tecnológica

- 11 Vehículo Eléctrico: situación actual y perspectivas futuras.
Pablo FRÍAS MARÍN y Jaime ROMÁN ÚBEDA
- 21 Transición energética y transporte. El papel de las energías alternativas y las convencionales.
Eloy ÁLVAREZ PELEGRY
- 35 Sistemas de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico.
José María MAZA ORTEGA y Antonio GÓMEZ EXPÓSITO
- 45 Aspectos medioambientales del vehículo eléctrico.
Pablo FRÍAS MARÍN y Carlos de MIGUEL PERALES

Visión pública

- 55 Análisis comparativo a nivel internacional de la expansión del vehículo eléctrico.
Fernando NÚÑEZ HERNÁNDEZ y Ángel ARCOS VARGAS
- 69 La dimensión fiscal del vehículo eléctrico en España.
Sergio SASTRE SANZ e Ignasi PUIG VENTOSA
- 85 Efectos económicos y medioambientales de la electro-movilidad en España. Un análisis *input output* medioambientalmente extendido.
Manuel ORDÓÑEZ RÍOS, Ángel ARCOS VARGAS, José Manuel CANSINO MUÑOZ-REPISO y Rocío ROMÁN COLLADO

Visión industrial

- 99 Protagonismo de las materias primas minerales en el desarrollo del vehículo eléctrico.
Luis de la TORRE PALACIOS, Eloy ÁLVAREZ PELEGRY y José Antonio ESPÍ RODRÍGUEZ
- 113 Impacto del vehículo eléctrico en la industria española: disrupción económica en ciernes.
Roberto SCHOLTES RUIZ
- 123 Primeros pasos para el arranque de la movilidad eléctrica en España: el proyecto ZEM2ALL.
Jorge SÁNCHEZ CIFUENTES y Gabriel TÉVAR BARTOLOMÉ

OTROS TEMAS

- 141 Conducta empresarial ante el declive de la demanda. La experiencia de las empresas españolas de alimentación y bebidas.
María Ángeles MONTORO SÁNCHEZ y Caridad MAYLÍN AGUILAR
- 155 La capacidad de absorción de conocimiento externo y los factores que influyen en su desarrollo.
Nagore AGEITOS VARELA

NOTAS

- 169 Perspectiva energética global 2018
Juan Ignacio DEL CASTILLO CAMPOS

	LIBROS
179	Crítica de libros
185	Selección bibliográfica

ECONOMÍA INDUSTRIAL no se solidariza necesariamente con las opiniones expuestas en los artículos que publica, cuya responsabilidad corresponde exclusivamente a sus autores.

**E i
ECONOMÍA
INDUSTRIAL**

Director

Javier Muñoz Carabias
*Ministerio de Industria,
Comercio y Turismo*

Redactor Jefe

Antonio Moreno-Torres Gálvez
*Ministerio de Industria,
Comercio y Turismo*

Redactores

María Ángeles Guerediaga
*Ministerio de Industria,
Comercio y Turismo*

Administración

Inmaculada García López
*Ministerio de Industria,
Comercio y Turismo*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

CONSEJO DE REDACCIÓN:

Raül Blanco Díaz, *MINCOTUR*
Eduardo Bueno Campos, *Universidad a Distancia de Madrid*
José Luis Calvo González, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Juan Ignacio Díaz Bidart, *MINCOTUR*
José Luis Ferreira, *Universidad Carlos III de Madrid*
Miguel Ángel Galindo Martín, *Universidad de Castilla-La Mancha*
Pablo Garde Lobo, *MINCOTUR*
José Antonio Gil Celedonio, *Oficina Española de Patentes y Marcas*
José Luis Hervás Oliver, *Universidad Politécnica de Valencia*
Antonio Hidalgo Nuchera, *Universidad Politécnica de Madrid*
Emilio Huerta Arribas, *Universidad Pública de Navarra*
Xiana Margarida Méndez Bértolo, *MINCOTUR*
Isabel María Oliver Sagreras, *MINCOTUR*
Nieves Olivera Pérez-Frade, *Escuela de Organización Industrial*
Amadeo Petitbó Juan, *Fundación Rafael del Pino*
Vicent Soler i Marco, *Universidad de Valencia*
Lluís Torrens Mélich, *Ayuntamiento de Barcelona*
Fernando Valdés Verelst, *MINCOTUR*
M^a Jesús Yagüe Guillén, *Universidad Autónoma de Madrid*

DIRECCIÓN Y REDACCIÓN:

Castellana, 160, 9.ª planta
28071 Madrid
Teléfs. 91 349 46 73 - 48 29
Fax 91 349 47 13
E-mail: economiaindustrial@mincotur.es
Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
www.economiaindustrial.es

**EDICIÓN, DISTRIBUCIÓN,
PUBLICIDAD Y
SUSCRIPCIONES:**

Centro de Publicaciones
del Ministerio de Industria,
Comercio y Turismo
Panamá, 1
Teléf. 91 349 51 29
Fax 91 349 44 85
28071 Madrid

PRECIO DEL EJEMPLAR:

España, 16,54 €
(Incluidos IVA y gastos de envío)
Unión Europea, 23,30 €
(Incluidos IVA y gastos de envío)
Resto mundo, 25,66 €
(Incluidos IVA y gastos de envío)

PORTADA:
MANATO, S.L

DISEÑO:
M. Luisa G.
Guardia
Hernando Gómez

IMPRIME:
DAYTON, S. A.

ISSN:
0422-2784

ISSN-L:
2444-4324

DEPÓSITO LEGAL:
M 1227-1964

NIPO:
112-19-030-6
(Edición papel)

NIPO:
112-19-032-7
(Edición en línea)

RESUMEN/ABSTRACT

Pablo Frías Marín y Jaime Román Ubeda

VEHÍCULO ELÉCTRICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La electrificación de los sistemas de transporte se inició a finales del siglo XIX, aunque fue el coche eléctrico el que primero fue substituido por los vehículos de gasolina, ya que éstos ofrecían más autonomía. Casi 100 años después, estamos observando el renacimiento de los vehículos eléctricos, aunque esta vez dentro de un concepto más amplio de movilidad: eléctrica, conectada y autónoma. Para poder entender esta transición, así como el futuro del transporte, este capítulo repasa la evolución de la movilidad eléctrica, las cifras más importantes que definen su situación actual, y los retos que afrontará la movilidad en el futuro, y que hacen de la movilidad eléctrica la mejor solución desde los puntos de vista de sostenibilidad y eficiencia.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, movilidad eléctrica.

The electrification of transportation began in the late nineteenth century, although it was the electric car that was first replaced by gasoline vehicles, as these offered more autonomy. Almost 100 years later, we are observing the revival of electric vehicles, although this time within a broader concept of mobility: electrical, connected and autonomous. In order to understand this transition as well as the future of transport, this chapter reviews the evolution of electric mobility, the most important figures that define its current situation, and the challenges that mobility will face in the future, and that make electric mobility the best option from the points of view of sustainability and efficiency.

Keywords: Electric vehicle, e-mobility.

Eloy Álvarez Pelegrí

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y TRANSPORTE. EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y LAS CONVENCIONALES

En este artículo, tras enmarcar la situación y las perspectivas del transporte en las transiciones energéticas, se revisan las políticas europeas sobre el transporte, en particular, en relación con la movilidad sostenible y las energías alternativas. A continuación, se examinan los denominados Vehículos de Energías Alternativas (VEA), concretamente los eléctricos, los de gas natural y los de GLP; así como los convencionales (gasolina y gasóleo). Para ello se analizan aspectos medioambientales: emisiones de GEI, óxidos de nitrógeno y partículas. Posteriormente se aborda la penetración de los VEA, en el horizonte 2030, examinando diferentes previsiones y supuestos, para concluir con unas reflexiones finales.

Palabras clave: Transporte, vehículo eléctrico, energías convencionales, energías alternativas.

In this article, after describing the situation and perspectives of transport in energy transitions, European policies on transport are reviewed, in particular, in

relation to sustainable mobility and alternative energies. Next, the so-called Alternative Energies Vehicles (VEA) are examined, specifically electric vehicles, natural gas vehicles and LPG; as well as conventional ones (gasoline and diesel). To this end, environmental aspects are analyzed: GHG emissions, nitrogen oxides and particles. Subsequently, the penetration of the VEAs is addressed, in the horizon 2030, examining different forecasts and assumptions, to conclude with some final thoughts.

Keywords: Transport, electric vehicle, conventional energies, alternative energies.

José María Maza Ortega y Antonio Gómez Expósito

SISTEMAS DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS: REVISIÓN TECNOLÓGICA E IMPACTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

El cambio climático está principalmente provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la actividad humana. Se estima que alrededor de un 50% de dichas emisiones son debidas al transporte por carretera y a la generación eléctrica. La electrificación del sector transporte mediante la utilización de vehículos eléctricos que sustituyan a los tradicionales de combustión interna es clave para contribuir a la descarbonización de la sociedad. Sin embargo, esta sustitución tecnológica tiene importantes implicaciones que han de ser tenidas en cuenta antes de su despliegue masivo. El objetivo de este artículo es realizar una revisión de la tecnología de recarga de vehículos eléctricos y su impacto en la red eléctrica.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, movilidad eléctrica, cargadores eléctricos.

The climate change is mainly generated by the greenhouse gas emissions due to the human activity. It is estimated that around a 50% of these emissions comes from road transportation and electricity generation. The transportation sector electrification, by means of electric vehicles replacing traditional ones based on internal combustion engines, is key to achieve a decarbonized society. This technological replacement, however, has important implications that has to be considered before a massive rollout. The objective of this paper is to review the charging technology of electric vehicles and its impact on the power system.

Keywords: electric vehicle, e-mobility, electric chargers.

Pablo Frías Marín y Carlos de Miguel Perales

ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El proceso de desarrollo de una nueva tecnología como el vehículo eléctrico no está exento de tener un impacto medioambiental en todo su ciclo de vida, desde la construcción de los distintos componentes, su uso como medio de transporte, hasta la fase

última de destrucción y reciclaje. Durante su vida útil se hace uso de distintos recursos (litio o cobalto en la fabricación de las baterías, gas natural para producir la energía almacenada en las mismas), y se producen impactos ambientales (por ejemplo, derivados de las emisiones precisas para que el vehículo transite). Este artículo repasa con detalle la huella ecológica del coche eléctrico durante su vida, en comparación con un vehículo de combustión tradicional, y presenta las distintas normas existentes que regulan el impacto medioambiental del mismo en España.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, movilidad eléctrica, impacto medioambiental, contaminación.

The process of developing a new technology such as the electric vehicle is not without having an environmental impact throughout its life cycle, from the construction of the different components, its use as a means of transport, to the last phase of destruction and recycling. During its useful life, different resources are used (lithium or cobalt in the manufacture of batteries, natural gas to produce the energy stored in them), and environmental impacts are produced (for example, derived from the emissions for vehicle transit). This article reviews in detail the ecological footprint of the electric car during its life, compared to a traditional combustion vehicle, and presents the different existing regulations that regulate the environmental impact of the same in Spain.

Keywords: Electric vehicle, e-mobility, environmental impact, pollution.

Fernando Núñez Hernández y Ángel Arcos Vargas

ANÁLISIS COMPARATIVO A NIVEL INTERNACIONAL DE LA EXPANSIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Más de un millón de nuevos vehículos eléctricos (VE) se registraron en todo el mundo en el año 2017 (récord hasta la fecha), alcanzando el stock de este tipo de vehículos los tres millones de unidades en dicho año.

El objetivo de este trabajo es analizar los factores determinantes del importante despliegue del VE desde una perspectiva comparada a nivel internacional. El estudio analiza, mediante un modelo de frontera estocástica para datos de panel, el efecto sobre las matriculaciones de VE de la infraestructura de recarga (cargadores rápidos y lentos), de la tecnología de almacenamiento y de las medidas de estímulo a la oferta y a la demanda de este tipo de vehículos.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, movilidad eléctrica, factores de éxito, análisis internacional.

More than one million of new electric vehicles (EV) were registered worldwide in the year 2017 (record to date), reaching the stock of this type of vehicles three million units in this year. The objective of this paper is to analyze the key factors of the important deployment of the EV from a comparative perspective at international level. The study analyzes, using a stochastic frontier model for panel data, the effect on EV registration of the charging infrastructure (fast and slow chargers), the storage technology and the measures to stimulate the supply and demand of this type of vehicles.

Keywords: Electric vehicle, e-mobility, success factors, international analysis.

Sergio Sastre Sanz e Ignasi Puig Ventosa

LA DIMENSIÓN FISCAL DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN ESPAÑA

Los vehículos eléctricos representan un bajo porcentaje del parque de vehículos español, aunque han experimentado un crecimiento notable desde 2010, llegando a 14.842 turismos matriculados a finales de 2017. De entre todas las transformaciones que conlleva la introducción de la electricidad en el transporte privado, la dimensión fiscal es relevante dado el volumen de ingresos que generan los impuestos sobre los vehículos, la gasolina y el diésel. Este trabajo tiene como objetivo comparar la recaudación derivada del marco fiscal de los turismos convencionales y eléctricos en España para abrir un debate sobre esta cuestión desde la fiscalidad ambiental.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, fiscalidad, impuestos, gasolina, diésel, electricidad.

Electric vehicles represent a little share of the overall car fleet in Spain, although sales have significantly grown since 2010, reaching 14.842 registered cars in 2017. Among the transformations related to the wide introduction of electricity in private transport, the fiscal dimension is relevant, given the magnitude of the revenues currently generated by excise taxes on diesel and gasoline, and taxes on cars. This work aims at comparing the revenues derived from the fiscal framework of conventional and electric vehicles in Spain in order to feed a debate on this issue from an environmental taxation perspective.

Keywords: Electric vehicle, taxation, taxes, gasoline, diesel, electricity.

Manuel Ordoñez Ríos, Ángel Arcos Vargas, José Manuel Cansino Muñoz-Repiso y Rocío Román Collado

EFFECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA ELECTRO-MOVILIDAD EN ESPAÑA. UN ANÁLISIS INPUT OUTPUT MEDIOAMBIENTALMENTE EXTENDIDO

El transporte por carretera es responsable de más de 25 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) en España. La reducción de sus emisiones es una condición necesaria para la transición de España hacia una economía baja en carbono y para el cumplimiento de los acuerdos internacionales. Este artículo calcula los impactos económicos sobre la producción, el empleo, el valor añadido bruto y las emisiones de GEI de tres escenarios de penetración de la electro-movilidad empleando el análisis multisectorial basado en el modelo de cantidades de Leontief extendido medioambientalmente. La reducción de las emisiones de GEI podrían alcanzar las 8.400 ktCO_{2eq} descartándose un efecto rebote detonador o "backfire".

Palabras claves: Electro-Movilidad, Input-Output, Gases de efecto invernadero, Cambio Climático.

Road transportation is responsible for more than 25% of total greenhouse gas (GHG) emissions in Spain. The diminishing of these emissions is a necessary condition to achieve a low carbon economy in Spain and to comply with international agreements. This paper calculates the economic impacts on production, employment, gross added value and GHG emissions of three electro-mobility penetration scenarios through

a multisectoral analysis based on the Leontief input-output model extended environmentally. The results show that GHG emissions could be reduced up to 8,400 ktCO_{2eq} discarding a backfire effect.

Keywords: *Electro-mobility, Input-Output, greenhouse gases, climate change.*

Luis de la Torre Palacios, Eloy Álvarez Pelegrí y José Antonio Espí Rodríguez

PROTAGONISMO DE LAS MATERIAS PRIMAS MINERALES EN EL DESARROLLO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Este artículo examina las perspectivas de oferta y demanda de aquellas materias primas minerales y de algunos metales ante el fuerte crecimiento que, a futuro y en un horizonte temporal del 2030-2040, tendrá la penetración de los vehículos eléctricos (VE). Teniendo en cuenta la naturaleza del tema a abordar, el ámbito de análisis será global. Para ello, en primer lugar, se indica qué se entiende por vehículos eléctricos y cuáles son sus componentes, a fin de centrar la atención en las baterías, ya que estas son el elemento diferencial, fundamental, frente a los vehículos de combustión interna. El análisis de las condiciones de respuesta a la importante demanda de las materias primas de donde parten los materiales del vehículo eléctrico señala diferencias muy sustanciales en sus cadenas de suministro, conteniendo sustancias de indudable calificación como "críticas". No menos importantes son las consecuencias geopolíticas que amenazan a algunas de estos materiales.

Palabras clave: Economía de suministros, materias primas minerales, minerales y metales críticos, vehículo eléctrico.

This paper examines the prospects of supply and demand about metal and mineral raw materials related with the electric vehicles (VE) production growth in the horizon 2030-2040. Considering the nature of the topic to be addressed, the scope of analysis will be global. To do this, first, what is meant by electric vehicles and what are their components, in order to focus attention on batteries, since these are the differential element, fundamental, compared to internal combustion vehicles. The analysis of the response to the important electric vehicle raw materials demand, reveals very substantial differences in their supply chains, containing substances of undoubted qualification as "critical". No less important are the geopolitical consequences that threaten some of these materials.

Keywords: *Economy of supplies, mineral raw materials, minerals and critical metals, electric vehicle.*

Roberto Scholtes Ruiz

IMPACTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA. DISRUPCIÓN ECONÓMICA EN CIERNES

La disrupción combinada del vehículo eléctrico, del coche compartido y de la conducción autónoma va a cambiar las dinámicas competitivas y barreras de entrada en la industria automovilística. El impacto más negativo en Europa estará causado por el hecho de que Asia liderará abrumadoramente la fabricación de baterías y de componentes electrónicos, que suponen más de la mitad del coste de un coche eléctrico de gama media. Esto implica una enorme transferencia de valor añadido –hasta ahora en manos de las

marcas y suministradores de componentes- desde las economías europeas a las asiáticas. Un escenario tentativo muestra que esta disrupción podría causar en España la pérdida de más de un punto porcentual del PIB, de dos puntos de producción industrial y de decenas de miles de empleos.

Palabras clave: vehículo eléctrico, cambio tecnológico, disrupción, industria automoción, componentes, Europa, Asia.

The combined disruption of the electric vehicle, shared car and autonomous driving will change the competitive dynamics and entry barriers in the automotive industry. The most negative impact in Europe will be caused by the fact that Asia will overwhelmingly lead the production of batteries and electronic components, which account for more than half of the cost of a mass-market EV. This implies an enormous transfer of added value - now made by manufacturers and part suppliers - from the European economies to the Asian ones. A tentative scenario shows that this disruption could cause Spain to loss more than one percentage point of GDP, two points of industrial production and tens of thousands of jobs.

Keywords: *electric vehicle, technological change, disruption, automotive industry, components, Europe, Asia.*

Jorge Sánchez Cifuentes y Gabriel Tévar Bartolomé

PRIMEROS PASOS PARA EL ARRANQUE DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN ESPAÑA: EL PROYECTO ZEM2ALL

Las barreras de adopción para una nueva tecnología muchas veces han conseguido retrasar o evitar el uso generalizado de una nueva solución a problemas cotidianos.

El Vehículo eléctrico, aunque representa muchas ventajas en cuanto eficiencia energética y menores emisiones, si ha tenido desde sus comienzos una serie de barreras tecnológicas y regulatorias que se han intentado romper a través del impulso regulatorio y desde la demostración tecnológica. En este caso se han obtenido ya los primeros resultados positivos que están haciendo que poco a poco se derriben estas barreras y se cree la base adecuada para su despliegue y adopción generalizada. En este artículo se revisan las primeras acciones llevadas a cabo en España en estos campos con el fin de romper las barreras iniciales de adopción de esta tecnología.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, movilidad eléctrica, cargadores eléctricos, innovación, regulación.

Adoption barriers for a new technology have often delay or avoid the widespread use of a new solution useful to improve normal problems.

The electric vehicle, although it represents many advantages in terms of energy efficiency and lower emissions, had a series of technological and regulatory barriers since its beginning that have been tried to break through the regulatory impulse and from the technological demonstrations. From both point of views, the first positive results have been obtained that are gradually breaking down these barriers and creating the appropriate basis for their widespread deployment and adoption. In this paper, we review the first actions carried out in Spain in these fields in order to break the initial barriers of adopting widely EV technology.

Keywords: *Electric vehicle, e-mobility, electric chargers, innovation, regulation.*

María Ángeles Montoro Sánchez y Caridad Maylín Aguilar

CONDUCTA EMPRESARIAL ANTE EL DECLIVE DE LA DEMANDA. LA EXPERIENCIA DE LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS DE ALIMENTACIÓN Y BEBIDAS

El objetivo de trabajo es el estudio de la industria de alimentación y bebidas en España. Para ello, tras desvelar, la existencia de negocios en fase de declive en una industria aparentemente estable y anticíclica, ratificando la vigencia de los indicadores académicos del modelo del ciclo de vida y del análisis estructural; el estudio establece los modelos de comportamiento propuestos por la investigación académica y su comparación con la conducta estratégica implantada. La comparación muestra diferencia entre la conducta prescrita y la realmente implantada. Los resultados y conclusiones permiten avanzar en el conocimiento del comportamiento ante el declive en el tejido industrial español.

Palabras clave: Sector alimentación y bebidas, ciclo de vida de la industria, declive, estrategia empresarial.

The goal of this paper is to study the food and beverage industry in Spain. For this, firstly the study reveals the existence of businesses in the phase of decline in a seemingly stable and countercyclical industry, ratifying the validity of the academic indicators of the life cycle model and structural analysis; then, the paper establishes the theoretical models proposed by academic research and their comparison with the strategic behavior

implemented. The comparison shows differences between the prescribed behavior and the one actually implemented. The results and conclusions allow to advance in the knowledge of the strategic behavior to face the decline in the Spanish manufacturing sector.

Keywords: *Food and beverage industry, life cycle model, decline, strategy.*

Nagore Ageitos Varela

LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE CONOCIMIENTO EXTERNO Y LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN SU DESARROLLO

La capacidad de absorción es uno de los términos más citados en la literatura de gestión. Con un consenso en la definición de esta capacidad, este artículo analiza el grado de influencia de diferentes factores, tanto de índole organizativa como de gestión, que afectan directamente al grado de desarrollo de cada una de las dimensiones de la capacidad de absorción.

Palabras clave: Capacidad de absorción, factores organizativos, factores de gestión.

The absorptive capacity is one of the most cited terms in management literature. Having identified a consensus definition on this concept, this article analyzes the degree of influence of different organizational as well as management factors in the development of different dimensions of the aforementioned absorptive capacity.

Keywords: *Absorptive capacity, organizational factors, management factors.*

Los índices y abstracts de Economía Industrial se incluyen en las bases de datos e índices on line de la **American Economic Association** y en su publicación especializada **ECONLIT**, editada por el **Journal of Economic Literature**. A la consulta de sus 200.000 registros, entre los que se encuentran 300 revistas —100 fuera de Estados Unidos—, recurren estudiantes, investigadores y profesores de todo el mundo económico.

Los contenidos de Economía Industrial también están disponibles en la red Internet, en la dirección **www.economiaindustrial.es**

INTRODUCCIÓN

El vehículo eléctrico es ya una realidad que sin duda impactará con enorme importancia en aspectos económicos e industriales de nuestro país. Al análisis de la magnitud y alcance de este fenómeno dedica **Economía Industrial** este monográfico coordinado por el Profesor de la Universidad de Sevilla **Ángel Arcos Vargas**. Atendiendo a la multidimensionalidad de la cuestión, se incluyen diez artículos vertebrados en tres bloques temáticos dedicados respectivamente a los aspectos tecnológicos, el impacto público y la dimensión industrial.

El primer bloque del monográfico se centra en analizar aspectos tecnológicos facilitadores. Comienza con un trabajo de **Pablo Frías Marín** y **Jaime Román Úbeda** en el que presentan la evolución de la movilidad eléctrica, exponiendo las cifras más importantes que definen su situación actual, así como los retos que se deberán afrontar en el futuro y que están haciendo de aquella la mejor solución al transporte, tanto desde el punto de vista medioambiental como el de la eficiencia del sistema. A continuación, **Eloy Álvarez Pelegrí** expone una visión más amplia al tratar, además de los vehículos eléctricos, otras tecnologías alternativas como son los vehículos de gas natural y los de gases licuados del petróleo (GLP), estudiando sus aspectos medioambientales en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), óxidos de nitrógeno y partículas, y analizando las políticas europeas sobre el transporte en relación con la movilidad sostenible y las energías alternativas. Centrándonos específicamente en la movilidad eléctrica, **José María Maza Ortega** y **Antonio Gómez Expósito**, hacen una revisión de las distintas tecnologías de recarga, así como su potencial impacto en el sistema eléctrico. Para terminar este primer bloque, **Pablo Frías Marín** y **Carlos de Miguel Perales** estudian el impacto medioambiental del vehículo eléctrico a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la construcción de los distintos componentes -a partir de recursos naturales como el litio y el cobalto- y su uso como medio de transporte hasta las fases de destrucción y reciclaje, analizando su huella ecológica en comparación con el vehículo tradicional de combustión, y presentando la regulación medioambiental que resulta de aplicación en España.

El segundo bloque del monográfico profundiza en los impactos de la penetración del vehículo eléctrico en el ámbito público. Para ello, y en primer lugar, el trabajo de **Fernando Núñez Hernández** y **Ángel Arcos Vargas**, analiza las diferencias que entre países semejantes muestra la evolución de las matriculaciones, investigando sobre sus factores explicativos por medio de un modelo de frontera estocástica para datos de panel, que resulta de gran interés desde el punto de vista de la propuesta y evaluación de políticas públicas relacionadas. En la dimensión fiscal profundizan **Sergio Sastre Sanz** e **Ignasi Puig Ventosa**, comparando la recaudación derivada del marco fiscal de los turismos convencionales y eléctricos en España con el objeto de propiciar el debate sobre esta cuestión desde el punto de vista de la fiscalidad ambiental. Cierra este bloque un tercer artículo de **Manuel Ordóñez Ríos**, **Ángel Arcos Vargas**, **José Manuel Cansino**, **Muñoz-Repiso** y **Rocío Román Collado** en el que con un modelo multisectorial de Leontief se analizan los efectos sobre la producción (PIB), el empleo y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para tres escenarios diferentes de penetración de la electro-movilidad.

El tercer y último bloque se dedica a la perspectiva industrial. Un primer trabajo de **Luis de la Torre Palacios**, **Eloy Álvarez Pelegrí** y **José Antonio Espí Rodríguez** examina las perspectivas de oferta y demanda de aquellas materias primas que previsiblemente presentarán un fuerte crecimiento en el horizonte temporal 2030-40 asociado al despliegue de la electro-movilidad, analizando las necesidades de los componentes de los vehículos eléctricos –con las baterías como elemento diferencial- e identificando las cadenas de suministro que, tanto por su capacidad de respuesta por el lado de la oferta como por sus condiciones geopolíticas, cabe señalarlas como “críticas”. Un segundo trabajo prospectivo de **Roberto Scholtes Ruiz** trata sobre los cambios en las dinámicas competitivas de la industria automovilística española, derivados tanto de la penetración del vehículo eléctrico y otras tendencias disruptivas -coche compartido y conducción autónoma- como del previsible desplazamiento del centro de gravedad de la industria desde Europa a Asia, debido a su especialización en la fabricación de componentes como las baterías y los subsistemas de control electrónicos, que suponen más de la mitad del coste de un vehículo eléctrico. Finalmente, y en el artículo que cierra el bloque y el monográfico, **Jorge Sánchez Cifuentes** y **Gabriel Tévar Bartolomé** presentan a modo de caso de estudio el proyecto *ZEM2ALL (Zero Emission Mobility to All)* para la demostración de nuevos servicios y modelos de desarrollo de la movilidad eléctrica, desarrollado en la Smart City de Málaga bajo el paraguas de un convenio hispano-japonés de asociación público-privada.

La sección de Otros Temas que cierra este ejemplar de **Economía Industrial** incluye dos artículos. En el primero de ellos, **María Ángeles Montoro Sánchez** y **Caridad Maylín Aguilar** estudian los comportamientos estratégicos en la industria de alimentación y bebidas en España. En el segundo, **Nagore Ageitos Varela** analiza la influencia de factores organizativos y de gestión en la capacidad de absorción.

ECONOMÍA INDUSTRIAL no se solidariza necesariamente con las opiniones expuestas en los artículos que publica, cuya responsabilidad corresponde exclusivamente a sus autores.

VEHÍCULO ELÉCTRICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS

PABLO FRÍAS
JAIME ROMÁN

Instituto de Investigación Tecnológica IIT-ICAI
Universidad Pontificia Comillas

La electrificación de los sistemas de transporte comienza a finales del siglo XIX, principalmente en el transporte urbano como el tranvía, el metro, el trolebús y a continuación el tren en medias distancias. En la misma época surgieron los coches eléctricos, pero su limitada autonomía hizo triunfar al histórico Ford T. Hasta 1996 no resurgió puntualmente el vehículo eléctrico con el General Motors EV1, y en 2009 con el nacimiento de Tesla.

Hoy día, la gran mayoría de marcas ya ofrecen vehículos totalmente eléctricos o híbridos. En toda esta transición ha sido el desarrollo de la electrónica de potencia, la sensorización y el control los que han permitido evolucionar hacia un nuevo concepto de movilidad eléctrica, conectada y autónoma.

En la transición hacia el coche eléctrico del futuro existen diversos factores aceleradores, siendo el más importante el crecimiento de la población en las zonas urbanas y la mejora de la calidad del aire en las mismas, tal y como se recoge en la iniciativa de Naciones Unidas SUM4ALL. La iniciativa local dará paso a una movilidad más sostenible, basada en transporte limpio y compartido, donde el vehículo eléctrico será el eje fundamental, tanto público como privado. Estas necesidades empujarán los desarrollos tecnológicos en baterías más eficientes, económicas y reciclables, así como la creación de una infraestructura de recarga adecuada. La reducción del coste de las baterías tiene que hacer más competitivo al coche eléctrico frente al de combustión para que su aceptación sea masiva. Existen nu-

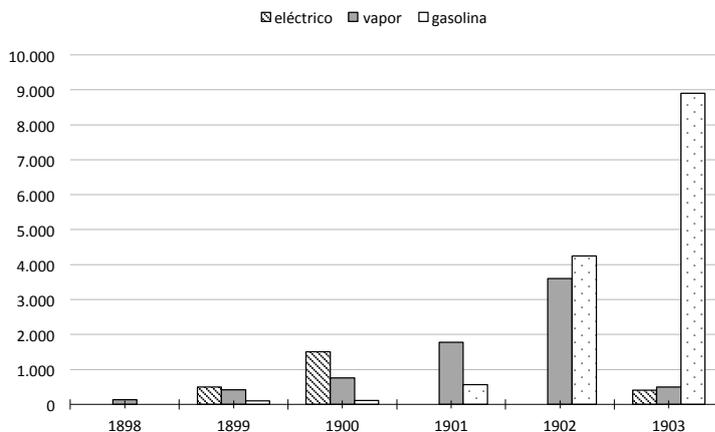
merosos desarrollos tecnológicos externos al coche que también lo integrarán e impulsarán, como es el uso de baterías para otras aplicaciones, los servicios asociados a la sensorización en las Smart-cities, el blockchain en el uso compartido de los coches, etc.

Según diversas fuentes en el año 2030 se estima que se consiga que la mayoría de las ventas de vehículos sean eléctricos. En España, considerando un parque móvil de 25 millones de coches, unas ventas anuales de 1 millón de coches y una vida de los coches de 12 años, esta transición hacia un parque mayoritariamente eléctrico podría durar más de 40 años.

EL CAMINO HACIA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA ↓

Aunque en la actualidad estemos sorprendidos de la aparición de los coches eléctricos, la movilidad eléctrica nació a la vez que la transición del coche de caballos al coche de motorizado. La electrificación de los sistemas de transporte comenzó a finales

FIGURA 1
PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS EN ESTADOS UNIDOS



Fuente: [Automobils, 1994]

TABLA 1
GENERAL MOTORS EV1 Y PEUGEOT 106 ELECTRIQUE

	GM EV1	Peugeot 106 Electrique
Motor	Motor inducción trifásico; 102kW; 149NM, @ 7000rpm	11kW, pico 20kW
Batería	16.5-26.4kWh Níquel metal hidruro @ 340V	Níquel Cadmio, 256kg, 120V
Autonomía	250 km	80-100km
Cargador	6.6 kW, convertor inductivo	Enchufe doméstico, 220V/16A
Alquiler	350-575 \$/mes; 34.000 \$ coste total	14.000 €
Unidades	1117	3542
Fabricación	1996-2003	1993-2003

Fuente: diversas

del siglo XIX, principalmente en el transporte urbano como el tranvía, el metro, el trolebús y a continuación el tren en medias distancias. En la actualidad se ha conservado el uso del transporte público electrificado, e incluso algunas ciudades europeas apuestan por nuevas inversiones en soluciones tradicionales como el trolebús.

En la misma época surgieron los coches eléctricos, que llegaron a ser muy populares en las ciudades de Estados Unidos (ver Figura 1), donde durante varios años consecutivos la producción y venta de vehículos eléctricos era superior a la de vehículos con motor de gasolina o vapor. Nacieron varios fabricantes de vehículos eléctricos, que se caracterizaban por su facilidad y suavidad en la conducción. Eso sí, tenían la misma una problemática: su limitada autonomía. En esos momentos nació el histórico Ford T, un coche de bajo coste, y que sí permitía recorrer medias y largas distancias. Este último sí se adaptaba perfectamente a las necesidades de movilidad de los Estados Unidos de la época donde era preciso recorrer largas distancias. De esta forma, el coche eléctrico quedó relegado a entornos urbanos, que hacía limitada su venta y por tanto en pocos años la

industria del automóvil de gasolina acaparará el mercado de vehículos de tracción mecánica.

En la década de 1990 algunos fabricantes realizaron pruebas de concepto para ver la viabilidad de los coches eléctricos (ver Tabla 1). Un ejemplo en Europa fue el grupo PSA, con los modelos Citroën AX o Peugeot 106 eléctricos, con motores de 20kW, autonomía de 100km, y un precio de unos 14.000 € (casi el doble de lo que costaban sus homólogos en gasolina), y con un tiempo de dos horas para la recarga del 80% de la batería; sólo se vendieron 3.500 unidades y se dejaron de producir en 2003. Una experiencia similar ocurrió en Estados Unidos en 1996, cuando una iniciativa de General Motors dio luz al EV1, del que se fabricaron 1117 unidades, con una autonomía de hasta 250 km y un avanzado sistema de conducción y confort, similar a los coches eléctricos actuales. A pesar del éxito de dicho modelo y la satisfacción de sus usuarios (trabajadores de General Motors en su mayoría), el coche dejó de producirse tres años después y las unidades existentes fueron retiradas de la circulación y destruidas en 2003. Esta decisión del fabricante de automóviles puso de manifiesto el temor de la industria del automóvil tradicional hacia el cambio tecnológico. (1)

**TABLA 2
NIVELES DE CONGESTIÓN EN 2016**

Mundial		Europa		España	
Ciudad de Méjico	66%	Bucarest	50%	Barcelona	31%
Bangkok	61%	Moscú	44%	Palma de Mallorca	29%
Jakarta	58%	San Petesburgo	41%	Las Palmas	27%
Chongqing	52%	Londres	40%	Granada	26%
Bucharest	50%	Marsella, Roma	40%	Sevilla	25%

Fuente: www.tomtom.com

La reacción de este nuevo sector tecnológico culminó con el nacimiento de la empresa AC Propulsion, destinada a la construcción de un nuevo prototipo de coche eléctrico T-Zero, que pocos años después se convirtió en TESLA. La estrategia de TESLA, clave para entender la situación actual de los vehículos eléctricos, se resume en tres hitos asociados a los modelos TESLA Roadster, Model S y Model 3: Se partió de un proyecto pequeño cuyo objetivo fue demostrar que se puede crear un vehículo (Tesla Roadster) tan atractivo e incluso con mejores prestaciones que cualquier deportivo del mercado; a continuación, se quiso introducir todos los avances tecnológicos en un vehículo y así crear una berlina de lujo (Model S) con una producción mediana; y por último, se han integrado los desarrollos en un vehículo asequible (Model 3). Esta estrategia ha supuesto un revulsivo para la industria del automóvil tradicional, donde algunos fabricantes han visto en la movilidad eléctrica una oportunidad de crecimiento.

SITUACIÓN ACTUAL DEL DESARROLLO DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA ↓

De forma simplista podríamos decir que la situación actual de la movilidad eléctrica se dinamiza mediante dos factores: las restricciones de circulación en las grandes ciudades y la percepción social del conductor hacia el vehículo eléctrico.

Por un lado, desde mediados del siglo pasado y a escala mundial se ha producido una migración de las zonas rurales hacia las ciudades. El aumento de población en las ciudades ha obligado a rediseñar las infraestructuras para el transporte privado y a mejorar las existentes de transporte público. No obstante, se podría decir que actualmente se ha llegado en muchos países al límite de capacidad de las infraestructuras para el uso privado, que se ha visto reflejado en dos índices claros: congestión y contaminación.

En la tabla 2 se muestra un listado de las cinco ciudades con más alto nivel de congestión en distintas zonas geográficas del mundo, donde este nivel se define como el porcentaje de tiempo extra que se necesita en los recorridos por las ciudades en comparación con una situación sin congestiones. Ade-

más del natural malestar de los conductores que sufren un atasco dentro de las ciudades o en su periferia, existen numerosos efectos colaterales en el entorno, como son la contaminación del aire y el ruido. Se ha estimado que el coste real de la reducción de la productividad laboral derivado de dicho tiempo ascendería a 180 millones de euros al año en ciudades como Madrid o Barcelona (2). Por otro lado, el número de situaciones de alerta por contaminación, principalmente de ozono o partículas, ha crecido notablemente en las grandes ciudades como Madrid.

Estas situaciones son las que han hecho que los ayuntamientos establezcan medidas del control de tráfico rodado de combustibles fósiles, mediante la imposición de restricción al tráfico, el establecimiento de zonas de aparcamiento regulado o restringido, o la creación de peajes por congestión (tal como ocurre en las ciudades como Londres o Estocolmo).

El segundo elemento dinamizador de los coches eléctricos es su imagen. La estrategia de TESLA comentada anteriormente ha revitalizado claramente la percepción del coche eléctrico, no sólo desde el punto de vista tecnológico, sino también de la imagen actual de los propietarios de vehículos eléctricos, asociada a personas jóvenes, con recursos económicos, amantes de la tecnología y con una clara responsabilidad medioambiental.

Ambos elementos, restricción de circulación en grandes urbes junto con una imagen atractiva, han hecho avanzar a una nueva etapa de desarrollo de los vehículos eléctricos. Esta revitalización no sólo afecta a los coches eléctricos de uso privado, sino también al uso de otros medios como el vehículo eléctrico compartido: coche, motocicleta, bicicleta o patinete. El crecimiento de la oferta de los servicios de movilidad compartida en ciudades como Madrid ha sido exponencial, como se muestra en la Figura 2. Finalmente, el uso de los sistemas de transporte público eléctrico ha seguido creciendo, como es el metro, el tren de cercanías, y de forma mucho menor por los autobuses eléctricos (apenas 15 en Madrid (3) y cerca de 50 en Barcelona).

Para atender a las necesidades de movilidad de los ciudadanos las distintas estructuras de gobierno, des-

FIGURA 2
SERVICIOS DE MOVILIDAD COMPARTIDA EN MADRID EN 2018



Fuente: OVEMS

de el nivel local al nivel nacional, están reaccionando. No obstante, esta respuesta dista mucho de estar coordinada, tanto a nivel horizontal (entre ministerios o consejerías), como a nivel vertical (entre gobierno locales, regionales, nacional o comunitario).

A nivel nacional o de la Comunidad Europea se buscan modelos de movilidad que garanticen en el transporte la eficiencia energética, la seguridad de abastecimiento y la independencia energética. Esta política se concreta en incentivos de uso de combustibles alternativos como el gas natural, biodiesel o eléctrico. No obstante, estas iniciativas pueden chocar con la necesidad de garantizar la competitividad como país, y en ocasiones puede derivar en un proteccionismo de la industria automovilística tradicional (4). Un segundo elemento que impide concretar políticas eficientes es la falta de coordinación entre los distintos ministerios, consejería o departamentos implicados, por ejemplo Energía, Industria, Interior, Sanidad o Hacienda, entre otros, dado que cualquier política afectará de una forma distinta a cada uno de ellos.

A nivel local existe una capacidad de regular sobre aspectos de movilidad y medioambientales, siempre acordes a normativa de rango superior. Por tanto, las políticas locales están muy centradas en garantizar la calidad medioambiental y para ello estableciendo limitaciones en determinadas zonas. Estas políticas locales, en ocasiones pueden interferir con intereses nacionales, como has sido el caso de la prohibición de circulación de vehículos Diesel antiguos en las ciudades (en Hamburgo que requirió de la acción judicial del Tribunal Administrativo Federal en abril de 2018 para dar la razón a la capacidad limitadora de los municipios).

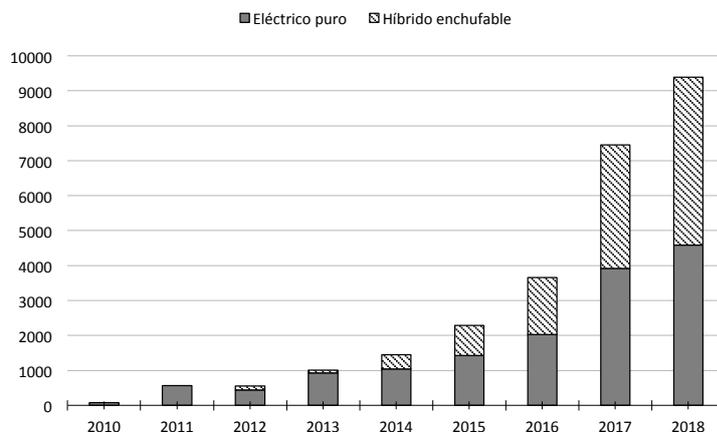
En España las medidas concretas hacia los vehículos eléctricos de momento han sido limitadas, centradas en dos niveles: por un lado, ayudas económicas a la renovación de los vehículos más contaminantes y a la instalación de puntos de recarga, y por otro lado el desarrollo de una normativa sobre puntos la instalación y gestión de puntos de recarga. No obstante, dista mucho de las necesidades que garanticen un desarrollo eficiente y sostenible de los mismos.

El número de matriculaciones de turismos eléctricos (tanto eléctricos puros como híbridos) (5) ha crecido de forma exponencial en los últimos años en todo el mundo, en Europa y en concreto en España, como se puede ver en la Figura 3, llegando a los 9.400 vehículos eléctricos en 2018.

Para ver el orden de magnitud de las ventas en España en un contexto europeo, cabe indicar que el país con mayor porcentaje de ventas de vehículos eléctricos en Europa el año 2018 es Noruega donde cerca del 45% de las nuevas ventas de turismos son eléctricos, frente a menos del 1% que representan las ventas actuales en España (ver Figura 4). Este éxito en Noruega se basa en distintas estrategias: apoyo del gobierno eliminando casi todos los impuestos en la compra de los vehículos eléctricos así como eliminación de pagos por uso de vías preferentes, disponer de una amplia infraestructura de recarga y una generación eléctrica un 98% hidráulica (renovable y barata).

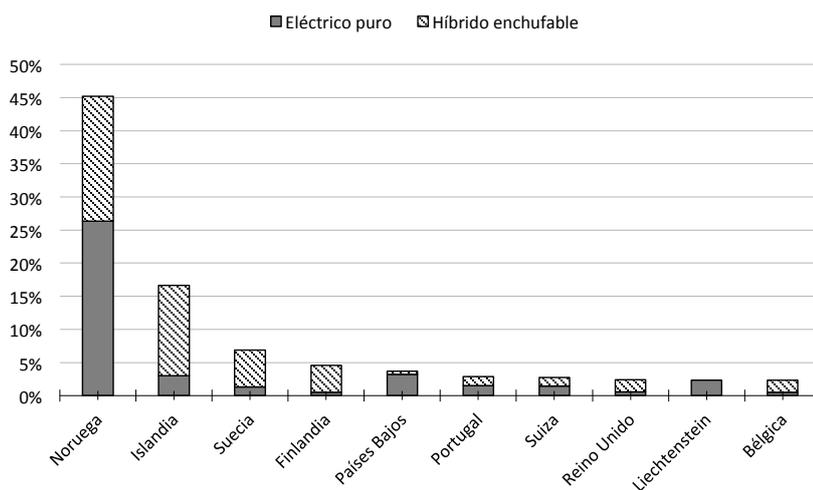
Los modelos de turismos eléctricos puros más vendidos son el Nissan Leaf, Renault Zoe y Volkswagen e-Gol, que copan el 50% de las ventas, mientras que los vehículos híbridos enchufables existe una gran variedad de modelos en el mercado y sus ventas no están tan

FIGURA 3
MATRICULACIONES DE TURISMOS EN ESPAÑA



Fuente: OVEMS

FIGURA 4
PAÍSES DE EUROPA CON MAYOR PORCENTAJE DE VENTAS DE TURISMOS ELÉCTRICOS



Fuente: EAFO

concentradas, salvo por el SUV Mitsubishi Outlander PHEV (ver Figura 5).

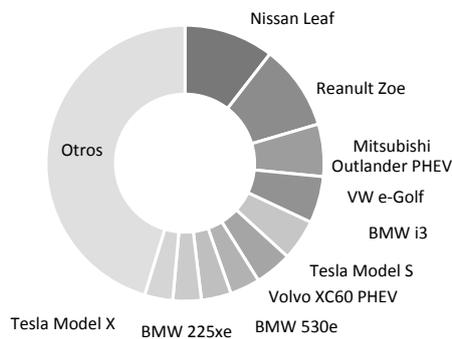
En la Figura 6 se muestra la evolución a lo largo de los años del número de estaciones de recarga de acceso público en España, clasificando estas infraestructuras en función de su potencia (6). Se observa que el crecimiento de la infraestructura de recarga es lineal, frente a un crecimiento exponencial del número de vehículos eléctricos. Este desacoplamiento podría dar lugar a un estancamiento del crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos, y precisa de estrategia. Conforme a estos datos hay 7 coches eléctricos por estación de recarga pública, frente a los más de 400 vehículos de combustión por surtidor de gasolinera, (aunque juega en contra el hecho de éstos tengan una mayor autonomía y por tanto menor necesidad de recarga). (7)

TENDENCIAS DE LA MOVILIDAD EN EL FUTURO ↓

En el medio y largo plazo las tendencias de movilidad van a seguir evolucionando, incluso a mayor velocidad a la que lo ha hecho hasta hoy día, en concreto la futura distribución de la población marcará las exigencias de movilidad de las personas y mercancías, la cual se plasmará en función de la percepción social de los distintos medios de transporte y de la evolución técnica de los mismos.

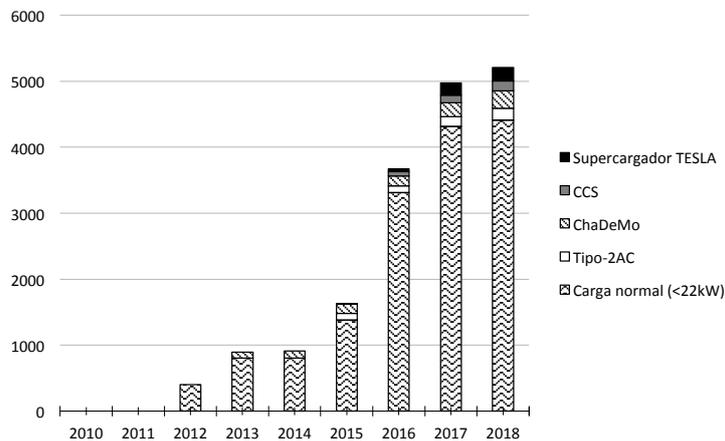
La despoblación de las zonas rurales hacia las zonas urbanas va a centrar más aún el problema de movilidad, de calidad del aire y ruido en las grandes ciudades en: el transporte privado, la necesidad de un transporte público más eficiente, y el reparto urbano de mercancías. En gran parte de los países se espera

FIGURA 5
MODELOS DE TURISMOS ELÉCTRICOS MÁS VENDIDOS EN 2018



Fuente: EAFO

FIGURA 6
ESTACIONES DE RECARGA EN ESPAÑA



Fuente: EAFO

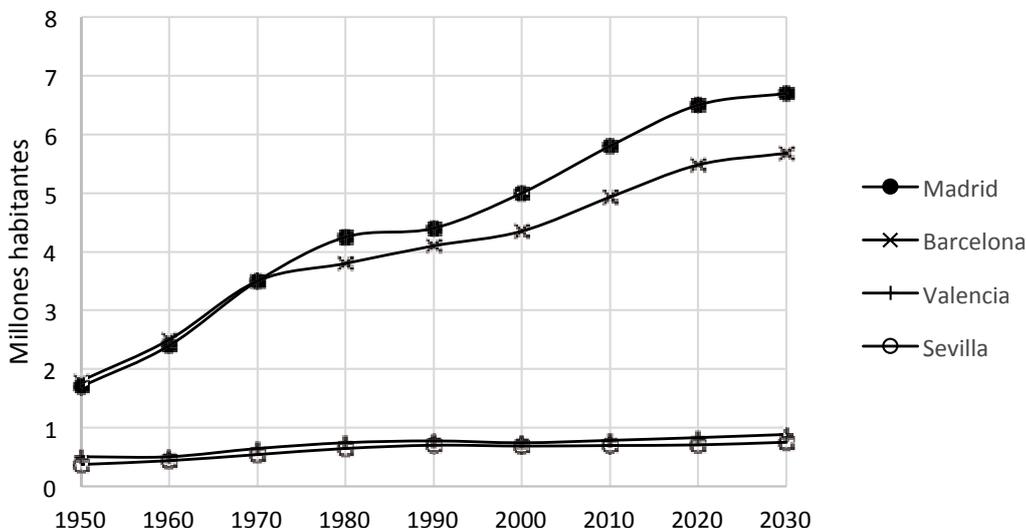
un crecimiento demográfico estable, que hará que el desarrollo de las ciudades progresivo y contenido, dando tiempo a establecer políticas de gestión de tráfico. Las grandes zonas urbanas como Tokio, Nueva York, Méjico, São Paulo seguirán siendo las mayores urbes a nivel mundial en los próximos años. En España se prevé que ciudades como Madrid y Barcelona sigan aumentando su población hasta 6.7 y 5.7 millones de habitantes respectivamente, mientras que el resto de las ciudades seguirán un pequeño crecimiento (ver Figura 7).

No obstante, el desarrollo urbano en las próximas décadas se centrará en países actualmente en vías de desarrollo, debido a un crecimiento elevado de la población y a un proceso progresivo de industrialización [WB, 2018]. Según estudios de largo plazo, en 2.100 las megaciudades se localizarán en su mayoría en África e India, tales como Lagos, Kinshasa o Mumbai, con más de 70 millones de personas (ver Tabla 3). Para garantizar un desarrollo sostenible urge una planificación de las infraestructuras, priorizando

el transporte público, así como medios compartidos, todos eléctricos.

La sociedad también está sufriendo una evolución en muchas dimensiones, que afecta directamente a la movilidad tanto en cantidad como en medios. Por un lado, gracias a las nuevas tecnologías de comunicación, se puede tener acceso al teletrabajo, que tiene un claro impacto sobre la frecuencia y duración de los viajes, el tráfico y por ende en la congestión y la contaminación (8). Estudios recientes indican que los viajes por trabajo se podrían reducir en un 10%. No obstante, la situación actual en España dista de ser así, menos de un tercio de las empresas ofrecen esta posibilidad. Además, es posible la aparición de un efecto rebote aumentando los desplazamientos en horas valle a los clientes o en el entorno cercano al trabajador. Por tanto, todo ello exige un estudio profundo de la gestión del trabajo en grandes ciudades [Verano, 2014]. Por otro lado, está aumentando la concienciación por el medioambiente de la sociedad en su conjunto, en especial por la calidad del

FIGURA 7
EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LAS CIUDADES ESPAÑOLAS EN 2030



Fuente: EuropaPress

TABLA 3
POBLACIÓN ESTIMADA DE LAS MEGACIUDADES

Posición	Ciudad	2010	Ciudad	2025	Ciudad	2050	Ciudad	2075	Ciudad	2100
1	Tokio	36.094	Tokio	36.400	Mumbai	42.404	Kinshasa	58.424	Lagos	88.345
2	Mexico	20.117	Mumbai	26.385	Delhi	36.157	Mumbai	57.862	Kinshasa	83.494
3	Mumbai	20.072	Delhi	22.498	Dhaka	35.193	Lagos	57.195	Dar Es Salaam	73.678
4	Beijing	19.610	Dhaka	22.015	Kinshasa	35.000	Delhi	49.338	Mumbai	67.240
5	Sao Paulo	19.582	Sao Paulo	21.428	Kolkata	33.042	Dhaka	46.219	Delhi	57.334

Fuente: [Hoorweg, 2014]. Datos en miles de habitantes.

aire en entornos urbanos, lo que mejora la predisposición al uso del transporte público, compartido o en vehículos sin emisiones.

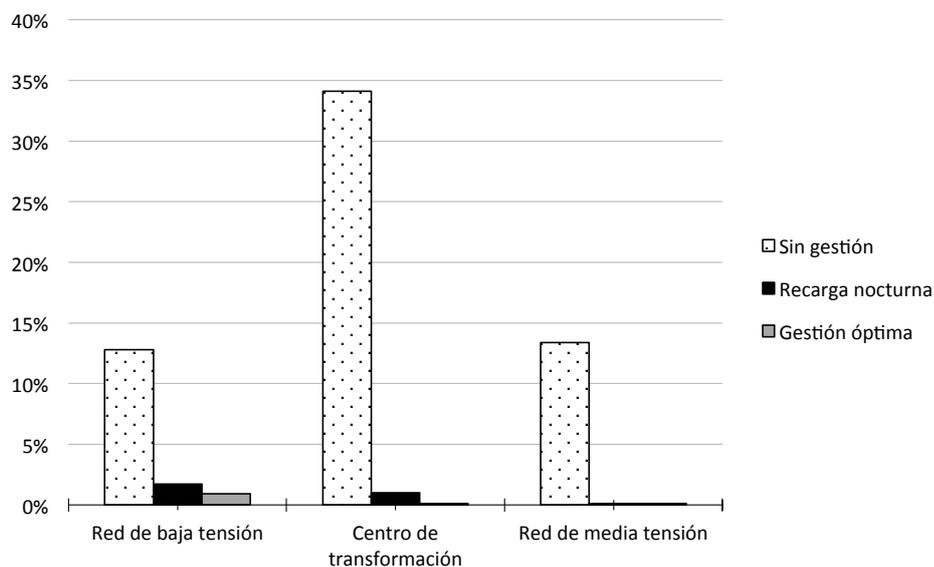
Todavía existen numerosos retos tecnológicos dentro del desarrollo de los vehículos eléctricos, tanto a nivel de componentes del vehículo como en la infraestructura de recarga. La evolución tecnológica de las baterías será un aspecto crítico, tanto en su potencia máxima de carga/descarga, en la energía que pueden almacenar (las distintas tecnologías deberán adaptarse a estos requisitos) y finalmente en el coste de adquisición de la misma. La potencia de carga permitirá una recarga más rápida y segura que la actual, que requerirá una potencia de más de 350kW (frente a valores actuales de 4 ó 50kW). Por otro lado, la energía de la batería irá en aumento hasta satisfacer una autonomía de hasta 1.000 km, y para ello será necesario disponer de una capacidad superior a 150kWh, que triplica la actual.

Respecto a la infraestructura de recarga, ésta quedará caracterizada por la demanda en potencia y energía de las baterías y por el sistema de conexión.

Actualmente es en la mayoría de los casos una conexión física de enchufe, que evolucionarán a sistemas más funcionales y seguros como el contacto con pantógrafo o las recargas inalámbricas.

Según estudios recientes la capacidad prevista de generación eléctrica permitirá integrar el crecimiento del consumo asociado a la carga de los vehículos eléctricos, de forma segura y con muy bajas emisiones de generación. No obstante su impacto en las redes de distribución eléctrica requiere una gestión inteligente de las recargas, dado que en caso contrario podría dar lugar a congestiones en la red de suministro que obliguen a reforzar dicha red (como se puede ver en la figura 8). Es importante considerar que en el proceso de recarga parte de la capacidad de la batería sería potencialmente gestionable, lo que supondrá disponer de un volumen de demanda flexible que podrá usarse como elemento de apoyo en la operación del sistema eléctrico y la red eléctrica. La gestión inteligente de parte de la recarga es fundamental para garantizar la eficiencia de las redes eléctricas y evitar inversiones ineficientes.

FIGURA 8
IMPACTO EN LOS COSTES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA ANTE UNA RECARGA INTELIGENTE, GESTIONABLE O RECARGA SIN CONTROL



Fuente: [Frías, 2011]

LA TRANSICIÓN

Del análisis presentado en los apartados anteriores se puede concluir que la electrificación del transporte es un elemento imprescindible para garantizar la sostenibilidad de las ciudades, en un amplio sentido.

La pregunta natural es ¿cuándo y cómo se llegará al desarrollo de la electrificación en el transporte privado?

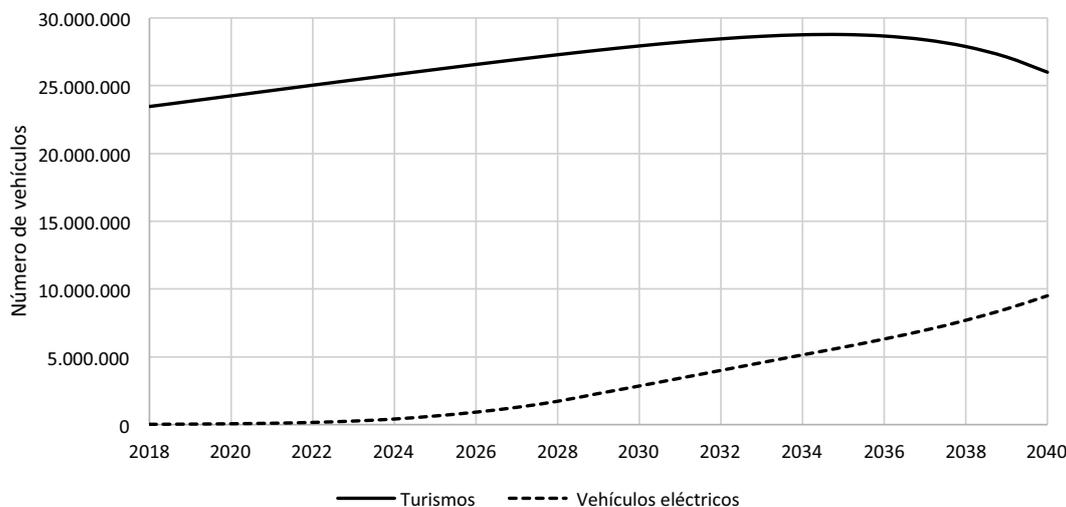
Los análisis llevados a cabo por organismos internacionales estiman que ante las políticas más favorables se podrá llegar en el mundo a cerca de 220 millones de vehículos eléctricos en 2030 [EV Outlook, 2018]. En los escenarios que se usan para España este número oscila entre 1 y 2,5 millones de vehículos para ese mismo año. [Expertos, 2018], que apenas supondrá cerca del 10% del parque automovilístico y se estima que se tardarán unos 20 años para una electrificación total del parque ante las políticas más favorables (9). Hay análisis más sofisticados que tienen en cuenta el efecto del uso compartido del transporte urbano y su efecto en la reducción del parque de automóviles, tal como se muestra en el Figura 9, que marcan tiempos similares.

Respecto a cómo se alcanzarán estas cifras se estima que, en el año 2030 en España un 15% de las ventas serán de coches eléctricos puros, 25% híbridos y 60% todavía vehículos de combustión [CEPSA, 2017]. Como competidor natural de los vehículos eléctricos, los vehículos de combustión van a seguir liderando las ventas en los próximos años, dado que las sucesivas mejoras tecnológicas o el cambio a combustibles como el gas, permitirán una reducción progresiva de las emisiones.

El elemento dinamizador fundamental para la transición será la regulación sobre movilidad. [EV Outlook, 2018], tanto internacional respecto a los límites cada vez más restrictivos de emisiones y medidas de independencia energética, como nacional en lo referente a incentivos al uso de vehículos no contaminantes o restricciones de circulación en las ciudades. Como se mencionó anteriormente es muy importante establecer una estrategia coordinada vertical y horizontal, entre autoridades locales y nacional y ministerios/consejerías. Esta coordinación es necesaria por su impacto en la economía del país.

En este sentido, es fundamental definir una fiscalidad efectiva a todo el parque automovilístico que integre el impacto medioambiental de los vehículos. Para ello hay que realizar un estudio detallado del impacto en todo el ciclo de vida del vehículo eléctrico, desde los componentes usados para su fabricación, el montaje, la circulación por las vías del país, y por último su achatarramiento. Para ello es preciso diseñar señales económicas claras para que «paguen quienes contaminen», y además incluirlas en aquellos conceptos donde el consumidor final pueda responder (por ejemplo centrar las señales en la compra del vehículo en lugar del consumo de combustibles), pero siempre teniendo en consideración a qué estamento afecta (recaudación local o estatal). En esta línea es importante incorporar las recomendaciones de las comisiones de expertos de reforma del sistema tributario en 2014 y de transición energética en 2018. En el proceso de diseño de esquemas de incentivos hacia la movilidad eléctrica no es sencillo, y debe identificar qué señales enviar a la compra de vehículos y a la infraestructura de re-

FIGURA 9
PROYECCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS EN ESPAÑA



Fuente: OVEMS

carga, dado que ambos elementos necesariamente exigen una coordinación.

Por otro lado es necesario realizar un cálculo sobre cómo la transición hacia una movilidad sostenible afecta a la balanza comercial como país. El impacto positivo del menor consumo de combustibles fósiles puede suponer un aumento de la importación de vehículos si éstos no se fabrican en España. Por ello, es necesario aprovechar la oportunidad no sólo de adaptar nuestra industria del automóvil, sino invertir en I+D+I para generar tecnología made-in-Spain con nuevas patentes, para que la transición aporte valor a la industria.

En conclusión, España necesita diseñar una estrategia coordinada de país para garantizar una transición hacia la movilidad sostenible eficaz y eficiente.

NOTAS

- [1] Tal como se recoge en el conocido documental «Who Killed the Electric Car?».
- [2] www.lavanguardia.com
- [3] Frente a lo más de 450 autobuses de gas natural comprimido que se prevén adquirir en Madrid entre 2019 y 2020 que, aunque cumplen con la normativa de emisiones Euro 6, distan mucho de los vehículos de cero emisiones eléctricos.
- [4] Países como Noruega donde no existe una industria automovilística, pueden tomar decisiones que afectan a ésta con una menor preocupación sobre su impacto.
- [5] Para entender las fuentes de información de matrículas de vehículos eléctricos, principalmente ANFAC en España y EAFO en Europa, es importante tener en cuenta las categorías de vehículos por tamaño: M1 turismos, N1/2 furgonetas o camiones

ligeros, M2/3 autobuses o autocares, L6e/L7e cuadríciclos; y las categorías de vehículos por combustible: gasolina, diésel, autogás (GLP), gas natural (GNC), híbrido (gasolina-electricidad) y eléctrico. El foco de este artículo es este último grupo, donde a su vez se establecen dos categorías de vehículos eléctricos: PHEV se refiere a híbridos enchufables (propulsados total o parcialmente mediante motores de combustión interna de gasolina/diésel y eléctricos, y donde el motor eléctrico deberá estar alimentado con baterías cargadas desde una fuente de energía externa), y BEV son eléctricos puros. En ocasiones se usa PEV de forma genérica para vehículos eléctricos que se pueden conectar a la red eléctrica.

- [6] Las estaciones de recarga se clasifican en: estándar para valores inferiores o iguales a 22 kW, estaciones de recarga de alta potencia para infraestructuras de más de 22 kW, dentro de las que se incluyen aquellas con conectores Tipo 2 AC, CHAdeMO, CCS y los Supercargadores de Tesla.
- [7] Bajo la hipótesis de 11500 gasolineras en España y 5 surtidores en cada una.
- [8] En Japón se ha promovido el teletrabajo para la reducción de la contaminación en las grandes ciudades como Tokio, Yokohama o Kioto.
- [9] En base a la tasa de reposición del parque de vehículos, que es actualmente de 1 millón de vehículos al año, teniendo en cuenta que el parque actual es de 25 millones de vehículos con una edad media de 12 años, se puede estimar que en el mejor de los escenarios se necesitarían 20 años en la electrificación completa del parque.

BIBLIOGRAFÍA

- [CEPSA, 2017] CEPSA, Energy Outlook 2030, 2017.
[Frías, 2011] P. Frías, C. Mateo, I.J. Pérez-Arriaga. Evalua-

ción del impacto de la integración del coche eléctrico en las redes de distribución de energía eléctrica. *Lychnos*. Cuadernos de la Fundación General CSIC. no. 6, pp. 56-61, Septiembre 2011

[Verano, 2014] D. Verano, H. Suárez, S. Sosa. El teletrabajo y la mejora de la movilidad en las ciudades. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, Volume 20, Issue 1, January–April 2014, Pages 41-46.

[WB, 2018] *Urban sustainability Framework*. Global Platform for Sustainable Cities (GPSC). 2018 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

[Hoorweg, 2014] Daniel Hoorweg & Kevin Pope, *Socioeconomic Pathways and Regional Distribution of the*

World's 101 Largest Cities, January 2014, Global Cities Institute Working Paper No. 04.

[Automobils, 1994] Hans-Otto Neubauer, *Die Chronik des Automobils*, Gütersloh/München, Chronik-Verl., 1994.

[OVEMS] Observatorio del Vehículo Eléctrico y Movilidad Sostenible de la Universidad Pontificia Comillas – IIT, evobservatory.iit.comillas.edu

[EV Outlook, 2018] *Global EV Outlook 2018, Towards cross-modal electrification*. International Energy Agency.

[Expertos, 2017] Comisión de Expertos de Transición Energética. Análisis y propuestas para la descarbonización, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid, 2018

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y TRANSPORTE. EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y LAS CONVENCIONALES

ELOY ÁLVAREZ PELEGRY

Real Academia de Ingeniería (1)

En este artículo se abordan los previsibles cambios que tendrán lugar en el transporte de pasajeros por carretera, en relación con la penetración de energías alternativas. Para ello y tras enmarcar la situación y las perspectivas del transporte en el contexto de las transiciones energéticas se pasará revista, brevemente, a las políticas en Europa, relacionadas con el transporte, y se enmarcarán las energías alternativas en los conceptos de movilidad sostenible.

Ya que se pretende examinar las energías alternativas en relación con las convencionales, entre las primeras se analizarán la electricidad (en los vehículos eléctricos, VE), el gas natural (GNC) y los gases licuados del petróleo (GLP). En cuanto a las segundas se encuentran la gasolina y el gasóleo. En este examen se consideran en primer lugar los aspectos medioambientales, claves para entender las tendencias en el transporte y los cambios que se esperan a futuro. Tras ello se aborda la penetración de los vehículos de energías alternativas (VEAs), en el horizonte a 2030, para concluir con unas reflexiones finales.

TRANSICIONES ENERGÉTICAS. TRANSPORTE Y EMISIONES ▼

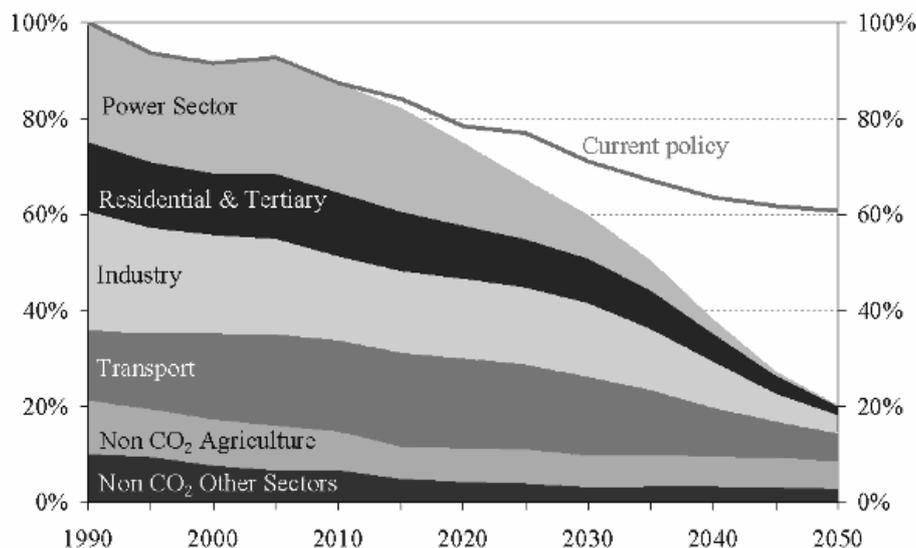
No existe una definición o interpretación única sobre lo que se entiende por transiciones energéticas. Escrito en plural ya indicaría que son varias en el sentido de que dependerán del país o de la región que se considere. En este sentido también hay que tener en cuenta la situación de partida y el pretendido objetivo final.

(Smil, 2010) emplea el término para describir el cambio en la composición o en la estructura del suministro de la energía primaria, o bien el cambio gradual de un modelo específico de aprovisionamiento energético hacia un nuevo estadio. Para (Nordensvard *et al.* 2015) las transiciones son cambios en las actividades económicas de un país en un horizonte a largo plazo sobre la base del paso de unas fuentes de energía a otras.

A lo largo de la historia se han producido varias transiciones energéticas. Los estudios de las mismas muestran que fueron diversos los factores o las causas que las han generado o que han influido sobre ellas; si bien no parecían tener una finalidad predefinida, ni unos plazos de consecución. Esta observación resulta relevante, ya que en la actualidad y en Europa, como posteriormente se verá, sí existe un sentido de finalidad, con metas y plazos.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que los objetivos, aun cuando cuenten con políticas y herramientas para su consecución, dependen de otros factores que afectan e influyen en los cambios, determinando

GRÁFICO 1
POSIBLE REDUCCIÓN DEL 80% DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN LA UE (100%=1990)



Fuente: (Comisión Europea, 2011).

la evolución de los procesos de cambio. En otras palabras y parafraseado a Luis Cernuda, en el título de su libro de poesía hay que considerar «la realidad y el deseo».

En el contexto europeo, las declaraciones de Jean-Claude Juncker y Arias Cañete reflejan la visión de una transición energética enmarcada en una economía y sociedad en las que necesariamente debe incluirse el transporte. Así para el primero «las ciudades europeas, y en primera línea, las empresas innovadoras, están en marcha hacia la eficiencia energética, y el desarrollo de energías renovables. La transición energética dibuja un mundo nuevo, un mundo bajo en carbono y rico en oportunidades».

Arias Cañete al referirse a las consecuencias de la Conferencia de las Partes (COP) de cumbre del clima de París, de finales de 2015, señalaba que «esta COP tiene un mensaje muy claro; todos los países tienen que realizar una transición hacia energías limpias, energías renovables, eficiencia energética y una buena gestión de la agricultura, política forestal, transporte y edificación».

En la hoja de ruta «Hacia una economía baja en carbono», se destacaba que se deberían reducir las emisiones de CO₂ en un 40% en el año 2030 y en un 80% en 2050 respecto a los niveles de 1990, como muestra el gráfico 1 (Comisión Europea, 2011).

Todos los sectores deben reducir emisiones, siendo el ritmo de reducción más acusado en la electricidad (*power sector*). En lo que al transporte se refiere, la Comisión considera que sus emisiones podrían reducirse en más de un 60% respecto a 1990. Destaca que las reducciones tendrían lugar, en mayor medida, a partir de mediados de la década de 2030, probablemente

porque se prevé un desacoplamiento de la actividad de transporte de pasajeros (que aumentará) con las emisiones (que se reducirán) a partir del año 2020.

Para la Comisión, a corto plazo, el esfuerzo se producirá en la mejora de la eficiencia de los motores de gasolina y gasóleo. A medio y largo plazo en los vehículos enchufables híbridos y eléctricos, centrándose los biocombustibles más en la aviación y en el transporte de mercancías por carretera, ya que según la Comisión no todos los vehículos pesados del futuro serán eléctricos.

No menos importante es el hecho de que el transporte es uno de los sectores difusos no sujetos al comercio de derechos de emisión (ETS, por sus siglas en inglés), al igual que la agricultura y los edificios, que deben reducir las emisiones a 2030 un 30% respecto a 2005 a nivel comunitario. Este objetivo, para España se traduce en un 26% para ese año.

En España, en 2016, de un total 324,7 millones de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂-eq) emitidas (2), el transporte supuso el 27%, con un incremento del 3,5% respecto al año anterior, debido al aumento de emisiones del transporte por carretera, representando estas el 25% del total (3).

La evolución de las emisiones del transporte, desde el año 1990, cuando ascendieron a 59,1 millones, ha ido incrementándose hasta un máximo de alrededor de 111 millones en 2007, para descender a 91,1 millones en el año 2010, y a 83,2 en 2015; repuntando en 2016 (Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2018)

El transporte y la agricultura, son los sectores difusos que muestran mayor resistencia a la reducción (González,

2018), pero al mismo tiempo su relevancia hace que el énfasis a 2030, lleve a que se monitoricen y a que posiblemente se especifiquen políticas e instrumentos para estos sectores.

También hay referencias al transporte en el paquete de invierno «Energía limpia para todos los ciudadanos». En este sentido debe mencionarse la revisión de la Directiva de renovables, sobre la que existía un acuerdo en «trilogos» en junio de 2018, estando prevista su aprobación formal en otoño de dicho año. La revisión contempla que las renovables en el transporte, representen en 2030, al menos el 14%. La contribución de los biocombustibles avanzados y el biogás, (4) debería ser de al menos el 0,2% en 2022, del 1% en 2025 y del 3,6% en 2030.

En el contexto español hay que tener en cuenta los trabajos en marcha de una ley de cambio climático y transición energética, prevista para 2018, y un plan integrado de energía y clima; del que se espera un borrador a finales de 2018, y un plan definitivo para finales del 2019.

Sin duda la transición energética es un camino a recorrer, hacia energías más limpias, con más renovables y mayor eficiencia energética, en el que las políticas de transporte y las ciudades tendrán un papel ineludible, y donde la innovación y la propia transición energética deben dibujar «un mundo nuevo».

EL TRANSPORTE EN EUROPA Y LAS POLÍTICAS RELACIONADAS ↓

«El transporte es el sector de mayor consumo de la Unión Europea (UE) y, a diferencia de los otros sectores, su consumo no ha disminuido en los últimos años (...). Se soporta casi exclusivamente en derivados del petróleo como fuente de energía, cuyo déficit exterior de la UE es cada vez mayor y, dentro de los distintos modos, el transporte por carretera es el de mayor consumo. El consumo de energía de los ciudadanos para la movilidad en sus propios medios personales representa más del 75% del consumo total del transporte por carretera y de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y es el de mayor impacto ambiental. Por ello, los compromisos de la UE respecto al cambio climático de la cumbre de París, y la preocupación sobre la seguridad de suministro de petróleo, determinan que la movilidad en carretera sea un foco de atención prioritario de la estrategia de sostenibilidad de la UE» (Álvarez Pelegry *et alii.*, 2017a).

La legislación europea en este campo es numerosa (5). Así desde el año 2007, un conjunto de Directivas y Reglamentos, regulan la homologación de vehículos a motor en cuanto a emisiones (Euro 5 y Euro 6), la promoción de vehículos de carretera limpios y energéticamente eficientes, las modalidades para alcanzar el objetivo de reducción de emisiones en vehículos nuevos y la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos (Directiva 2014/94/UE, también denominada DAFI).

Asimismo hay un conjunto de documentos europeos relevantes, tales como el Libro verde de la Comisión de 2007 «Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana»; la hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica en 2050, del año 2011; el plan de acción para una industria del automóvil competitiva y sostenible en Europa, de 2012; o las medidas que afectan al transporte del paquete de la Unión de la Energía (Comisión Europea, 2016a).

No menos importantes son las disposiciones relativas a la calidad del aire. La contaminación del aire ha sido un tema relevante para la legislación ambiental de la UE. Conviene recordar el quinto programa de Acción Medioambiental de 1992 que recomendaba el establecimiento de objetivos de calidad del aire a largo plazo para la protección del medioambiente y la protección de la salud humana. Esto impulsó, en 1996, la Directiva Marco de la Calidad del Aire (1996/62/CE), que puso en marcha un marco legal para el análisis y el conocimiento de las relaciones entre contaminantes atmosféricos y sus efectos.

Dicha directiva, ya derogada, dio pie a la adopción de otras cuatro «Directivas hijas» que hacen referencia a objetivos de calidad del aire así como a los sistemas de análisis y evaluación y a la obligación de información, entre otras cuestiones. Es también relevante la Directiva 2008/50/CE sobre la calidad del aire y una atmósfera más limpia en Europa, que también incluye valores límite de concentración en el aire de contaminantes o la posibilidad de descontar la contaminación aportada por fuentes naturales a la hora de evaluar el cumplimiento de los valores límite (6).

Conviene reseñar, por su importancia, la normativa referente a focos móviles y combustibles y, en particular, a los límites de emisión de escape de vehículos de pasajeros que para los estándares Euro 4 a Euro 6, pueden verse en la tabla 1.

La normativa comunitaria sobre calidad del aire es de aplicación en todos los Estados miembros. En España, además, las Comunidades autónomas y las administraciones locales han desarrollado planes de calidad del aire y cambio climático (7).

MOVILIDAD SOSTENIBLE Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS ↓

La movilidad sostenible desempeña un papel relevante en la mejora de la eficiencia y de la gestión de la demanda energética y, por ende, en el impacto ambiental de la energía.

Cuando se hace referencia a la mejora de la eficiencia, el objetivo es reducir el consumo de energía por unidad de desplazamiento, medido en pasajeros o toneladas por kilómetro. En este ámbito se incluyen aspectos relativos a la eficiencia mecánica, aerodinámica, propulsión y, por tanto, de la eficiencia de los motores. Hay que considerar asimismo otros factores que igualmente afectan a la eficiencia del transporte, como el nivel de ocupación de los vehículos, la in-

TABLA 1
EVOLUCIÓN DE LOS LÍMITES DE EMISIÓN EN EL ESCAPE DE VEHÍCULOS DE PASAJEROS, CATEGORÍA M

Estándar	Directiva/ Reglamento	Fecha de aplicación	Tipo de ignición	CO (g/km)	HC (g/km)	HCNM	NO _x (g/km)	HC+NO _x (g/km)	PM (mg/km)	P. ultrafinas No/km
Euro 4	90/69/EC 2003/76/EC	Nuevo tipo: Enero 2006 Nuevo vehículo: Enero 2006	PI (gasolina)	1,00	0,10	-	0,09	-	-	-
			CI (diésel)	0,50	-	-	0,25	0,30	25	-
Euro 5	Reglamento 715/2007	Nuevo tipo: septiembre 2009 Nuevo vehículo: Enero 2011	PI (gasolina)	1,00	0,10	0,068	0,06	-	4,5(*)	-
			CI (diésel)	0,50	-	-	0,18	0,23	4,5	4,5*E11
Euro 6	Reglamento 715/2007	Nuevo tipo: septiembre 2014 Nuevo vehículo: Septiembre 2015	PI (gasolina)	1,00	0,10	0,068	0,06	-	4,5	6,0*E11
			CI (diésel)	0,50	-	-	0,08	0,17	4,5	6,0*E11

Nota: la categoría M se refiere a vehículos de motor con al menos cuatro ruedas, diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros. PI se refiere al encendido por chispa y «CI» al encendido por compresión. «HC» son hidrocarburos y «HCNM» son hidrocarburos no metálicos. Las partículas ultrafinas tienen un diámetro menor de 100 nanómetros.

Fuente: (Álvarez Pelegry *et alii*, 2018).

tensidad del tráfico o la configuración de la red de carreteras.

En lo que se refiere a la gestión de la demanda energética el objetivo es mejorar la eficiencia, mediante una mayor utilización del transporte público o de una mayor ocupación de los vehículos privados. En estos puntos las tecnologías de la información y las comunicaciones son muy relevantes.

En tercer lugar se trata de gestionar el impacto social y medioambiental, reduciéndolo o mitigándolo. En este sentido, se debe tener en cuenta que se parte de una infraestructura de transporte, de un parque y de una demanda dadas y se busca disminuir los accidentes y las emisiones (GEI y contaminantes).

De alguna manera este enfoque coincide con el de la (Comisión Europea, 2016b) en su comunicación COM (2016) 501 final. Dicho documento fundamenta en tres ejes la estrategia para una movilidad con bajas emisiones: la optimización del sistema de transporte y la mejora de su eficacia; el incremento del uso de energías alternativas de bajas emisiones para el transporte, y el avance hacia los vehículos de emisión cero.

En el primer eje se señalan tres puntos: a) soluciones digitales a la movilidad, b) precios justos y eficientes en el transporte, y c) promoción de la multimodalidad. En el segundo eje se consideran: a) un marco eficaz para las energías alternativas de bajas emisiones, b) el desarrollo de infraestructuras para las energías alternativas de bajas emisiones, y c) la interoperabilidad y normalización de la movilidad eléctrica. Finalmente y en lo que se refiere al tercer eje se destacan: a) las

mejoras en los ensayos de vehículos para recuperar la confianza de los consumidores, b) una estrategia posterior a 2020 para turismos y furgonetas, y c) una estrategia posterior a 2020 para camiones, autobuses y autocares.

Este documento resalta también la necesidad de lograr un entorno propicio para la movilidad de bajas emisiones. Al respecto identifica la relevancia de la relación de los sistemas de transporte con la energía, la investigación, la innovación y la competitividad, así como con las tecnologías digitales, las capacidades, la necesidad de inversiones y de implementar acciones tanto en ciudades como en el transporte internacional.

Las tendencias que se apuntan desde diferentes instancias señalan a los vehículos autónomos conectados y compartidos y otros que afectarán al transporte en el futuro. Estas tendencias coinciden con las señaladas en otros estudios como que el coche del futuro será electrificado, autónomo, compartido, conectado y actualizado anualmente (EASCY por sus siglas en inglés) (PWC, 2018). De esta manera la movilidad del futuro será más fácil, flexible y a medida de los usuarios (8).

Como se ha señalado un elemento básico para las energías alternativas en el transporte es la Directiva 2014/94/UE o Directiva DAFI (9), que establece la implantación de las infraestructuras para los combustibles alternativos en el marco de la Red Transeuropea de Transporte (RTE-T). Las energías alternativas que contempla son la electricidad, el gas natural comprimido (GNC) y licuado (GNL), los GLP, el biogás, los biocombustibles y el hidrógeno.

La Directiva 2009/28/CE sobre las energías renovables obligaba a que, en 2020, un 10 % de la energía utilizada en el sector del transporte fuera renovable. Además, establecía que la limitación de un 5 % el volumen de biocombustibles y biolíquidos producidos a partir de cultivos alimenticios que puede contabilizarse en el porcentaje anterior. Con posterioridad, la Directiva 2015/1513/UE, estableció que la cuota de energía procedente de biocombustibles producidos a partir de cereales y otros cultivos con fines energéticos no rebasa el 7 % del consumo final de energía en transporte en 2020 en los Estados miembros (10).

Los biocombustibles cuentan con normativa propia (11) y la relativa a las fuentes renovables (electricidad renovable e hidrógeno renovable). Además, son los «que mejor se adecuan para utilizarlos en los motores de combustión interna alternativos actuales sin grandes modificaciones» (Wolff Elósegui, 2013); y no requieren infraestructuras específicas diferentes a las estaciones de servicio de combustibles convencionales.

En lo que al hidrógeno se refiere, se estima un desarrollo tecnológico y una penetración a más largo plazo (Álvarez Pelegry et. al., 2017b). Por lo anterior al examinar las energías alternativas en el transporte se tratarán básicamente, los vehículos eléctricos, el gas natural y los GLP, y entre los convencionales los que utilizan gasolinas y gasóleos.

Con todo, lo que resulta claro es que las energías alternativas serán un factor muy relevante en la contribución del transporte a la movilidad sostenible y a la transición energética, si bien con diferentes grados de penetración y de contribución en el futuro, según el tipo de energía.

ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES ¶

Tal como se ha señalado anteriormente, hay dos grandes factores en el entorno, social y regulatorio, que están promoviendo o induciendo cambios en los sistemas de transporte. Estos son las emisiones de GEI y de contaminantes. En ambos casos los objetivos son la reducción, en valores absolutos de los GEI (incluso con una mayor actividad de transporte, en términos de pasajeros-kilómetro o de toneladas-kilómetro), y la disminución de las emisiones contaminantes en términos específicos y en la concentración de contaminantes en el aire en los ámbitos local y regional.

Los GEI tienen impacto sobre el calentamiento global y, por su naturaleza, el enfoque es de carácter global. Los GEI más relevantes son el CO₂ y el metano (CH₄). Las emisiones contaminantes, con un impacto más local, son de varios tipos. En este documento se centrará la atención en los óxidos de nitrógeno (NO_x) y en las partículas (PM) (12).

En ambos casos (GEI y contaminantes) hay que considerar, en particular si se pretende comparar alternativas de energías o de vehículos; las emisiones del tanque a la rueda, es decir «*in situ*», y las que se producen

desde el momento que los combustibles o las energías entran o se producen en el sistema energético español (i.e. derivados del petróleo, gasolinas o los gasóleos o en generación eléctrica).

Un tercer elemento de comparación es ir aguas arriba. Es decir, en la producción de crudo o de gas ir al pozo de producción en los países exportadores, y en el caso de la electricidad, a las energías primarias que se utilizan en el mix de generación. Lo anterior lleva a distinguir, tanto en el caso de los GEI como del NO_x y de las partículas, entre emisiones del tanque a la rueda (TTW, por sus siglas en inglés), del sistema energético español a la rueda (STW(13)) y del pozo a la rueda (WTW).

Si se trata de evaluar las diferentes energías en los distintos tipos de vehículos, y estimar la penetración o el mantenimiento de algunas de ellas a futuro, se deberían considerar la emisiones ahora, y las que se pueden tener a futuro, por el cumplimiento de la normativa o la previsible evolución de las implantaciones de mejoras tecnológicas (por ejemplo por el cumplimiento del Euro 6 o por la disminución de emisiones de NO_x en el mix de generación).

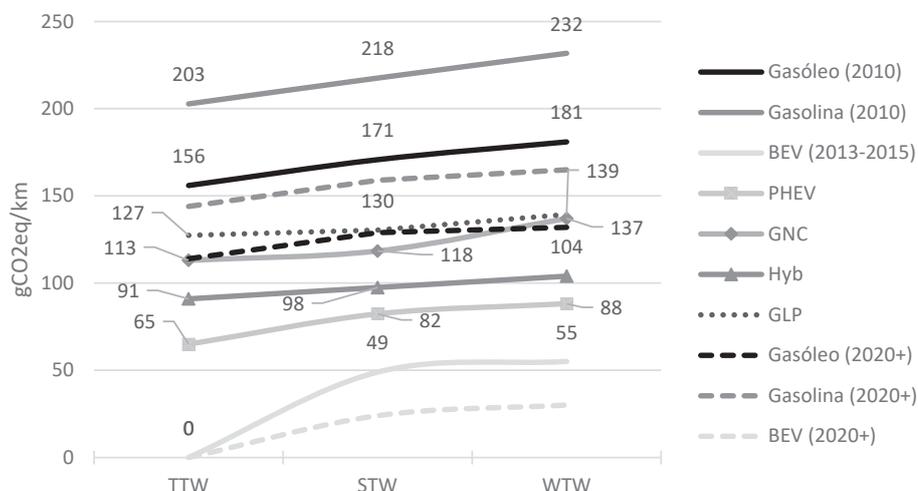
En los gráficos 2 y 3, se comparan los vehículos de gasolina, gasóleo (en 2010 y a partir de 2020), GLP, GNC, híbridos «convencionales» (es decir no enchufables o no recargables), eléctricos enchufables (PHEV) y los eléctricos puros (BEV).

El análisis básico de reducción de emisiones contaminantes requiere que previamente se haya examinado el grado de cumplimiento para los principales contaminantes en España en el año 2016 (Álvarez Pelegry et. alii, 2018). Un resumen de dicho análisis se refleja en la tabla 2, donde se distinguen los límites de la UE y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Dado que los incumplimientos de los niveles de concentración de los contaminantes que más afectan a la salud se localizan en varios casos en zonas urbanas con alta intensidad de tráfico, cobra sentido estudiar el impacto que puede tener la actuación sobre el transporte por carretera, en particular sobre los vehículos. En este sentido los autores del estudio citado analizan dos escenarios de renovación del parque automovilístico: el escenario «Euro 6» y el «BEV» cuyo resumen literal se recoge a continuación.

«El escenario «Euro 6» contempla la introducción de los estándares más exigentes de emisiones a raíz de la norma Euro 6 para emisiones de vehículos ligeros, requerida para los vehículos nuevos a partir 2015, bajo los criterios previstos de renovación del parque actual. El parque actual español, debido a su antigüedad, está compuesto mayoritariamente por vehículos en cumplimiento de la norma Euro 4; la sustitución de estos vehículos por otros nuevos conllevaría reducciones significativas de emisiones de NO₂ y PM_{2,5}. El parque actual se renovará por estos nuevos vehículos, incluyendo los de energías alternativas como el gas natural o el GLP, y vehículos eléctricos, en las condiciones

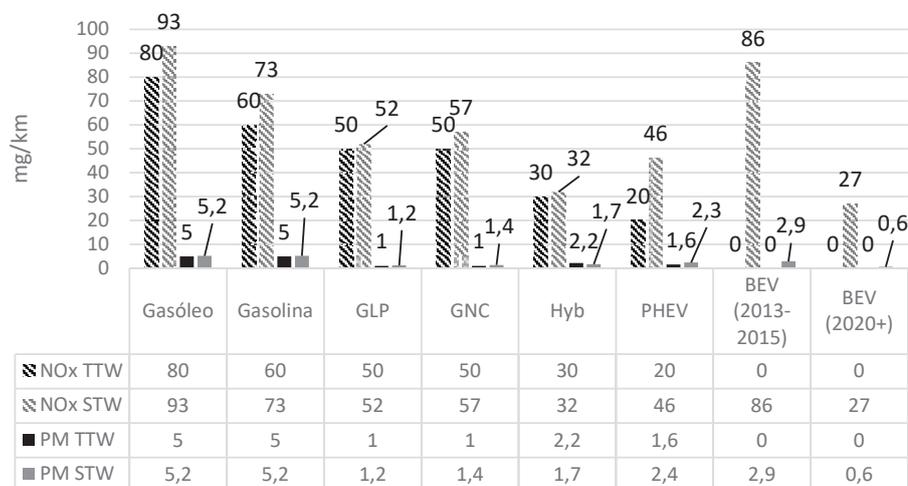
GRÁFICO 2
EMISIONES DE CO_{2EQ}, TTW, STW Y WTW POR TIPO DE VEHÍCULO



Nota: Para mejorar la visibilidad de los valores, las emisiones de gasóleo, gasolina y BEV 2020+ se indican aquí. Gasóleo (gCO_{2eq}/km): TTW 114, STW 129, WTW 132. Gasolina (gCO_{2eq}/km): TTW 144, STW 159, WTW 165. BEV (gCO_{2eq}/km): STW 24, WTW 30.

Fuente: (Álvarez Pelegry et. al., 2017b).

GRÁFICO 3
EMISIONES CONTAMINANTES POR TIPO DE VEHÍCULO (TTW Y STW)



Nota: Las emisiones de partículas debidas al consumo eléctrico son PM₁₀. Los números de TTW reflejan las emisiones de relevancia a nivel local/zonal

Fuente: (Álvarez Pelegry et. al., 2017b).

previstas de acuerdo con las tendencias actuales. Manteniendo constante las emisiones de los restantes sectores, la renovación reduciría los niveles de concentración actuales de NO₂ en las ciudades de Madrid y Barcelona a niveles por debajo de los límites vigentes de la UE, aunque, de acuerdo con los resultados de este estudio, con efectos más limitados en las estaciones de mayor intensidad de tráfico

El escenario «BEV» atiende a la renovación del parque actual exclusivamente con el vehículo eléctrico, en concreto vehículo eléctrico de batería (BEV). Al igual que en el escenario anterior, se considera un parque mayoritariamente Euro 4 sustituido por este tipo de vehículos, sin otra reducción adicional. En esta situación se podrían alcanzar, in situ (14), la mayor reducción de las emisiones de tráfico, e igualmente el cumplimiento de los parámetros de

TABLA 2
GRADO DE CUMPLIMIENTO PARA LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN ESPAÑA EN EL AÑO 2016

	Límites UE	Guía OMS
NO₂	Límite horario: 200 µg/m ³ . Máximo 18 superaciones al año.	Límite horario: 200 µ/m ³ .
	Límite anual: 40 µg/m ³ .	Límite anual: 40 µg/m ³ .
	Cumplimiento general, pero con excepciones en:	Mismos límites, y por tanto misma situación general y excepciones, entre límites UE y guía OMS.
	- Ciudades de Madrid y Barcelona y sus áreas metropolitanas.	
	- L'Horta (Comunidad Valenciana).	
	- Granada.	
	- Islas de La Palma, La Gomera y El Hierro en Canarias.	
PM₁₀	Límite diario: 50 µg/m ³ . Máximo 35 superaciones al año.	Límite diario: 50 µg/m ³ .
	Límite anual: 40 µg/m ³ .	Límite anual: 20 µg/m ³ .
		En general valores inferiores a la guía de la OMS, pero excepciones en:
	Cumplimiento general, pero excepciones en:	- Área central de Asturias.
	- Área central de Asturias.	- Canarias.
	- Plana de Vic (Cataluña).	- Andalucía.
	- Villanueva del Arzobispo (Andalucía).	- Bahía de Santander.
		- Ceuta.
	- Arteixo (Galicia).	
	- Murcia.	
	- Partes de Cataluña, Comunidad de Madrid, Castilla – La Mancha, Comunidad Valenciana.	
PM_{2,5}	Límite anual: 25 µg/m ³ .	Límite diario: 15 µg/m ³ .
		Límite anual: 10 µg/m ³ .
	Cumplimiento general.	En general valores inferiores a la guía de la OMS, pero excepciones en:
		- Asturias occidental y central.
		- Norte e interior de Aragón.
		- Interior de Cataluña.
		- Madrid.
		- Torrelavega.
	- Cartagena.	
	- Partes de Galicia, Comunidad Valenciana, Castilla - La Mancha y Andalucía, CAPV y Gran Canaria.	
O₃	Máximo diario de las medias móviles de ocho horas: 120 µg/m ³ . 25 días por año promediados en un periodo de 3 años.	Máximo diario de las medias móviles de ocho horas: 100 µg/m ³ .
		Lugares concretos con valores inferiores a la guía de la OMS en:
	Cumplimiento general, pero excepciones en:	- Norte de Galicia.
	- Comunidad de Madrid.	- Asturias central.
	- Castilla – La Mancha.	- Cantabria.
	- Sur de la CAPV.	- Norte de la CAPV.
	- Partes de Canarias, Aragón, Navarra y Valencia.	

Fuente: (Álvarez Pelegry *et alii*, 2018).

calidad del aire para el NO₂ en todas la zonas que actualmente las superan».

SOBRE LA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS (VEA) ↓

Ya se ha visto que en el entorno y en la regulación la disminución de emisiones es un factor inductor de

cambio de primer orden. Ahora bien, las energías alternativas: electricidad, gas natural, GLP y otras no tienen, en general, un camino fácil para una penetración rápida y «masiva».

Los obstáculos para su despliegue «masivo» obedecen a razones de diferente índole: económicas, de necesidad de despliegue de infraestructura de recar-

TABLA 3
ESTIMACIÓN, SEGÚN DIVERSAS FUENTES, DEL PARQUE MUNDIAL Y VENTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
2017-2030 EN MILLONES

Fuente		2017	2020	2025	2030	Referencia
IEA Escenario NPS	Parque	3,1	13	-	125	IEA (2018)
	Ventas	1,1	4	-	21,5	
IEA Escenario EV30@30	Parque	3,1	25	-	220	
	Ventas	-	-	-	30	
IRENA	Parque	-	5	30	160	IRENA (2016)
	Ventas	-	3	10	40	
BCG	Parque	4,5	-	-	-	BCG (2018)
	Ventas	1,8	2	8,4	21,8	
UBS	Parque	-	-	-	-	UBS(2018)
	Ventas	-	3,1	14,2	-	
BNEF	Parque	-	-	-	-	BNEF (2018)
	Ventas	1,1	-	11	30	
Glencore	Parque	-	-	-	-	Glencore (2018)
	Ventas	-	-	10	30	
McKinsey	Parque	-	9	-	138	McKinsey (Engel et. al. 2018a)
	Ventas	-	-	-	-	
CEPSA	Parque	-	-	-	80	CEPSA (2017)
	Ventas	-	2,8	-	16	
BP	Parque	-	-	-	100 (en 2035)	BP (2017)
	Ventas	-	-	-	-	

Fuente: Elaboración propia

ga, o de conveniencia y aceptación por los consumidores. Por otra parte, suele olvidarse que las energías denominadas convencionales, es decir, gasolina y gasóleo debido a los requerimientos de la normativa y a la innovación han mejorado en rendimiento y han disminuido las emisiones, sobre lo que se aportarán datos más adelante.

Existen notables expectativas respecto a la penetración de los VEA y en particular de los eléctricos (VE), por lo que una forma de abordar el asunto es revisar diferentes estimaciones o análisis respecto al grado de penetración de los vehículos eléctricos en un horizonte temporal razonable, por ejemplo 2030, que es lo que se realiza a continuación.

Sobre la demanda de los vehículos eléctricos ↓

Para realizar las estimaciones/proyecciones del número total de VE en la bibliografía revisada, en primer lugar, se identifican algunos factores que afectan al nivel de la electrificación en el transporte. El primer factor es el número de vehículos en el mundo en diferentes horizontes temporales, lo que depende de la demanda de pasajeros-kilómetro y de toneladas-kilómetro de mercancías. A su vez estos parámetros dependerán entre otros del crecimiento económico así como del número total de vehículos existentes (i.e. ligeros, pesados, dos ruedas, etc.).

Entre los factores que afectan y afectarán a la demanda de VE se pueden citar tres, a saber: las políticas de los Gobiernos sobre movilidad y para la incentivación de los VEA; las innovaciones tecnológicas en baterías y la economía de la industria, entendiendo como tal, tanto los costes, como los precios de las baterías y de los automóviles (eléctricos vs. convencionales), desde el lado del consumidor (cuyos precios incluyen impuestos) y de los fabricantes de automóviles. En la tabla 3, se recogen los datos de diferentes publicaciones y autores.

Del examen de la tabla anterior puede concluirse que todas las proyecciones suponen un crecimiento progresivo, con notables o fuertes gradientes en ventas a 2030. Las ventas mundiales se sitúan entre los dos y los cinco millones de vehículos en 2020. Es decir, se observa una gran variabilidad en las estimaciones.

También se observa que cuando se facilitan datos a 2030, en general, se multiplica por diez o más el parque de VE respecto a 2020. Las cifras del parque total en el año 2030, podrían estar entre los 80 y los 220 millones de unidades (15).

En 2014, había 1.200 millones de vehículos (16). Para (CEPSA, 2017), en el año 2030 habrá 1.600 millones de vehículos y en ese año la flota de eléctricos, incluyendo eléctricos puros e híbridos enchufables, sería del 5% de la flota, con unas ventas, en ese año, de

ese tipo de vehículos del 15% de un total de 106 millones.

Para (BP, 2017) en el año 2035 habría unos 100 millones de VE, que representaría el 6% de la flota total de vehículos (1.666 millones), de los cuales un tercio serían PHEV, y el resto BEV.

Estas cifras son muy relevantes, y ponen de relieve un «consenso» de fuertes crecimientos en las ventas de VE. Teniendo en cuenta lo anterior, conviene realizar algunas consideraciones sobre las estimaciones a futuro. Pueden señalarse varios temas fundamentales: las políticas gubernamentales, las innovaciones tecnológicas, la economía de la industria, la aceptación o conveniencia para el consumidor y el despliegue de infraestructuras de recarga.

Así, la necesidad de políticas sistemáticas y continuadas es obvia, existiendo en las tres regiones relevantes, pioneras en la penetración «eléctrica» (China, Europa y EE.UU. donde la penetración en el horizonte de 2030 podría ser entre el 10 y el 30%). Hay que distinguir las políticas de ámbito local, las regionales y las nacionales; así como las que son de incentivos o penalizaciones de las estrictamente normativas (IEA, 2018).

En este sentido, hay que resaltar el papel de las ciudades como «punta de lanza» en el despliegue del VE. Para (Hall et. alii, 2017) el 40% de los VE se encuentran en veinte ciudades del mundo, de las cuales siete son chinas, cuatro de los Países Bajos, cuatro de los EEUU, dos de Noruega, así como Tokio, París y Londres.

En el ámbito de las innovaciones tecnológicas no serán menores las modificaciones de las baterías sobre la batería de ion-litio, u otras que pueden facilitar la disponibilidad a precios más asequibles de los VE.

En que se refiere a la economía de la industria, quizás el primer reto sea facilitar los beneficios a los fabricantes de vehículos (OEM). El caso del Chevy Bolt es claro al reflejar que, en este momento, no resulta rentable (UBS, 2017). Por ello resulta clave en qué momento del futuro resultará competitiva la fabricación de VE frente a los convencionales de gasolina y gasóleo, tanto en términos de precio de compra como del TCO (*total cost of ownership*) (17).

En cualquier caso, hay que destacar que, en los próximos tres años, los OEM pondrán en el mercado del orden de 340 modelos de VE (BEV y PHEV), lo que pone de relieve la tendencia a ampliar la disponibilidad y la gama de VE respecto a los existentes en la actualidad (Hertzke et. al., 2018).

Como ya se ha señalado, un elemento decisivo, tanto para la penetración efectiva como para determinar el ritmo de penetración de los VE es el despliegue de infraestructuras de recarga (EURELECTRIC, 2018), y relacionado con ello, la estandarización, la normativa y los modelos de negocio.

De acuerdo con EURELECTRIC, en 2030 se acelerará el despliegue de infraestructuras de recarga y las ventas

de VE se situarán en porcentajes del orden del 12% y hasta del 30% en el escenario más ambicioso. En el escenario de electrificación menos ambicioso, en el año 2050 habría 88 millones de VE que representarían el 65% de la flota y 80 millones de puntos de recarga (18). Además, con anterioridad, en 2025, se lograría la igualdad del TCO de los VE y de los convencionales.

Por su parte, tanto (IEA 2018), como (UBS, 2018) y (Engel et. al, 2018a) ponen de relieve la ineludible necesidad de desplegar a nivel mundial millones de puntos de recarga, las cuantiosas inversiones necesarias y las estrategias diversas sobre puntos y tipos de carga.

Finalmente y no menos importante, es la respuesta o el comportamiento del consumidor en sus decisiones de compra (i.e. las expectativas en el lanzamiento en la India del coche Tata, que no satisfizo las expectativas de ventas [BNEF, 2018]). Para (Engel et al., 2018b) la disponibilidad de puntos de recarga es la tercera barrera, en orden de importancia que ven los consumidores a la hora de comprar un nuevo vehículo; siendo la primera el precio y la segunda la autonomía de los VE.

De este análisis se pueden extraer algunas conclusiones relevantes para España. El impulso de países como China, EEUU y Europa, llevará a que desde el lado de la oferta, en el horizonte de mediados de la próxima década, exista una disponibilidad de modelos con costes de adquisición que para ciertos segmentos de consumo serán atractivos. A ello no serán ajenas las economías de escala en la fabricación de baterías, si bien estas podrían en parte estar mitigadas o frenadas por el posible incremento de los precios de minerales y metales (19).

Así, en el informe de la Comisión de Expertos sobre la Transición Energética en España de 2018, se señalaba que el número de VE en España en 2030 estaría entre un millón y los 2,4 millones, según las estimaciones. Para (CEPSA, 2017) habrá un millón de VE, lo que supondrá una cuota del 4% del parque (20).

Para (KPMG, 2018), en 2030 en España podría haber un parque de unos 21 millones de vehículos, con una estructura en la que los eléctricos puros supondrían un 2% (lo que supondría del orden de medio millón de VE); los híbridos enchufables el 5%, los híbridos un 20%, los de GLP un 4% y los de GNC un 1%. Los convencionales serían el resto, con un 27% de diésel con las características actuales, un 19% de diésel con las nuevas normativas euro, un 13% sería de gasolina con las características actuales y un 9% de gasolina con las nuevas normativas euro.

Así, en la transición energética no solo los VE estarán presentes. Desde el punto de vista de las energías alternativas: el gas natural y los GLP, ampliarán su presencia y competirán por cuotas de mercado crecientes. Al mismo tiempo, y en el horizonte a 2030 los vehículos de gasolina y gasóleo seguirán teniendo una fuerte presencia en el mercado. Las mejoras en eficiencia energética y en nivel de emisiones (21), así como el atractivo y la competencia en precios de adquisición

y en el TCO, llevará a que el futuro parque de automóviles vaya cambiando su composición a lo largo de los años, y para ello hay que contar también con la vida media de los vehículos que, por ejemplo en España, en los últimos años se situaba, como promedio en unos doce años (ANFAC, 2017)

SOBRE OTROS VEA (GNC, GLP) Y CONVENCIONALES (GASOLINA Y GASÓLEO) (22) ↓

Vea: gnc y glp ↓

Este trabajo tiene como alcance básico el transporte de pasajeros por carretera, por lo que aquí se hace referencia al GNC. No obstante el GNL también resulta relevante, en particular en el transporte marítimo (Álvarez Pelegrý et. al. 2017 a) (23).

El gas natural se utiliza en motores de combustión interna con ciclo Otto de gasolina, con ignición por chispa, o encendido provocado, y en los diésel con ignición por compresión. Los vehículos a gas natural pueden ser monofuel (o monovalentes), bifuel que tienen dos depósitos diferentes para el gas natural y para el combustible convencional y dual fuel que permiten utilizar gas natural en motores diésel, sustituyendo parte del combustible diésel por gas natural (24).

Existe ya, una relativamente amplia, gama de estos vehículos así como transformaciones de vehículos convencionales. Las autonomías son menores que en los vehículos convencionales o de GLP, si bien los tipo bifuel dan una mayor autonomía al funcionar con combustibles convencionales. Las infraestructuras de recarga parecen ser el punto débil para una penetración más amplia del GNC en el transporte de pasajeros privado; ya que los primeros segmentos de actuación han sido las flotas de taxis o de autobuses (25). Las estaciones de carga pública en España a finales de 2017, eran 55, de las cuales 49 suministraban GNC y 26 GNL. Se prevé la próxima apertura de 13 estaciones de GNC, 20 de GNC-GNL y una de GNL. (Domínguez et al., 2017) (26). El precio y el nivel impositivo resultan ser una ventaja para la penetración de este combustible en la automoción (27).

En Europa el país más destacado en uso de gas natural en vehículos de pasajeros es Italia, siguiéndole a cierta distancia Alemania.

En Italia, se cuenta con una experiencia de más de treinta años, a raíz de su estrategia para promover el consumo de un combustible de producción doméstica y una industria de talleres especializados para la conversión de vehículos, conversión que hasta 2010, contaba con incentivos. Con cerca de 900.000 vehículos a gas natural, la demanda de gas para el transporte supone el 3% del total del consumo de gas del país y ha mantenido una tasa de crecimiento anual del 9%.

Alemania es también de interés, con crecimientos en los últimos años alrededor del 2-3%. Su estrategia se enmarca en la reducción de la dependencia del

petróleo, pero no ha contado con incentivos a la compra de vehículos y las ventas parecen ser bastante elásticas en función de los precios tanto del gas natural como de los combustibles convencionales (Álvarez Pelegrý et al., 2017a).

En España, a finales de 2017, la flota de vehículos a gas natural era de 8.471 de los que autobuses y camiones (GNC y GNL) suponían el 70%. Los taxis y ligeros ascendían a 2.419 y el resto eran furgonetas y carretillas. Las matriculaciones en ese año fueron de 2.332 unidades, con un fuerte incremento desde el año 2010, en el que solo se matricularon 97 unidades.

No abundan las estimaciones de penetración de vehículos a gas natural. Con todo se pueden citar las de Gasnam (28) y las recogidas, para el caso del País Vasco en (Álvarez Pelegrý et al., 2017b).

Para estos últimos, en el horizonte a 2030, en el escenario inferior, las ventas crecerían a tasas del 8% anual y en el superior entre el 20 y el 30%. Hay que tener en cuenta que aquí se consideran únicamente los vehículos solo de gas natural, estando el uso del gas natural en los bifuel o dual fuel considerado en los vehículos convencionales.

Por su parte, en (GASNAM, 2014) se plantean tres escenarios (optimista, base y pesimista). Para el año 2030 y para vehículos ligeros las cifras estimadas, en 2014, eran de 627.063, 348.100, y 127.383. En dicho documento, también se señalaban barreras para el desarrollo, como la incertidumbre en la regulación, la falta de infraestructuras de repostaje, la limitada oferta de vehículos, la falta de información y el mayor coste inicial del vehículo.

El GLP, también denominado autogas, consta de una mezcla de propano y butano por lo que está estrechamente relacionado con la producción de petróleo y de gas natural.

Los méritos de esta energía son su elevado nivel de autonomía y el importante número de puntos de recarga. No menos relevante es el precio del combustible y la estabilidad del mismo, lo que unido a precios de vehículos en línea con los convencionales, presenta atractivos comerciales.

Su uso ha estado limitado, en parte, a las transformaciones de vehículos convencionales en talleres autorizados, si bien presentan problemas de garantías por los fabricantes originales. Los fabricantes de automóviles disponen en la actualidad, de una cierta gama de vehículos, que se va ampliando, y que a la salida de fábrica ya están diseñados y fabricados para el consumo de GLP. El número de vehículos a finales del año 2015 era de 50.000 con 553 estaciones de recarga (29). A finales de agosto de 2018, el acumulado del año en matriculaciones fue de casi 13.000 vehículos, siendo en su mayoría vehículos privados, seguidos de vehículos de alquiler y taxis. El porcentaje matriculaciones de vehículos de GLP respecto al total es del 1%, porcentaje superior a los de GNC y eléctricos.

Al igual que en el gas natural, los operadores en este tipo de combustible desde hace algunos años llevan a cabo campañas de marketing para dar a conocer y posicionar el producto, en este caso mediante los atributos de precio, autonomía y ventajas medioambientales, junto con promociones e incentivos a la compra de vehículos de GLP (30).

En cuanto al papel de los VEA en el futuro, un caso de interés es el análisis realizado para el País Vasco de su penetración en el transporte de pasajeros, donde se observa a 2030-2035 un «cruce» entre la penetración de VEA junto con los híbridos (ya que estos tienen un peso significativo) y los convencionales cuyas ventas van disminuyendo progresivamente.

Vehículos convencionales ↓

La progresiva implantación de los límites de emisión para CO, HC +NO_x, NO_x y PM, han supuesto reducciones, para los vehículos diésel ligeros del 99% en los dos primeros, desde el año 1970. Del 84% desde el año 2000 para el NO_x y del 96% para las partículas, desde mediados del primer lustro de la década de los noventa. Las técnicas, han ido dando respuesta a límites cada vez más estrictos, como la recirculación de los gases de escape, los catalizadores de tres vías y de oxidación, el selectivo de reducción, el almacenamiento de NO_x y los filtros de partículas (Payri González, 2018).

Además existen tecnologías prometedoras que en lo referente a nuevos modos de combustión como la ignición por compresión de mezcla homogénea (HCCI por sus siglas en inglés) (31), pueden llevar a lograr reducciones del 15-30% en el consumo de combustibles emitiendo menos óxidos de nitrógeno.

Estas técnicas no están exentas de dificultades, pero su eventual desarrollo comercial podría llevar a cambios en las especificaciones de combustible en el futuro o en las pautas de consumo. Estas mejoras supondrán un mayor coste, lo que posiblemente acerque las emisiones y los TCO para el usuario a algunos de los VEA.

La gran ventaja de los vehículos convencionales sobre los VE radica en la conveniencia, tanto por su autonomía, no en vano, los combustibles (gasolina y gasóleo) tienen una densidad específica energética (32) elevada, como por el número y la capilaridad de las estaciones de suministro (11.188 en 2016 (33)), así como por el precio que tienen, y previsiblemente, tendrán hasta mediados de la próxima década. Respecto al GNG y el GLP, ya se ha señalado que la situación es diferente al igual que se ha indicado que se trata de vehículos similares (34).

REFLEXIONES FINALES SOBRE EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y LAS CONVENCIONALES ↓

Resulta evidente, tras el repaso realizado en este trabajo, que las condiciones del entorno medioambiental, social y regulatorio/normativo lleva a la necesidad

de cambios en el sistema de transporte para lograr que este sea más sostenible.

En el contexto de lo que se entiende por sostenibilidad; la incorporación de mayores eficiencias en los vehículos y la disminución de emisiones son tendencias ineludibles, si bien es necesario abordar estos cambios en un amplio marco del transporte como sistema con una visión holística.

Las emisiones, de GEI (CO₂ y otros) y de contaminantes (i.e. NO_x y partículas) son de naturaleza diferente. Fundamentalmente las implicaciones de las primeras son de alcance global y las segundas locales, zonales o regionales. Esto ya determina que las soluciones, también deben tener adecuaciones a la naturaleza de los problemas. En este sentido la solución a la contaminación local o zonal, por ejemplo, podría abordarse desde la movilidad, compaginando las situaciones relativas a los sistemas de transporte junto con la penetración de los VEA.

En los VEA, se incluyen, energías potencialmente rompedoras, como la electricidad en las baterías de los VE (35), y otras que son hidrocarburos como el GLP o el gas natural. Estos combustibles se utilizan en vehículos que tiene una considerable similitud con los convencionales de gasolinas y gasóleos, (36) pero sus puntos de suministro son muy inferiores en número y presentan igualmente autonomías inferiores en el caso del gas natural como combustible único. Los precios son también fundamentales a la hora de tomar las decisiones de compra.

Las ventajas e inconvenientes de los vehículos convencionales y los VEA no son «unívocas» ya que por ejemplo, los que tienen menores emisiones de GEI, las tienen superiores en NO_x.

Por otra parte la normativa y la innovación tecnológica muestran que tecnologías que presentaban notables inconvenientes en el pasado, a futuro presentarán soluciones aceptables (i.e. euro 6 para pasajeros a partir de 2020).

El VE, con un mix de generación eléctrica bajo en emisiones GEI y de contaminantes, es decir en las emisiones del STW o del WTW tiene medioambientalmente ventajas evidentes. La gran cuestión está en el modo y gradiente de penetración y, en particular, si a mediados de la próxima década la evolución tecnológica, los precios de los vehículos y el desarrollo de infraestructuras de recarga, supondrá, más que una evolución, una revolución en los medios de transporte de pasajeros. (37) En este sentido las estimaciones o previsiones en el horizonte 2030, reflejan sustanciales diferencias, a las que no son ajenas las incertidumbres y las diferentes hipótesis que se han recogido en este artículo.

Las estimaciones a nivel global y otras como las realizadas para el País Vasco (Alvarez Pelegry *et al.*, 2017b); ponen de manifiesto que hacia mediados de la década de 2030, las ventas crecientes de VEA e híbridos, igualarían las ventas decrecientes de los convenciona-

les (gasolina y gasóleo) y los parques automovilísticos seguirían manteniendo una proporción de vehículos convencionales, con cuotas crecientes tanto de los de GLP y GNC, como de los híbridos. Asimismo no se debe olvidar el peso creciente, de los biocombustibles.

Las combinaciones de distintos tipos de VEA y de vehículos convencionales más eficientes facilitarán beneficios ambientales, lo que implica que hay espacio para la convivencia de distintas tecnologías.

Lo que resulta claro, es que habrá mayores posibilidades de elección, y previsiblemente mayor competencia, con mayores esfuerzos de marketing, tanto por los agentes tradicionales como por los «nuevos» entrantes, que irán en beneficio de las personas; tanto en su rol de consumidores/compradores/usuarios, como de ciudadanos, que tendrán un aire más limpio y con menos emisiones de GEI.

NOTAS

- [1] El autor agradece a Macarena Larrea la revisión y comentarios al último borrador de este trabajo, así como los comentarios de Manuel Bravo.
- [2] De estas 244,1 millones de toneladas se relacionan con la energía.
- [3] El transporte aéreo supuso el 1% del total; la navegación doméstica el 0,6% y el ferrocarril el 0,1%.
- [4] No se trata aquí el tema del biogás. Su relevancia en algunos países europeos i.e. Suecia y Alemania como complementario al gas natural puede verse en (Álvarez Pelegrý *et al.* 2017 b), (Fernández, *et al.*, 2017) y en (IRENA, 2018).
- [5] Para más detalle ver (Álvarez Pelegrý *et al.* 2017b).
- [6] Los estándares de calidad de la legislación europea no recogen exactamente los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- [7] Véase (Álvarez Pelegrý, *et. alii.*, 2018).
- [8] Puede verse también (BCG, 2015).
- [9] Se traspuso a la legislación española mediante Real Decreto 639/2016 en el Marco de Acción Nacional (MAN).
- [10] Los objetivos orientativos a 2030 apuntan a una disminución del porcentaje de biocombustibles procedentes de cultivos y a un incremento de energía renovable avanzada, de tal manera que dicho año, los porcentajes fuesen del 1,5 % y del 6,8% respectivamente (KPMG, 2018). Hasta el 14% del objetivo de renovables en el transporte se entiende que se cubriría con electricidad de origen renovable que se estima emplearán los vehículos eléctricos.
- [11] Para más información ver (Álvarez Pelegrý *et al.*, 2017b) y (Bravo, 2015).
- [12] Para más información ver (Álvarez Pelegrý *et. alii.*, 2018).
- [13] Para más información ver (Álvarez Pelegrý *et. al.*, 2017b).
- [14] Estas estimaciones deberían hacerse comparando las emisiones del sistema energético, lo que incluye la generación de electricidad y el suministro de gas y de productos petrolíferos (STW), ya que si bien no habría emisiones in situ, estas tendrían lugar en otros lugares de España.

- [15] En cualquier caso, no se debe perder de vista que el crecimiento será muy diferente según regiones o países (BCG, 2018).
- [16] En España, en 2017, se matricularon 3.920 BEV, 3.342 PHEV, 186 eléctricos de autonomía extendida (E-REV) y 55.420 híbridos no enchufables de gasolina y 132 híbridos no enchufables diésel. El resto han sido convencionales de gasolina (574.926) y diésel (597.000). Por tanto, el porcentaje de ventas de eléctricos no llega al 1% (0,6%) (ANFAC, 2017).
- [17] Para más información ver (Álvarez Pelegrý *et. al.* 2017b) y (UBS, 2018).
- [18] De los cuales 5% de recarga rápida, un 10% en oficinas y lugares públicos con recarga normal y 85% de recarga normal en edificios.
- [19] Esto se analiza en otro artículo de este monográfico.
- [20] Los vehículos de gasolina serán el 59%, y los de diésel el 37%.
- [21] Entre 2000 y 2015, los vehículos convencionales han mejorado un 2,5% anual la eficiencia en el consumo y las emisiones de CO₂. En 2030 el consumo podría estar para nuevos vehículos, en 2,7l/100 km y las emisiones en 60gCO₂/km (CEPSA, 2017).
- [22] En este apartado no se tratan específicamente los biocombustibles, dado que por su naturaleza, como se ha señalado, se incorporan en los vehículos convencionales.
- [23] Más detalle en (Castro *et al.*, 2017).
- [24] También existen los trifuel que combinan de manera flexible gasolina o etanol con gas natural.
- [25] Naturgy anunció que invertiría 18 millones de euros en 2018 para duplicar el número de estaciones de carga de GNC y llegar a 100 a finales de ese año. Con ello aumentará su presencia en Madrid y Barcelona y prevé estrenarse en Alicante Córdoba, Valencia, Bilbao, Málaga, Sevilla, Zaragoza, Murcia, Vigo, Gijón, Valladolid y Santander (Ok, 2018).
- [26] Para cumplir con la exigencia de la Directiva DAFI, la estrategia de impulso de los VEA en España estima que en 2020, se debería proceder a la instalación de 119 puntos de suministro de GNC en el ámbito urbano, dando prioridad a las ciudades con más de 100.000 habitantes. Asimismo, considerando la recomendación de 150 km de separación máxima entre estaciones, en 2025 deberían instalarse 199 nuevos puntos de suministro de GNC en carreteras (Álvarez Pelegrý *et al.*, 2017b).
- [27] No obstante, no sería de extrañar que estas ventajas estén sujetas a revisión, en un futuro, cuando la penetración de los VEA (incluyendo los VE) alcance un volumen que afecte significativamente al conjunto de la recaudación impositiva de los combustibles consumidos en todo tipo de vehículos de transporte privado de pasajeros por carretera.
- [28] (GASNAM, 2014).
- [29] En la actualidad 55.000 turismos, 1.000 furgonetas y 8.000 taxis (Blanco, 2018). Según el MAN deberían alcanzarse 2.765 puntos de suministro si se utiliza la proporción actual de vehículos a puntos de suministro y 200.000-250.000 vehículos a 2020 (Gobierno de España, 2016).
- [30] Véase por ejemplo las promociones de Repsol.

- [31] (Benaje, 2013). En esta referencia puede verse un análisis de las perspectivas de mejora en optimización del ciclo termodinámico y otras.
- [32] Diésel 0,840 kg/l; PCI del diésel, 42,6 MJ/kg; densidad de la gasolina, 0,75 kg/l; PCI de la gasolina, 44MJ/kg; PCI del gas natural, 49 MJ/kg; densidad del GLP, 0,54 kg/l; PCI del GLP, 46 MJ/kg (Edwards *et alii.*, 2014).
- [33] (AEESCAM, 2017).
- [34] Véase Arias Paz (2008). »Manual de Automóviles«, 56 edición, Apéndice V; y/o (Garrido *et alii.*, 2017).
- [35] Aunque en los orígenes del automóvil ya se fabricaron y pusieron en circulación VE y estos tuvieron su revival en los setenta del pasado siglo. desde hace años el despliegue de VE, se ve más como una tendencia irreversible.
- [36] Véase, por ejemplo, (Lage Marco, 2013) o (Garrido, *et al.*, 2017)
- [37] (Hertzke, P. *et al.* 2018) distingue cuatro etapas en las tendencias disruptivas: la fase «detectable» en la que se sienten las primeras señales pero con mucho ruido. La fase «clara», en la que emerge la validez de un modelo, la «inevitable», en la que se logra una masa crítica, y la última que sería una «nueva normalidad», en la que se logra una escala correspondiente a una industria madura.

BIBLIOGRAFÍA

- AEESCAM (2017). Informe AOP sobre gasolineras. <http://www.aeescam.com/informe-aop-sobre-gasolineras>
- Álvarez Pelegrí, E., Menéndez Sánchez, J., Bravo López, M. (2017a) «Movilidad sostenible. El papel de la electricidad y el gas en varios países europeos». Cuadernos Orkestra
- Álvarez Pelegrí, E., Menéndez Sánchez, J. (2017b). «Energías alternativas para el transporte de pasajeros. El caso de la CAPV: análisis y recomendaciones para un transporte limpio y sostenible». Cuadernos Orkestra.
- Álvarez Pelegrí, E., Menéndez Sánchez, J., Bravo López, M. (2018) «Calidad del aire. Situación en España y escenarios a futuro para la CAPV, Madrid y Barcelona». Cuadernos Orkestra.
- ANFAC (2017). Memoria anual.
- Benaje, J. (2013). «Avances tecnológicos en motores de automoción para afrontar desafíos futuros» En «los motores de combustión interna en la movilidad sostenible del futuro». Asepa
- BCG (2015). «Revolution in the driver's seat. The road to autonomous vehicles».
- BCG (2018). «The electric car tipping point».
- Bitdwal, I and Nelsen, E. (2017). »The gas stations digital future is around the corner«. The Oliver Wyman Energy Journal. Vol.3
- Blanco, J.L. (2018). ¿Por qué el autogás hoy? ¿Y mañana? Segundo Foro de autogás. Junio de 2018.
- BNEF (2018). «Annual long term forecast of global electric vehicle adoption to 2040. Darton Commodities Limited.2018. www.dartoncommodities.co.uk
- BP (2017).»BP Energy Outlook«. 2017 edition.
- Bravo, M. (2015). *Biofuels and the Atlantic*, en Isbell, P. y Álvarez Pelegrí, E. »The future of Energy in the Atlantic Basin« Center for Transatlantic Relations».
- Castro, M.A., Poblet, J., Rodríguez, R., y Seco, E. (2017). *El GNL como combustible en el transporte marítimo*. En «El gas natural en la movilidad». Gas marítimo. Gasnam.

- CEPSA (2017). «Energy Outlook 2030».
- Comisión de Expertos de transición Energética. (2018). Análisis y propuestas para la des carbonización.
- Comisión Europea (2011). «Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050». https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es
- Comisión Europea (2016a). Clean energy for all Europeans. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>
- Comisión Europea (2016b) 501 final. «Comunicación al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de Regiones sobre la estrategia europea a favor de la movilidad de bajas emisiones».
- Comunicación a la Secretaría de la Convención Marco de NNUU sobre Cambio Climático. España. Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2016. Edición 2018. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Dominguez, A., Gómez, S. y González, R. (2017). «NGVs en el mundo y estaciones en la península Ibérica», en «El Gas Natural en la movilidad sostenible». Gasnam.
- Edwards, R., Hass, H., Larivé, J., Lonza, L., Maas, H., Rickard, D. (2014). WELL-TO-WHEELS Report Version 4.a. JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS. JRC Research
- Engel, H.; Hensley, R.; Knupfer, S.; Shader, S. (2018a). «Charging ahead: understanding the EV infrastructure challenge», McKinsey.
- Engel, H.; Hensley, R.; Knupfer, S.; Shader, S. (2018 b). «The potential impact of EV on global energy systems», McKinsey.
- EURELECTRIC (2018). «Decarbonization Pathways. European economy electrification and decarbonization scenario modelling. Synthesis of key findings».
- Fernandez, D. Garrido, S. (2017). «GNC en el entorno urbano e interurbano». En «El gas natural en la movilidad». Gasnam.
- Garrido, S., Gologana, J., Marcos, F. y Tinaut, F. (2017). «tecnología de motores». En «El gas natural en la Movilidad. Gasnam.
- Gasnam (2014). «Desarrollo del gas natural vehicular en España: análisis de beneficios y potencial contribución a la economía nacional».
- Glencore (2018). «The EV revolution and its impacts on raw materials». Disponible en www.iea.org/media/Workshops/2018/session3Glencore.pdf
- Gobierno de España (2016). Marco de Acción Nacional de Energías Alternativas en el Transporte. Desarrollo del mercado e implantación de la infraestructura de suministro. En cumplimiento de la Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014.
- González, E. (2018). «Cambio climático y Energía: Tendencias y Objetivos». Cursos de verano de La Granda. 13 agosto 2018.
- Hall, D., Young Cui, H., Lustey, N. (2017). »Electric Vehicles Capitals of the World: What markets are leading the transition to electric«. Brief Briefing. ICCT.
- Hertzke, P. Müller, N. Schenk, S. Wu, T. (2018).» The global electric-vehicle market is amped up and on the rise«. McKinsey.
- IEA (2018). «Global EV Outlook 2018. Towards cross-modal electrification». www.iea.org

IRENA (2017). «Electric Vehicles. Technology Brief». www.irena.org

IRENA (2018). «Biogas for road vehicles. Technology brief».

KPMG (2018). «Perspectiva para la reducción de emisiones de CO₂ en España a 2030. El papel de los productos petrolíferos».

Lage Marco, M. (2013). «Tecnología de los motores de gas natural. En «Los motores de combustión interna en la movilidad sostenible del futuro». Asepa.

Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2018). «Comunicación al secretariado de la Convención Marco de NNUU sobre cambio climático. España. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2016».

Nordensvard, J. and Urban, F. (2015). «The stuttering energy transition in Germany: wind energy policy and feed-in tariff lock in». Elsevier.

Ok. Diario 22 marzo 2018.

Payri Gonzalez, F. (2018). «Técnicas para reducir las emisiones contaminantes de los vehículos convencionales». El automóvil en la movilidad sostenible. Informe Asepa.

PWC (2018). «Five trends transforming the automotive industry».

Smil, V. (2010). «Energy transitions: History, requirements, prospects. Santa Barbara, California: Praeger.

UBS (2018). «Coche eléctrico: disrupción en ciernes». Wealth management. Powered by Evidence Lab.

UBS (2018). «Electric Car Teardown-Disruption ahead?». Q-Series. UBS Evidence Lab.

Warner, J. (2015). «The handbook of lithium-Ion Battery Pack Design». Amsterdam, Oxford, Waltham; Elsevier Science.

Wolff Elósegui, G. (2013). *Adaptabilidad de los motores de combustión interna a las nuevas fuentes de energía renovables* en Asepa «Los motores de combustión interna en la movilidad sostenible del futuro».

SISTEMA DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS: REVISIÓN TECNOLÓGICA E IMPACTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

JOSÉ MARÍA MAZA ORTEGA
ANTONIO GÓMEZ EXPÓSITO

Universidad de Sevilla

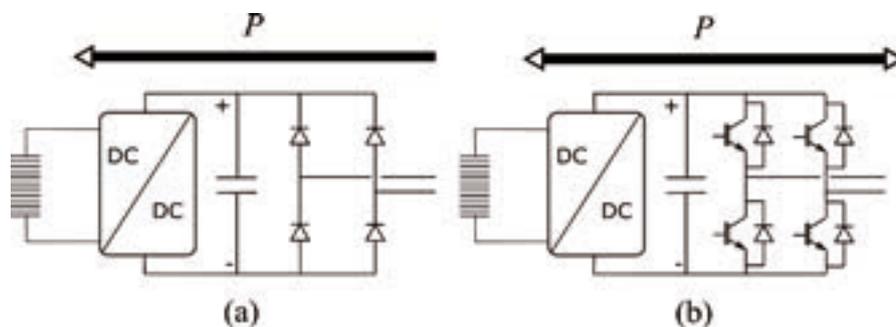
Hoy en día existe un claro consenso en que la actividad humana es la causante del cambio climático. El incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera se correlaciona con el paulatino aumento de las temperaturas. Es necesario, por tanto, tomar una serie de actuaciones si se quiere poner freno a un deterioro paulatino e irreversible del medioambiente. En este sentido, es imprescindible tener en cuenta que la generación

eléctrica y el transporte por carretera representan casi el 50% del total de las emisiones de efecto invernadero. Es lógico centrar esfuerzos en estas dos actividades para reducir al máximo sus emisiones asociadas. En el caso de la generación eléctrica, la transición hacia un modelo energético descarbonizado, en el que las energías renovables reemplacen a las tecnologías convencionales basadas en combustibles fósiles, se encuentra en un estado avanzado. En España, a modo de ejemplo, durante 2017 la contribución media anual de las renovables para cubrir la demanda ha sido del 33.7% y en algunos meses el porcentaje de participación ha sido incluso mayor, como en marzo en el que se alcanzó el 57%. En el caso del transporte por carretera este cambio de modelo está en sus inicios, siendo necesario incentivar con diferentes medidas y estímulos la adopción del vehículo eléctrico como medio de transporte de referencia. Esta sustitución tecnológica, de forma adicional, contribuiría a reducir la emisión de partículas, que afectan notablemente a la salud pública especialmente en núcleos urbanos densamente poblados [1].

En la actualidad, el stock de vehículos eléctricos a nivel mundial ha sobrepasado los 4 millones de unidades previstos para 2017 y se espera que crezca de forma paulatina hasta los 228 millones en 2030 [2]. Los vehículos eléctricos, ya sean híbridos o puramente eléctricos, están provistos de una batería que proporciona la energía necesaria para su funcionamiento y que ha de ser cargada desde una fuente externa. La capacidad de la batería está directamente relacionada con la autonomía del vehículo. Para vehículos híbridos su valor oscila entre 5 y 15 kWh, mientras que para vehículos puramente eléctricos se sitúa en valores sensiblemente superiores entre 15 y 85 kWh [3]. Por estos motivos, el despliegue del vehículo eléctrico afectará de forma significativa a la planificación y operación del sistema eléctrico, debido a la necesidad de establecer puntos de recarga que proporcionen la energía necesaria en el tiempo requerido por el usuario final.

Este artículo presenta una revisión de los aspectos tecnológicos asociados a los puntos de recarga y su afectación al sistema eléctrico de potencia. En primer lugar, se realiza una clasificación de los puntos de recarga

FIGURA 1
CARGADORES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS. (A) CARGADOR BASADO EN PUENTE DE DIODOS. (B) CARGADOR BASADO EN IGBTs



Fuente: elaboración propia

atendiendo a diferentes criterios. Posteriormente, se analiza la normativa y estándares que afectan a estos sistemas de recarga. Finalmente, se detalla el impacto sobre la red eléctrica y las posibles soluciones que se han propuesto hasta la fecha para mitigarlo.

ASPECTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE RECARGA ELÉCTRICA ↓

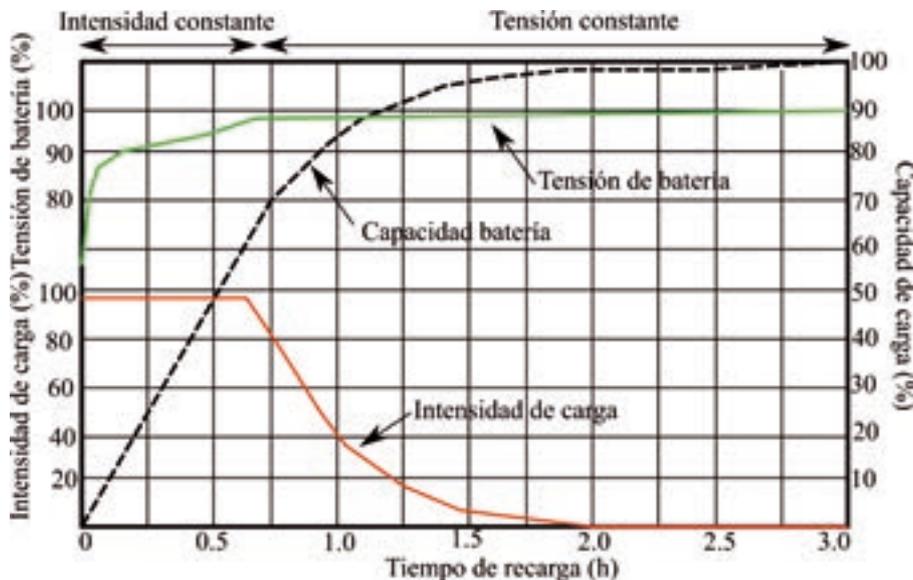
La tecnología de recarga del vehículo eléctrico no es única, existiendo diferentes opciones en función de la forma en que se suministra la potencia desde la red eléctrica al vehículo. La tecnología utilizada tiene importantes implicaciones tanto en el equipamiento que es necesario embarcar en el vehículo, el tiempo de recarga requerido para conseguir la plena carga de las baterías y el impacto en la red eléctrica. Por estos motivos, es conveniente realizar una clasificación de los sistemas de recarga atendiendo a diferentes criterios:

- **Naturaleza de la energía suministrada al vehículo.** La red eléctrica es de corriente alterna, mientras que las baterías operan en corriente continua. Por tanto, es imprescindible incorporar una etapa de acondicionamiento de potencia, denominada rectificación, para realizar la recarga de las baterías. Esta rectificación puede realizarse en un dispositivo embarcado en el vehículo o bien fuera del mismo. En el primer caso, la alimentación del vehículo sería alterna, mientras que en el segundo sería continua. Debido a que el volumen y peso del rectificador son función de su potencia, es habitual que la alimentación de alterna esté asociada a potencias bajas y la alimentación de continua, en la que el rectificador es externo, a potencias elevadas.
- **Modo de transferencia de energía.** La recarga usual de los vehículos eléctricos se realiza por conducción, para lo cual existe una estandarización de conectores que será analizada posteriormente. De forma alternativa, también se están desarrollando sistemas de recarga sin contacto en el que la energía se transmite a través de un aco-

plamiento magnético [4]. Por último, y con el objetivo de disminuir los tiempos de espera durante la recarga se han propuesto estrategias de intercambio o sustitución de baterías (*swapping*) [5]. No obstante, no se prevé un despliegue masivo de esta tecnología debido al reducido número de vehículos actuales compatibles con esta opción.

- **Flujo de energía.** Los cargadores convencionales permiten un flujo de potencia desde la red de distribución hacia el vehículo eléctrico. Habitualmente estos dispositivos están formados por un rectificador de entrada basado en un puente de diodos tal y como se observa en la Figura 1.(a) [6]. La utilización de esta tecnología tiene asociado un impacto negativo en la red eléctrica debido al consumo de potencia reactiva y generación de armónicos de órdenes bajos que empeoran la calidad de suministro eléctrico. Alternativamente, existen cargadores que permiten un flujo de potencia bidireccional. Para ello es necesario que el convertidor electrónico que se conecta a la red eléctrica esté formado por interruptores autoconmutados (MOSFETs o IGBTs) mostrados en la Figura 1.(b). Con este tipo de tecnología es posible conseguir un flujo de potencia inverso, de forma que el vehículo eléctrico puede inyectar potencia a la red. Este modo de operación, conocido como *vehicle to grid -V2G*, podría resultar muy interesante en un futuro en el que los vehículos eléctricos podrían ser utilizados como un recurso de almacenamiento distribuido que podría prestar servicios complementarios a la compañía de distribución y al operador del sistema [7]. Por otra parte, y en lo referente a la afección a la calidad de suministro, esta tecnología tiene también como ventaja un reducido contenido armónico de órdenes bajos y la posibilidad de operar con potencia reactiva nula.
- **Velocidad de recarga.** Está condicionada por la potencia demanda de la red y por la energía inicial y final almacenada por la batería. El tiempo de recarga será tanto menor cuanto mayor sea la

FIGURA 2
 PROCESO DE CARGA DE UNA BATERÍA DE COCHE ELÉCTRICO



Fuente: elaboración propia

potencia demandada de la red, si bien esta relación no es lineal tal y como se pone de manifiesto en la Figura 2. Existen distintos niveles de recarga en función de la potencia demandada de la red eléctrica:

- **Nivel 1 (recarga lenta).** Es la recarga más segura y práctica, puesto que puede realizarla un particular en su domicilio a través de un enchufe convencional. Para ello se emplea el sistema monofásico de corriente alterna a 230 V con intensidades de hasta 16 A. Suele ser el sistema de recarga utilizado para motos eléctricas.
- **Nivel 2 (recarga media o acelerada).** Este tipo de recarga pone en juego potencias más elevadas por lo que suelen utilizarse conexiones trifásicas con demanda de intensidades de hasta 63 A.
- **Nivel 3 (recarga rápida).** Es con diferencia el método que demanda una mayor potencia de la red. Se emplea corriente continua, por lo que el cargador es estacionario y no embarcado en el vehículo, con tensiones alrededor de 500 V e intensidades reguladas entre 50 y 550 A.

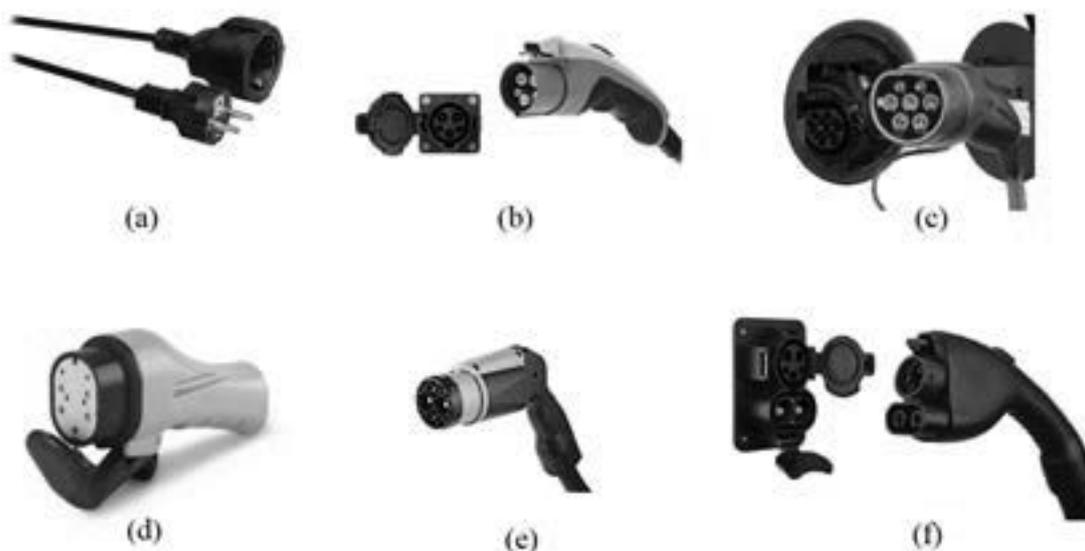
ESTANDARIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECARGA

Con el objetivo de aumentar la interoperabilidad entre las infraestructuras de recarga y los vehículos eléctricos es necesario recurrir a la estandarización de cada uno de los componentes que los integran. Así, la normativa internacional IEC 61851 [8] trata de estandarizar los sistemas de recarga internos y externos al vehículo para

niveles de tensión de hasta 1000 V en alterna y 1500 V en continua. En dicho estándar se realiza una clasificación de los diferentes modos en los que se puede realizar la recarga:

- **Modo 1.** La recarga se efectúa con corriente alterna mediante conectores normalizados con intensidades limitadas a 16 A por fase. Si la recarga se realiza de esta manera, el vehículo se conecta directamente a la red convencional sin necesidad de utilizar ningún equipo o sistema adicional específico. La potencia máxima asociada a este tipo de recarga es de 3.7 kW en sistemas monofásicos (230 V) y 11 kW en sistemas trifásicos (400 V). Este modo de recarga requiere, como medida de seguridad para protección frente a contactos indirectos, la utilización de una protección diferencial con toma de tierra. Este modo es muy práctico para vehículos pequeños, como bicicletas o ciclomotores, si bien en coches está prohibido en algunos países.
- **Modo 2.** En este modo la intensidad máxima permitida es de 32 A, aunque suelen ser habituales intensidades de 16 A. Los niveles de potencia máximos son de 7.4 kW para sistemas monofásicos (230 V) y 22 kW para sistemas trifásicos (400 V). Este modo está provisto de funciones adicionales, como la comprobación de que el vehículo está bien conectado, detección de tierra en el conector, activación o desactivación del sistema, etc. Por estos motivos, el cable de conexión con el vehículo debe incorporar, además de los circuitos de potencia, los correspondientes a seguridad y control requeridos para realizar estas funciones. La mayor parte de los fabricantes incluyen junto con el vehículo eléctrico cargadores basados en este

FIGURA 3
 CONECTORES DE LOS SISTEMAS DE RECARGA POR CONDUCCIÓN. (A) SCHUKO. (B) SAE J1772. (C) MENNEKES. (D) SCAME. (E) CHADEMO. (F) COMBO.



Fuente: [10]

modo de recarga, por lo que están muy extendidos.

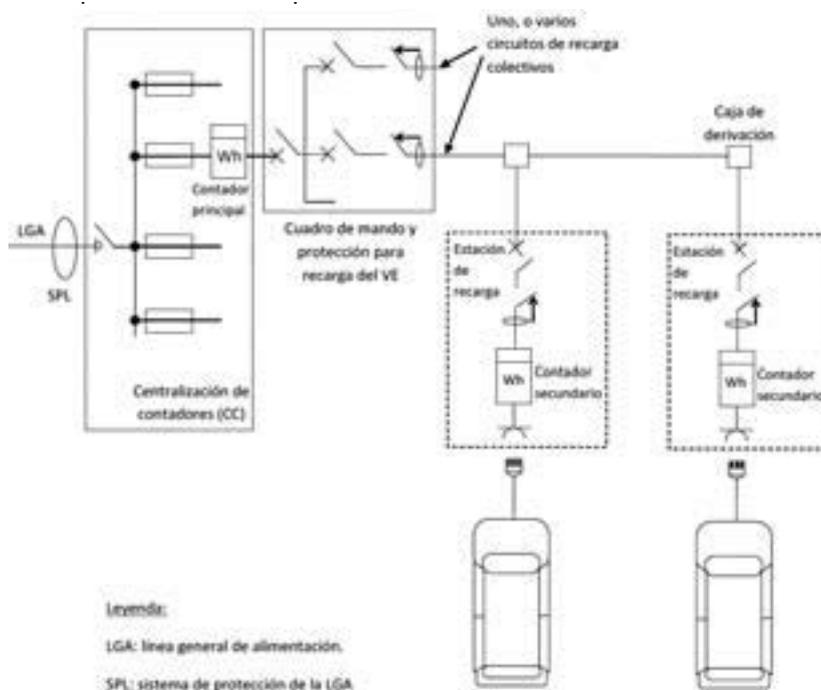
- **Modo 3.** La recarga se realiza utilizando una toma de corriente específica para vehículos eléctricos. Las intensidades máximas que se permiten alcanzan los 63 A, aunque lo más usual es 32 A, si bien en la actualidad se están desarrollando prototipos de 250 A. Por tanto, el máximo nivel de potencia es de 43 kW. Las funciones de protección y control se encuentran fijas de forma permanente en la infraestructura de recarga en el sistema SAVE (Sistema de Alimentación del Vehículo Eléctrico) o *wall box*. La norma indica que debe existir un cable piloto de control entre esta infraestructura de recarga y el vehículo eléctrico de forma que el proceso de recarga sólo pueda ser iniciado si el vehículo se encuentra inmovilizado. Este modo está siendo fuertemente promovido en la Unión Europea, pues se permite la recarga controlada del vehículo eléctrico lo cual está alineado con el desarrollo de las futuras redes inteligentes.
- **Modo 4.** Esta forma de recarga se realiza en corriente continua a través de un rectificador externo al vehículo que regula la recarga, para lo cual es necesario un canal de comunicación con el vehículo. Este modo está destinado exclusivamente a recarga rápida, y permite elevar la corriente hasta 400 A. En España la potencia empleada en las recargas en modo 4 suele ser de 125 kW. La infraestructura necesaria suele ser de gran tamaño y elevado coste en comparación con las anteriores.

Además de los modos en los que se realiza la recarga, es importante señalar que existe una estandarización

de los diferentes conectores que se utilizan para conectar el vehículo eléctrico a la infraestructura de recarga. Los principales, mostrados en la Figura 3, son los siguientes:

- **EEC 7/4 type F (Schuko).** Se utiliza principalmente en Europa en la modalidad de recarga lenta. Por estos motivos, es adecuado para la recarga de pequeños vehículos eléctricos como bicicletas y motocicletas eléctricas. Está dotado de conexión a fase, neutro y tierra siendo apto exclusivamente para sistemas monofásicos con intensidades inferiores a 16 A.
- **SAE J1772.** Este conector es similar al anterior pues está dotado de fase, neutro y tierra, de aplicación a sistemas monofásicos y con origen estadounidense. Sin embargo, incorpora un canal de comunicación que permite detectar la conectividad entre el vehículo y la infraestructura de recarga y el intercambio de datos entre los mismos. Este tipo de conector está incluido en la normativa IEC 62196-2 [9] y se designa como conector Tipo 1. El conector permite cargas de niveles 1 y 2. Geográficamente su utilización se extiende principalmente por Estados Unidos y Japón.
- **VDE-AR-E 2623-2-2 (Mennekes).** Está diseñado para efectuar recargas del Modo 2 y 3 conforme al estándar IEC 61851 anteriormente comentado. Se utiliza principalmente en Europa, siendo su diseño similar al SAE J1772. El conector permite la recarga trifásica y la recarga lenta. Este conector está incluido en la norma IEC 62196-2 y se designa como conector Tipo 2.

FIGURA 4
ESQUEMA UNIFILAR DE UNA INSTALACIÓN COLECTIVA TRONCAL CON CONTADOR PRINCIPAL EN EL ORIGEN Y CONTADORES SECUNDARIOS EN LAS ESTACIONES DE RECARGA



Fuente: [15]

- **Scame.** Este conector está prácticamente en desuso debido al apoyo que desde el sector industrial se ha realizado a los conectores Tipo 2. No obstante está incluido en la normativa IEC 62196-2 como Tipo 3. La potencia máxima que admite es de 22 kW y cuenta con una protección de los terminales de conexión.
- **CHAdeMO.** Es un conector diseñado por TEPCO (Tokyo Electric Power Company) específico para el Modo 4 de recarga en corriente continua y nivel 3. Soporta potencias de hasta 62.5 kW y utiliza CAN bus como sistema de comunicación. Este tipo de conector se clasifica como Tipo 4 dentro de la normativa IEC 62196-2.
- **COMBO** (Sistema de Carga Combinada CCS). Son variantes del SAE J1772 y del Mennekes que incorporan un par de hilos DC para posibilitar los modos 2 a 4 de recarga.

De forma adicional a los modos de recarga y conectores, existe también una extensa lista de normas para estandarizar:

- **Comunicaciones.** La normativa ISO 15118 [11] establece los protocolos de red y aplicación, así como los requerimientos de las capas físicas y de datos. Por otra parte, la normativa IEC 61851-24 [12] indica las características de la comunicación entre las estaciones de recarga y los vehículos eléctricos en caso de carga en corriente continua.

- **Seguridad de las personas e instalaciones.** El estándar ISO 6469-3 [13] realiza la especificación de la protección necesaria para evitar riesgos eléctricos de las personas que realizan la recarga del vehículo. Por último, la ISO/FDIS 17409 [14] indica los requerimientos de seguridad que deben tenerse en cuenta para realizar la conexión de los vehículos a una fuente externa.

Por último, y desde el punto de vista de los requerimientos de instalación, en España es de aplicación la Instrucción Técnica Complementaria ITC BT-52 [15] que proporciona información de los siguientes aspectos:

- **Esquemas de instalación.** Se indican los esquemas unifilares a seguir para distintos tipos de instalaciones entre los que se distinguen dos grandes grupos: viviendas y estaciones de recarga públicas. En los correspondientes a viviendas se establecen diversos esquemas con diferentes propuestas para realizar la ubicación de los contadores de energía. A modo de ejemplo, la Figura 4 presenta un esquema unifilar para una instalación colectiva troncal con contador principal en el origen de las instalaciones y secundarios ubicados en las estaciones de recarga. En el caso de las estaciones de recarga públicas, directamente conectadas a la red de distribución, es posible distinguir dos tipologías: autoserivicio y con asistencia. En el primer caso, este tipo de instalaciones podrán utilizar cualquier modo de carga. En el segundo caso,

**TABLA 1
AUTONOMÍA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
ACTUALES**

Modelo	Autonomía (km)
Tesla Model S	539
Tesla model 3	500
Tesla Model X	475
Chevy Bolt	383
Nissan Leaf	350
Renault Zoe	300
Volkswagen e-Golf	300
Hyundai Ioniq	250
BMW i3	200
Kia Soul	200

Fuente: <https://evobsession.com/10-electric-cars-range-new/>

preferentemente 3 ó 4, si bien podrán equiparse en modo 1 ó 2 cuando esté previsto realizar recarga de vehículos de baja potencia. Se proporcionan además las potencias asociadas a los circuitos de recarga y recomendaciones de reparto de carga entre las fases para evitar desequilibrios.

- **Previsión de cargas.** Se realiza una previsión de cargas con factores de simultaneidad que dependen del esquema tipo de instalación utilizado, si bien en la mayor parte de los casos se considera que existe una simultaneidad unidad entre las cargas del vehículo eléctrico con el resto de las cargas de la instalación.
- **Requisitos generales de la instalación.** Se indica la forma en que debe ser realizadas las instalaciones, potencia instalada, sistemas de iluminación, máximas caídas de tensión, sistema de neutro, canalizaciones, punto de conexión y medida de energía.
- **Protecciones.** Se especifican, como en toda instalación de baja tensión, medidas de protección frente a contactos directos e indirectos siguiendo la ITC BT-24 [16] indicándose la necesidad de instalar protección diferencial. Adicionalmente, es necesario establecer protecciones frente a sobreintensidades y sobretensiones. Finalmente es necesario realizar protección mecánica contra penetración de cuerpos sólidos, penetración de agua e impactos mecánicos.
- **Condiciones particulares de la instalación.** Es imprescindible que la instalación cuente con la debida red de tierras para evitar tensiones de contacto superiores a 24 V.

IMPACTO EN LA RED ELÉCTRICA ↓

El impacto de la recarga de los vehículos eléctrica dependerá fundamentalmente del parque existen-

te de este tipo de vehículos y de la forma en que se realice dicha recarga. Si bien en la actualidad el número de vehículos eléctricos es muy reducido, se pronostica un paulatino incremento del grado de penetración de esta tecnología. Sin embargo, para ello será necesario vencer una serie de barreras de índole técnica, económica y de infraestructura:

- **Barreras técnicas.** La autonomía del vehículo eléctrico es posiblemente uno de sus principales inconvenientes. El promedio de las baterías actuales está en un rango comprendido entre los 20-30 kWh que permiten autonomías de 150 a 200 km, si bien hay excepciones con modelos que incorporan baterías de 75 kWh con autonomías de 500 km tal y como se muestra en la Tabla 1. Esto provoca ansiedad de autonomía en los conductores, al establecerse una comparación de esta nueva tecnología con los motores de combustión interna convencionales, en los que es posible recorrer distancias mayores y llenar el depósito de combustible en muy poco tiempo [17].
- **Barreras económicas.** El coste asociado a los vehículos eléctricos es hoy en día muy superior a los vehículos de combustión convencionales con prestaciones similares. Esto se debe a que el coste de la batería, con tecnología de ión-litio, es todavía muy elevado. Sin embargo, existe una clara tendencia de reducción de coste debido al proceso de madurez de la tecnología. En el período comprendido entre 2008 (1000 \$/kWh) y 2015 (268 \$/kWh) se ha conseguido una disminución del coste promedio de las baterías de un 73% [18]. De forma adicional, la mayor parte de los estudios indican que se conseguirá la competitividad de los vehículos eléctricos con costes de baterías de alrededor de 150 \$/kWh. Por estos motivos, si se logran alcanzar estos costes será posible equipar a los vehículos con mayores baterías que aumenten su autonomía, eliminándose la barrera técnica descrita anteriormente.
- **Barreras asociadas a la infraestructura de recarga.** Sin lugar a dudas la infraestructura de recarga es clave para que se produzca la transición hacia un sistema de transporte por carretera totalmente eléctrico. No obstante, se trata de un problema complejo al ser difícil satisfacer de forma simultánea los intereses de los propietarios de los vehículos y los agentes de recarga durante los primeros años del despliegue (¿quién fue primero: el huevo o la gallina?). Debido a la escasez de vehículos eléctricos, no se realizará una instalación masiva de puntos de recarga, pues esta nueva actividad no resulta atractiva desde un punto de vista económico. Esta escasez de infraestructura de recarga, a su vez, dificulta la adquisición de vehículos eléctricos e impide su utilización en largas distancias. Por estos motivos, en [10] se justifica la necesidad de ofrecer ayudas para la instalación de puntos de recarga, al

menos durante los primeros años hasta que se consiga un despliegue masivo de la nueva tecnología.

Tal y como puede comprobarse del análisis de estas barreras, no existe ninguna de ellas insalvable y es de esperar un paulatino crecimiento del parque de vehículos eléctricos conforme disminuya su coste y aumente su autonomía, lo cual está ligado al desarrollo de las baterías. Por estos motivos, es de esperar que la movilidad eléctrica afecte al sistema eléctrico tanto a nivel global como local en las redes de distribución en las que se conectarán los sistemas de recarga eléctrica.

Por una parte, y desde un punto de vista global, en el año 2020 se prevé en España un parque de 500.000 vehículos eléctricos que supondrán un consumo adicional de 1,5 TWh sobre la demanda eléctrica anual prevista para 2020 (303,901 TWh), lo cual representa un 0,49% adicional [19]. A pesar de que esta cifra no es muy elevada, hay que tener en cuenta que si en un futuro se reemplaza la totalidad del parque de vehículos nacional, más de 22 millones de turismos, el consumo adicional subiría hasta los 66 TWh que representaría alrededor de un 22% de la energía anual. Además de incrementarse la potencia total demandada por el sistema, se afectará también la curva de demanda diaria dependiendo de cuándo y cómo se realice el proceso de carga. Desde este punto de vista, si la carga se realiza de forma incontrolada sería posible un aumento del pico de demanda del sistema [20], que tendría como consecuencia un aumento del coste de explotación del mismo [21].

Por otra parte, y analizando el impacto local sobre las redes de distribución de energía eléctrica, es posible afirmar que la introducción de los cargadores de vehículos eléctricos provocará un aumento de la carga a la que se verán sometidas las redes de media y baja tensión. Dicho aumento tendrá como consecuencia cinco efectos [22]:

- Aumento de las caídas de tensión debido al incremento de la carga de la red. Es posible que puedan originarse subtensiones en determinados momentos del día en los que se produzca una recarga simultánea de muchos vehículos eléctricos. Esto podría afectar desfavorablemente a la calidad de suministro percibida por el consumidor final que está regulada por normativas cada vez más exigentes [23].
- Congestión de líneas de baja tensión por tener cargas superiores a sus límites térmicos (límite de ampacidad) en caso de funcionamiento simultáneo de muchos cargadores eléctricos.
- Aumento de las pérdidas del sistema de distribución debido a una mayor carga del mismo.
- Disminución de la vida útil de los transformadores de distribución debida a un incremento de carga [24].

- Aumento de los niveles de desequilibrio. Tal y como se ha visto en la sección anterior, los cargadores de poca potencia suelen ser monofásicos. En este sentido, es importante realizar un reparto adecuado entre las diferentes fases para mantener, en la medida de lo posible, la carga igualmente repartida entre las mismas. De otra forma, operación con carga desequilibrada, podrían aumentar de forma considerable las pérdidas del sistema de distribución [25]. Adicionalmente, el funcionamiento con carga desequilibrada empeora notablemente la calidad de suministro pues se incrementaría el desequilibrio de tensión, limitado por la normativa vigente [23].
- Por último, y tal y como se ha comentado anteriormente, todos los dispositivos de recarga eléctrica están formados por componentes de electrónica de potencia que realizan la adaptación de corriente alterna a corriente continua. Este tipo de dispositivos es no lineal, es decir, que alimentados con una tensión sinusoidal responden consumiendo una intensidad no sinusoidal. Dicha intensidad, si no se toman las medidas correctoras oportunas, puede tener un contenido armónico muy elevado que afecta de forma negativa a la calidad de suministro de la red de distribución [26].

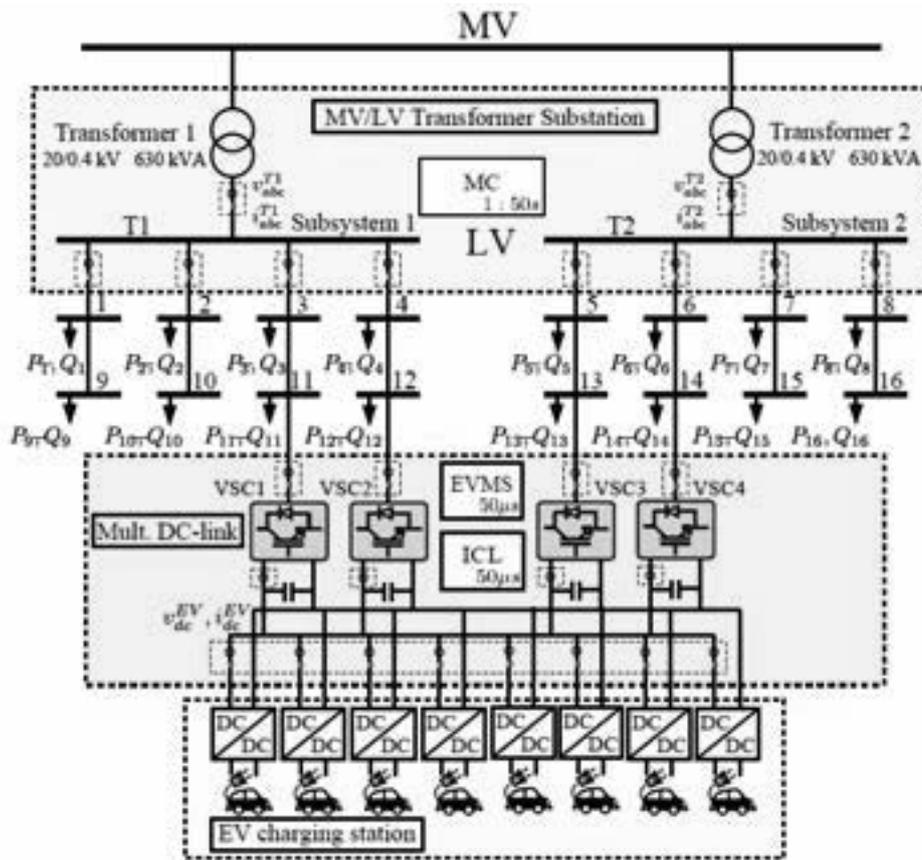
Si en el futuro va a existir un despliegue masivo de coches eléctricos, es imprescindible buscar las estrategias necesarias para minimizar los aspectos negativos enumerados anteriormente.

ESTRATEGIAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO EN LA RED ▼

Es necesario buscar estrategias para minimizar al máximo el impacto de la recarga del vehículo eléctrico sobre la red. Las estrategias propuestas hasta la fecha pueden clasificarse en función de la manera en que gestionan la carga adicional debida al vehículo eléctrico:

- **Refuerzos clásicos de red.** Este es la forma más básica de solucionar el problema, pues el vehículo eléctrico es considerado como una carga convencional que no puede controlarse. Por estos motivos, se recurre a aumentar las inversiones asociadas a activos clásicos de red, instalación de nuevas líneas y transformadores, para evitar las congestiones (subtensiones y sobrecargas) producidas por la recarga. En este sentido, se han realizado trabajos en los que se consideran modelos de planificación de red óptima teniendo en cuenta el incremento de carga de los vehículos eléctricos [27]. Sin embargo, hay que tener en cuenta que realizar refuerzos de red en áreas densamente pobladas es complicado debido a que la red de distribución suele ser subterránea. En estos casos, es necesario abrir zanjas a lo largo de las calles que ocasionan numerosas molestias (cierres temporales de calles con reordenación del tráfico, ruidos debidos a las obras, etc.) [28]. Por estos motivos, y teniendo en cuenta que existe la

FIGURA 5
ESTACIÓN DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ALIMENTADA DE FORMA SIMULTÁNEA DE VARIOS ALIMENTADORES PARA REPARTIR LA DEMANDA EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE LOS MISMOS



Fuente: [44]

madurez tecnológica de las redes inteligentes, es posible plantear otras alternativas.

- Localización óptima de las estaciones de recarga.** El objetivo de estas estrategias es encontrar la ubicación óptima y potencia asociada a cada una de las estaciones de recarga teniendo en cuenta una determinada función objetivo. Existen multitud de aproximaciones al problema, desde aquellas que simplemente minimizan el coste del sistema [24] o los costes de inversión y explotación del sistema [30], hasta otras más complejas en las que se analiza la planificación de red multiperiodo [31],[32] e incluso teniendo en cuenta la presencia de sistemas de almacenamiento y aporte de energías renovables [33].
- Algoritmos de carga controlada.** Estos algoritmos intentan repartir la carga del coche eléctrico a lo largo del día para evitar las congestiones de red y, de forma simultánea, cumplir los requerimientos impuestos por los usuarios individuales. Existen multitud de algoritmos que realizan este cometido y pueden clasificarse en función de la arquitectura de control utilizada y de la función objetivo que se intenta optimizar. Desde el punto de vista de la

arquitectura de control, existen implementaciones centralizadas y descentralizadas. En el primer caso, los algoritmos calculan los perfiles de recarga óptimos atendiendo a un objetivo global de operación. Para ello, es necesario conocer el estado del sistema a través de medidas eléctricas, para lo cual es necesario contar con una compleja infraestructura de comunicaciones. Dicha infraestructura es utilizada, de forma adicional, para comunicar el centro de control con las estaciones de recarga, y así enviar las consignas de operación adecuadas que optimizan el funcionamiento del sistema [34],[35]. Sin embargo, y a pesar de los beneficios de obtener un óptimo global, este tipo de aplicaciones dependen en gran medida de una infraestructura de comunicaciones que está sometida a fallos [36] y, adicionalmente, su complejidad computacional puede ser bastante elevada en caso de un despliegue masivo de estaciones de recarga [37]. Por el contrario, los algoritmos de control descentralizados distribuyen la toma de decisiones entre los controladores independientes de las estaciones de recarga. Existen multitud de implementaciones, desde aquellas en las que los controladores, dotados de cierta capacidad de

comunicación, comparten información con sus vecinos [37],[38] a otros más simples que operan basándose exclusivamente en medidas locales [39]. Si se analizan las funciones objetivo que han sido utilizadas para establecer los perfiles de recarga óptimos pueden encontrarse criterios técnicos y económicos. Los objetivos técnicos más comunes son controlar las tensiones dentro de los límites reglamentarios [39] y minimizar las pérdidas de la red [35]. En el caso de los objetivos económicos, se persigue la minimización del coste de operación de la compañía distribuidora [34], el gestor de recarga [38] o el usuario final [40].

- **Tarifas eléctricas con coste variable en el tiempo.** El objetivo de estas estrategias es establecer una política de costes de recarga a través de tarifas variables en el tiempo, que dan al usuario final una señal económica para así modular la recarga de los vehículos [41]. En aquellos momentos del día en el que se prevean congestiones del sistema se impondrán precios elevados, mientras que momentos con poco consumo se reducirá el precio para incentivar la recarga.
- **Utilización de generación renovable distribuida.** Estas estrategias tienen como objetivo reducir la demanda de potencia y energía consumida de la red eléctrica durante la recarga mediante la aportación local de generación [42]. Esta generación podría integrarse en la propia estación de recarga o próxima a ella para, de esta forma, reducir el impacto en la red de distribución.
- **Utilización de sistemas de almacenamiento.** El objetivo de esta estrategia es aplanar la curva de demanda de las estaciones de recarga y reducir la punta de consumo [43]. Nótese que la utilización de sistemas de almacenamiento no disminuye la energía demanda de la red, sino que tan sólo se consigue repartir dicho consumo energético a lo largo del día.
- **Reparto de la demanda de las estaciones de recarga entre varios alimentadores.** Si bien los métodos de reducción de la demanda de las estaciones de recarga son muy interesantes desde el punto de vista del operador de la red de distribución, pues retrasa la inversión en nuevos activos de red, presenta algunos problemas. Por una parte, el aporte de las renovables, como la fotovoltaica, en estaciones de recarga ubicadas en zonas urbanas es discutible debido a la necesidad de disponer de grandes extensiones de terreno para conseguir potencia suficiente. Por otra parte, el coste actual de los sistemas de almacenamiento es una clara barrera económica que dificulta su utilización. Sin embargo, como alternativa, es posible pensar en una solución que se adapta fácilmente a los entornos urbanos. En las ciudades existen multitud de alimentadores de baja tensión que parten de los centros de transformación. La idea es instalar las estaciones de recarga de forma que puedan ser

alimentadas desde varios alimentadores de forma simultánea tal y como se muestra en la figura 5. De esta forma, es posible repartir la demanda de la recarga de los vehículos eléctricos entre los alimentadores en función de la carga que tengan en cada instante [44].

CONCLUSIONES

Este artículo ha presentado una revisión tecnológica de las estaciones de recarga de vehículos eléctricos. Tal y como se ha puesto de manifiesto, existe una necesidad urgente de descarbonizar el sector transporte para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire de núcleos urbanos densamente poblados. Sin lugar a dudas, la transición hacia un modelo de movilidad eléctrica contribuirá a conseguir este objetivo. Sin embargo, para ello es necesario incluir las infraestructuras de recarga necesarias para un parque de vehículos que está en continuo aumento. El modo en que se puede realizar la recarga de los vehículos eléctricos es muy variado, por lo que se ha realizado una revisión de sus aspectos tecnológicos principales, así como una descripción de los estándares y normativas que regulan su conexión a la red eléctrica. En este sentido, y debido al volumen de vehículos eléctricos esperados, el impacto sobre la red eléctrica va a ser considerable. Por estos motivos, el trabajo finaliza con una revisión de las principales estrategias que es posible aplicar para mitigar dicho impacto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud, *¿La herencia de un mundo sostenible? Atlas sobre salud infantil y medio ambiente*. Ginebra, 2018.
- [2] Agencia internacional de la Energía, *Global EV Outlook 2018: Towards crossmodal electrification*.
- [3] J. García-Villalobos, I. Zamora, J.I. San Martín, F.J. Asensio, V. Aperribay, *Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: A review of smart charging approaches*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 38, pp 717-731, 2014.
- [4] Y.J. Jang, *Survey of the operation and system study on wireless charging electric vehicle systems*, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018.
- [5] L. Chen, M. Wu, X. Xu, *The development and applications of charging/battery swap technologies for EVs*, *IEEE 2012 China International Conference on Electricity Distribution*, Shanghai, pp. 1-7, 2012.
- [6] M. Yilmaz, P. T. Krein, *Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles*, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151-2169, May 2013.
- [7] W. Kempton, V. Udo, K. Huber, K. Komara, S. Letendre, S. Baker, D. Brunner, N. Pearre, *A test of vehicle-to-grid (V2G) for energy storage and frequency regulation in the PJM system*, Jan. 2009.
- [8] IEC 61851-1:2017. *Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements*.
- [9] IEC 62196-2:2016. *Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requi-*

rements for a.c. pin and contact-tube accessories.

[10] A. Arcos-Vargas, J.M^o Maza-Ortega, F. Núñez, *Propuestas para el fomento de la movilidad eléctrica: barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar*, Real Academia de Ingeniería de España, 2018.

[11] ISO 15118. *Road vehicles - Vehicle to grid communication interface*

[12] IEC 61851-24. *Electric vehicle conductive charging system - Part 24: Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of DC charging*.

[13] ISO 6469-3. *Electrically propelled road vehicles - Safety specifications. Part 3: Protection of persons against electric shock*.

[14] ISO/FDIS 17409. *Electrically propelled road vehicles - Connection to an external electric power supply - Safety requirements*.

[15] ITC BT-52. *Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos*.

[16] ITC BT-24. *Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos*.

[17] C. Caruso, *Why Range Anxiety for Electric Cars Is Overblown Sustainable Energy*, August 15, 2016.

[18] Grantham Institute. *Expect the unexpected. The Disruptive Power of Low-carbon Technology*. 2017.

[19] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. *Informe sobre la propuesta de planificación de la red de transporte de energía eléctrica 2015-2020*. 15 de abril de 2015.

[20] W.P. Schill, C. Gerbaulet, *Power system impacts of electric vehicles in Germany: Charging with coal or renewables?*, Applied Energy, vol. 156, pp. 185-196, 2015.

[21] P. Hanemann, M. Behner, T. Bruckner, *Effects of electric vehicle charging strategies on the German power system*, Applied Energy, vol. 203, pp. 608-622, 2017.

[22] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, P. M. R. Almeida, *Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System*, Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 1, pp. 168-183, Jan. 2011.

[23] UNE-EN 50160. *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*.

[24] S.F. Abdelsamad, W.G. Morsi, T.S. Sidhu, *Optimal secondary distribution system design considering plug-in electric vehicles*, Electric Power Systems Research, vol. 130, pp. 266-276, 2016.

[25] C. Jiang, R. Torquato, D. Salles, W. Xu, *Method to Assess the Power-Quality Impact of Plug-in Electric Vehicles*. IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 29, no. 2, pp. 958-965, 2014.

[26] J. Gómez, M. Morcos, *Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems*. IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 18, no. 3, pp. 975-981, 2003.

[27] L. Pieltain Fernandez, T. Gomez San Roman, R. Cossent, C. Mateo Domingo, P. Frias, *Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, no. 1, pp. 206-213, Feb. 2011.

[28] A. Gómez-Expósito, A. Arcos-Vargas, J.M^o Maza-Ortega, J.A. Rosendo-Macias, G. Álvarez-Cordero, S. Carillo-Aparicio, J. González-Lara, D. Morales-Wagner, T. González-García, *City-Friendly Smart Network Technologies and Infrastructures: The Spanish Experience*, Proceedings of the IEEE, vol. 106, no. 4, pp. 626-660, April 2018.

[29] S.F. Abdelsamad, W.G. Morsi, T.S. Sidhu, *Optimal secondary distribution system design considering plug-in electric vehicles*, Electric Power Systems Research, vol. 130, pp. 266-276, 2016.

[30] H. Simorgh, H. Doagou-Mojarrad, H. Razmi, G. B. Gharehpetian, *Cost-based optimal siting and sizing of electric vehicle charging stations considering demand response programmes*, IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 12, no. 8, pp. 1712-1720, 30 4 2018.

[31] Y. Xiang, J. Liu, Y. Liu, *Optimal active distribution system management considering aggregated plug-in electric vehicles*, Electric Power Systems Research, vol. 131, 2016.

[32] H. Xu, S. Miao, C. Zhang, D. Shi, *Optimal placement of charging infrastructures for large-scale integration of pure electric vehicles into grid*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 53, pp. 159-165, 2013.

[33] P. M. de Quevedo, G. Muñoz-Delgado, J. Contreras, *Impact of Electric Vehicles on the Expansion Planning of Distribution Systems considering Renewable Energy, Storage and Charging Stations*, IEEE Transactions on Smart Grid, Early Access.

[34] N. Bañol Arias, J.F. Franco, M. Lavorato, R. Romero, *Metaheuristic optimization algorithms for the optimal coordination of plug-in electric vehicle charging in distribution systems with distributed generation*, Electric Power Systems Research, vol. 142, pp. 351-361, 2017.

[35] K.K. Mehmood, S.U. Khan, S. Lee, Z. Haider, M.K. Rafique, C. Kim, *A real-time optimal coordination scheme for the voltage regulation of a distribution network including an OLTC, capacitor banks, and multiple distributed energy resources*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 94, pp. 1-14, 2018.

[36] A. Marano-Marcolini M. Barragán-Villarejo, Anna Fragkioudaki, J.M^o Maza-Ortega, E. Romero-Ramos, A. de la Villa-Jaén, C. Carmona-Delgado, *DC Link Operation in Smart Distribution Systems With Communication Interruptions*, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2962-2970, Nov. 2016.

[37] E. L. Karfopoulos and N. D. Hatzigiorgiou, *A Multi-Agent System for Controlled Charging of a Large Population of Electric Vehicles*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 2, pp. 1196-1204, May 2013.

[38] I. Grau Unda, P. Papadopoulos, S. Skavelis-Kazakos, L.M. Cipcigan, N. Jenkins, E. Zabala, *Management of electric vehicle battery charging in distribution networks with multi-agent systems*, Electric Power Systems Research, vol. 110, pp. 172-179, 2014.

[39] J.E. Cardona, J.C. López, M.J. Rider, *Decentralized electric vehicles charging coordination using only local voltage magnitude measurements*, Electric Power Systems Research, vol. 161, pp. 139-151, 2018.

[40] R. Jalilzadeh Hamidi, H. Livani, *Myopic real-time decentralized charging management of plug-in hybrid electric vehicles*, Electric Power Systems Research, vol. 143, pp. 522-532, 2017.

[41] Y. Cao et al., *An Optimized EV Charging Model Considering TOU Price and SOC Curve*, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 388-393, March 2012.

[42] G.R. Chandra Mouli, P. Bauer, M. Zeman, *System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces*, Applied Energy, vol. 168, pp. 434-443, 2016.

[43] S. Bai and S. M. Lukic, *Unified Active Filter and Energy Storage System for an MW Electric Vehicle Charging Station*, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 12, pp. 5793-5803, Dec. 2013.

[44] F.P. García-López, M. Barragán-Villarejo, J.M^o Maza-Ortega, A. Gómez Expósito, *Multiterminal electrical charging station for LV networks*. IEEE PowerTech, Eindhoven, 2015.

ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

PABLO FRÍAS MARÍN

Instituto de Investigación Tecnológica IIT-ICAI

CARLOS DE MIGUEL PERALES

Facultad de derecho ICADE

Universidad Pontificia de Comillas

El proceso de desarrollo de una nueva tecnología como el vehículo eléctrico no está exento de tener un impacto medioambiental en todo su ciclo de vida, desde la construcción de los distintos componentes, su uso como medio de transporte, hasta la fase última de destrucción y reciclaje. Durante su vida útil se hace uso de distintos recursos (litio o cobalto en la fabricación de las baterías, gas natural para producir la energía almacenada en las

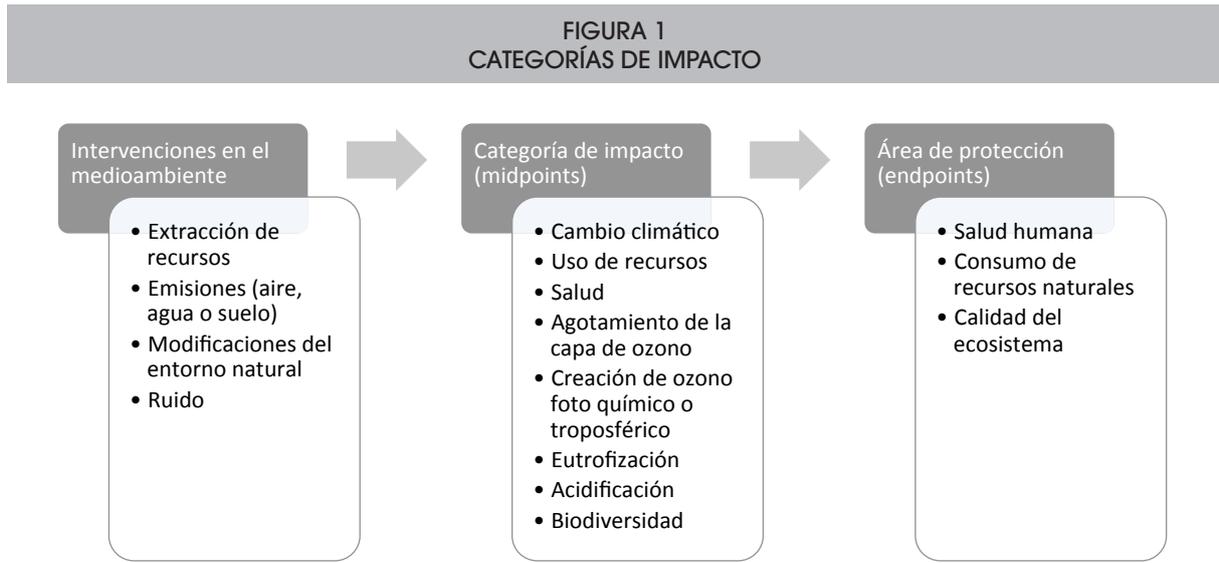
mismas), y se producen impactos ambientales (por ejemplo, derivados de las emisiones precisas para que el vehículo transite). En este artículo se analiza la huella ecológica del coche eléctrico durante su vida, en comparación con un vehículo de combustión tradicional, y presenta las principales normas que regulan el impacto medioambiental del mismo en España.

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO ↓

La metodología de análisis de ciclo de vida (también conocida como LCA) es una herramienta que nos permite evaluar de forma cuantitativa el impacto medioambiental de la fabricación y uso los productos, y por tanto permite comparar distintas tecnologías, en este caso el vehículo eléctrico («VE») frente al vehículo de combustión («VC»). De esta forma se podrá analizar la cantidad de material, energía usada, emisiones y desechos de la cadena completa de producción (Curran 1996). Además, esta herramienta tiene el potencial de identificar aquellos procesos críticos desde

el punto de vista medioambiental (Cliff 2006). Para el análisis del ciclo de vida de un vehículo se van a considerar tres etapas: (1) extracción, procesado y fabricación, (2) uso y (3) fin de vida o desguace.

Esta herramienta consta básicamente de dos pasos: en primer lugar es preciso realizar un inventario detallado del uso de los recursos materiales como energéticos, además de las emisiones y desperdicios. A continuación, se procede al cálculo detallado de las emisiones y extracción de recursos, que a su vez se traducen en unos valores de los denominados factores de caracterización medioambientales. Este proceso de cálculo también se conoce como ReCiPe, y se basa en el cálculo de 18 indicadores intermedios y 3 indicadores totales o de alto nivel. El detalle de las distintas categorías donde es preciso analizar el impacto se muestra en la figura 1, donde los indicadores intermedios analizan problemas medioambientales concretos, tales como uso del agua o acidificación del terreno, mientras que los indicadores finales muestran el impacto en tres aspectos: efecto en la salud humana, biodiversidad y escasez de recursos.



Fuente: UNEP 2011

En nuestro ordenamiento jurídico la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados contempla el concepto de ciclo de vida en distintos artículos. Destacamos dos:

- Como justificación para adoptar un orden distinto de prioridades de la jerarquía de residuos para conseguir el mejor resultado medioambiental global en determinados flujos de residuos, teniendo en cuenta los principios generales de precaución y sostenibilidad, viabilidad técnica y económica, protección de los recursos, así como el conjunto de impactos medioambientales sobre la salud humana, económicos y sociales (artículo 8).
- Como contenido de obligaciones que pueden imponerse a los productores de determinados productos en aplicación del régimen de responsabilidad ampliada del productor del producto (artículo 31.2.a).

Interesa citar también la Comunicación de la Comisión UE al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones «Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular» (Bruselas, 2.12.15, COM(2015) 614 final), que se refiere a una economía más circular, en la cual el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos.

Ya antes se había publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea de 4.5.13, L 124, la Recomendación de la Comisión UE de 9 de abril de 2013 sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida. Esta Recomendación promueve el uso de los métodos

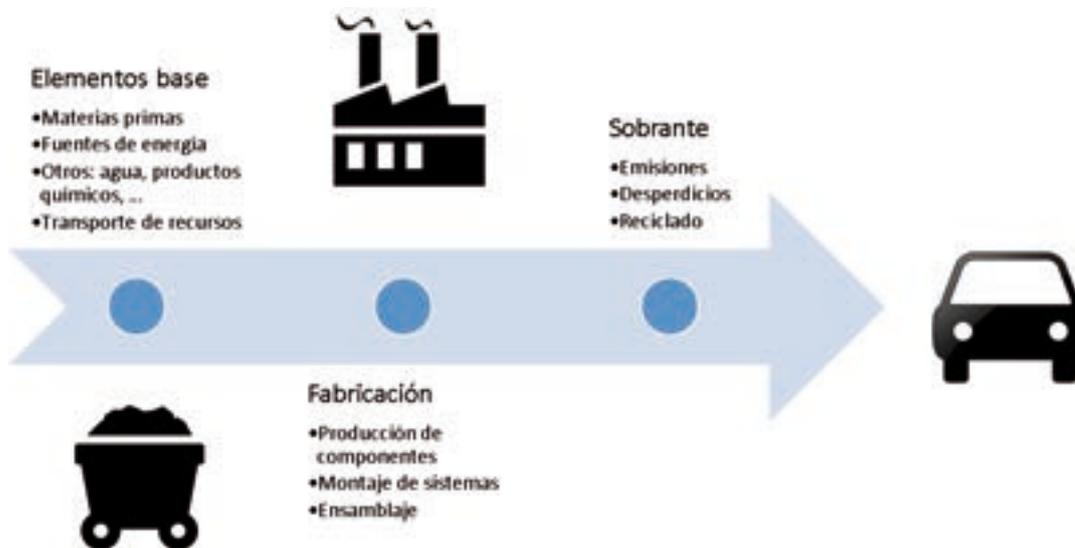
de huella ambiental en las políticas pertinentes y en los sistemas relacionados con la medición o comunicación del comportamiento ambiental de los productos u organizaciones en el ciclo de vida.

A continuación se hace una descripción de los distintos componentes que necesitan considerarse en las tres etapas antes citadas (extracción, procesado y fabricación; uso; y fin de vida o desguace). Donde proceda se harán las referencias legales que resulten pertinentes, que se referirán a España y serán forzosamente generales dada la naturaleza de este trabajo. Debe avanzarse que la legislación ambiental en España es completa y que cubre todos los aspectos que pueden referirse a estas tres etapas. Cosa distinta es que deba adaptarse, según se estime oportuno en cada momento por el legislador, a los casos concretos del VC y del VE según las tecnologías y los requerimientos de protección ambiental vayan evolucionando. Lo importante es aplicar el enfoque del ciclo de vida que se ha apuntado; solo así se puede asegurar una protección ambiental integral y coherente.

FABRICACIÓN ↓

Para analizar el detalle del proceso de fabricación de un vehículo supondremos tres niveles de desagregación: componentes, que se integran en sub-sistemas y a su vez se agregan en unidades. En concreto para los vehículos, independientemente de la tecnología, se pueden distinguir dos grandes unidades: el tren de potencia (que en los vehículos eléctricos consistirá en la batería y el motor eléctrico, y en los coches de combustión en el motor de térmico de combustión) y la estructura del coche. Se puede asumir que la estructura del coche es independiente de la tecnología de propulsión usada y por tanto no se entrará en un análisis detallado de la misma, aunque se puede consultar el detalle de su ciclo de vida en (Ecoinvent 2014).

FIGURA 2
PRINCIPALES ELEMENTOS EN LA FASE DE PRODUCCIÓN DE UN VE



Fuente: Del Duce 2013

Los principales elementos asociados a la fabricación del VE se resumen en la Figura 2, donde la producción de los distintos componentes y el ensamblaje de estos precisa de uso de materias primas (acero, aluminio, cobre, etc.), energía (electricidad), accesorios (agua, productos químicos, etc.) y transporte de los componentes o recursos. Durante este proceso habrá emisiones, desperdicios y reciclaje de los mismos.

La batería de un VE consta de 4 sub-sistemas: sistema de refrigeración, celdas, estructura y controlador (también conocido como Battery Management System BMS). Una distribución típica del peso entre estos sub-sistemas es del 4.1 %, 60.1%, 32.1% y 3.7% respectivamente (Ellingsen *et al.* 2014).

El sistema de refrigeración consta a su vez de varios componentes: radiador, colectores, elementos de sujeción, almohadilla térmica y refrigerante. El material principal es el aluminio en el radiador que supone el 30% de todo el aluminio en la batería.

Por su parte, la batería consta de distintos módulos y cada módulo se compone de varias celdas; por ejemplo el Nissan Leaf dispone de 48 módulos y 192 celdas en total. Los componentes básicos serían el ánodo y cátodo, donde el ánodo el componente donde se produce la reacción de oxidación (pérdida de electrones) y el cátodo donde se produce la reacción de reducción (adquisición de electrones), siendo este movimiento de electrones el que da lugar al flujo eléctrico que alimenta al motor. La composición del cátodo de las baterías de Ión-Litio pueden ser muy diversas: con Manganeso LiMn_2O_4 (LMO), Fosfato de Hierro LiFePO_4 (LFP), Cobalto $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$, o mezcla de varios $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$ (NCM) entre otras (Goodenou-

gh and Park 2013). Por su parte el ánodo suele ser de base carbono o litio – titanato.

La fabricación de una celda de combustible requiere de energía, para el recubrimiento de los electrodos, la soldadura de los colectores de corriente a las pestañas, el llenado del electrolito y la carga inicial de la celda terminada. No obstante, el consumo principal en el proceso de fabricación de la batería está normalmente en el sistema de refrigeración de los cuartos secos de la fábrica que permiten garantizar la calidad de las celdas de la batería, (Ellingsen *et al.* 2014).

Por su parte, las dos tecnologías de motores eléctricos usadas para la tracción del VE son los motores síncronos y asíncronos, cuyo uso es del 83% y 11% respectivamente, quedando un 6% de ventas para VE que montan ambos motores (IDTechEx, 2014). El mayor uso de motores síncronos se debe a que disponen de una mayor densidad de potencia y eficiencia que los asíncronos. Desde el punto de vista constructivo ambos motores constan de una estructura de hierro fundido o aluminio, de un bloque de chapa magnética y de devanados de cobre o aluminio, y la principal diferencia entre ambos es que los motores síncronos disponen de imanes permanentes. Éstos se construyen usando las denominadas «tierras raras», tales como el neodimio. Actualmente la extracción de estos minerales se concentra en determinadas zonas geográficas como China (Le Petit 2017), lo que hace de los mismos caros, de precios volátiles, y cuya disponibilidad en el medio plazo no está asegurada. En la tabla 1 se muestra la comparativa de dos tecnologías de motores de tracción tanto en pesos como en costes del material de los distintos componentes.

TABLA 1
COMPARATIVA DEL PESO Y COSTE DE MOTORES DE 50kW TRACCIÓN ELÉCTRICA

Material y componente	Motor de inducción		Motor de imanes permanentes	
	Peso (kg)	Coste (€)	Peso (kg)	Coste (€)
Estator (cobre)	9.1	54.5	4.5	26.4
Acero/chapa	24	20.4	24	20.4
Rotor (jaula/imanes)	8.4	50.2	1.3	170-468
Sobrecoste del inversor	0	42.6	0	0
TOTAL	41.5	138	29.8	217-515

Fuente: Burnell 2013

Por último, el sistema de control que gestiona el uso de las baterías y el motor eléctrico según las necesidades de conducción está principalmente constituido por placas de control y electrónica de potencia, cuyos componentes son muy similares a los que podríamos encontrar en un ordenador doméstico.

Desde el punto de vista de la normativa, habrá numerosísimas normas internacionales, europeas, nacionales, autonómicas y locales que pretenden proteger el medio ambiente que resultarán de aplicación a cada caso concreto de fabricación. Por solo citar algunas de las importantes a nivel nacional, puede hacerse referencia a las siguientes:

(i) Real Decreto Legislativo 1/2016, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación. Esta norma tiene por objeto evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto (artículo 1). Se aplica a las instalaciones de titularidad pública o privada en las que se desarrolle alguna de las actividades industriales incluidas en las categorías enumeradas en el anejo 1, con excepción de las instalaciones o partes de las mismas utilizadas para la investigación, desarrollo y experimentación de nuevos productos y procesos (artículo 2), sujetándolas a una autorización ambiental integrada y a otras obligaciones que se incluyen en la norma.

De entre las actividades sujetas a esta autorización se encuentran, por ejemplo, ciertas instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal total igual o superior a 50 MW (apartado 1.1 del anejo 1), ciertas instalaciones para la transformación de metales ferrosos (apartado 2.3), instalaciones para la fabricación de vidrio (incluida la fibra de vidrio) con una capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día (apartado 3.3), instalaciones químicas para la fabricación de productos químicos orgánicos e inorgánicos (apartados 4.1 y 4.2), instalaciones para la valorización o eliminación de residuos peligrosos con una capacidad de más de 10 toneladas por

día que realicen determinadas actividades (apartado 5.1), e instalaciones para tratamiento de superficie de materiales, de objetos o productos con utilización de disolventes orgánicos (en particular para aprestarlos, estamparlos, revestirlos y desengrasarlos, impermeabilizarlos, pegarlos, enlazarlos, limpiarlos o impregnarlos) con una capacidad de consumo de disolventes orgánicos de más de 150 kg de disolvente por hora o más de 200 toneladas/año (apartado 10.1).

(ii) Ley 21/2013, de evaluación ambiental. Entre otras cosas, esta ley establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente mediante la integración de los aspectos medioambientales en la elaboración y autorización de dichos proyectos; el análisis y la selección de las alternativas que resulten ambientalmente viables; el establecimiento de las medidas que permitan prevenir, corregir y, en su caso, compensar los efectos adversos sobre el medio ambiente; y el establecimiento de las medidas de vigilancia, seguimiento y sanción necesarias (cf. artículo 1).

Entre otros, quedan sujetos a esta Ley proyectos tales como algunos referidos a la industria extractiva (grupo 2), la industria energética (grupo 3), y plantas integradas para la fundición inicial del hierro colado y del acero (apartado 4.b).

Asimismo, esta ley establece los principios que informarán el procedimiento de evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos.

(iii) Ley 34/2007, de calidad del aire y protección de la atmósfera. Esta ley tiene por objeto establecer las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza (artículo 1). Se aplica a todas las fuentes de los contaminantes relacionados en el anexo I correspondientes a las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera enumeradas en el anexo IV ya sean de titularidad pública o privada.

Pueden así citarse como contaminantes relacionados en el anexo I óxidos de azufre y otros compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno y otros compuestos de nitrógeno, óxidos de carbono, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos persistentes, metales y sus compuestos, y material particulado (incluidos PM10 y PM2,5).

De entre las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera enumeradas en el anexo IV cabe citar a título de ejemplo los procesos industriales con combustión, que incluyen calderas, turbinas de gas, motores y otros; hornos de procesos sin y con contacto; procesos industriales sin combustión (por ejemplo, industria del hierro y el acero y en las coque-rías, industria de metales no féreos, industria química orgánica), industria y uso de materias minerales, la producción de baterías o acumuladores, y la distribución de gasolina.

Nótese por último que de acuerdo con la disposición adicional séptima de esta Ley el Gobierno elaborará una ley de movilidad sostenible que incluirá la obligación de la puesta en marcha de planes de transporte de empresa que reduzcan la utilización del automóvil en el transporte de sus trabajadores, fomenten otros modos de transporte menos contaminantes y contribuyan a reducir el número y el impacto de estos desplazamientos. En relación con esta disposición debe mencionarse la Ley 2/2011, de economía sostenible, cuyos artículos 99 a 106 se refieren a la movilidad sostenible, y regulan cuestiones tales como los principios en materia de movilidad sostenible y los objetivos de la política de movilidad sostenible (artículos 99 y 100), y los planes de movilidad sostenible (artículos 101 y 102).

(iv) Real Decreto Legislativo 1/2001, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Esta Ley tiene por objeto regular el dominio público hidráulico («DPH»), el uso del agua y el ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho dominio en el marco de las competencias delimitadas en el artículo 149 de la Constitución; también es objeto de esta Ley el establecimiento de las normas básicas de protección de las aguas continentales, costeras y de transición. Incluye entre otras normas sobre la administración pública del agua, la planificación hidrológica y la utilización del DPH (por ejemplo, concesión para tomar agua y autorización para verter aguas residuales).

(v) Ley 1/2005, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Esta Ley tiene por objeto la regulación del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, para fomentar reducciones de sus emisiones de una forma eficaz y de manera económicamente eficiente. Se aplica a las emisiones de los gases incluidos en el anexo I (dióxido de carbono, perfluorocarburos, óxido nitroso) generadas por las actividades a las que se refiere dicho anexo, tales

como la combustión en instalaciones con una potencia térmica nominal superior a 20 MW; la producción de arrabio o de acero (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de colada continua de una capacidad de más de 2,5 toneladas por hora; la producción y transformación de metales féreos (como ferroaleaciones) cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal total superior a 20 MW; y la fabricación de vidrio incluida la fibra de vidrio, con una capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día.

Además de estas normas, a los efectos de este trabajo interesa destacar el Real Decreto 20/2017, de 20 de enero, sobre los vehículos al final de su vida útil, que tiene por objeto establecer medidas destinadas a la prevención de la generación de residuos procedentes de vehículos y a la recogida, a la preparación para la reutilización, al reciclado y otras formas de valorización de los vehículos al final de su vida útil, incluidos sus componentes, para así reducir la eliminación de residuos y mejorar la eficacia en la protección de la salud humana y del medio ambiente a lo largo del ciclo de vida de los vehículos (artículo 1).

En este contexto, este Real Decreto impone, entre otras, las siguientes obligaciones a los productores de vehículos (artículo 4):

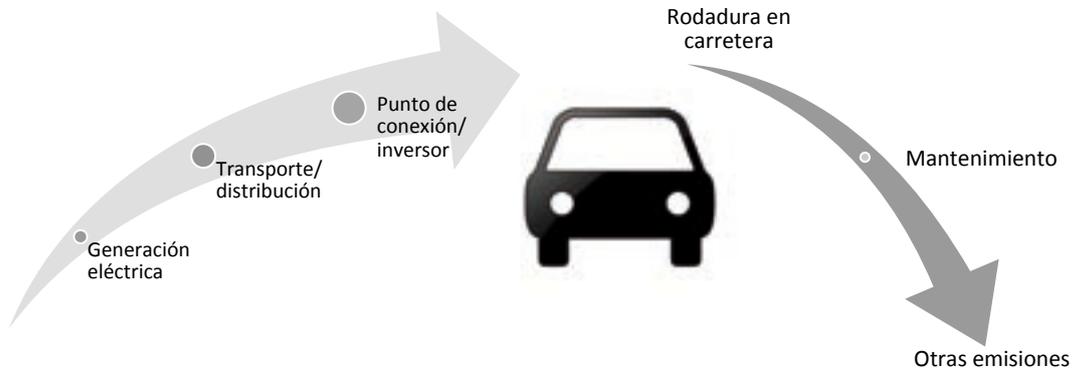
- Diseñar, en colaboración con los fabricantes de materiales y equipamientos, los distintos elementos de los vehículos de forma que en su fabricación se limite el uso de sustancias peligrosas. A tal efecto, queda prohibida la utilización de plomo, mercurio, cadmio y cromo hexavalente en los materiales y componentes de los vehículos (con algunas exenciones, condiciones y fechas que figuran en el anexo I del Real Decreto).
- Diseñar y fabricar los vehículos y los elementos que los integran de forma que se facilite la reutilización, el desmontaje, la descontaminación, la preparación para la reutilización y la valorización de los vehículos al final de su vida útil, y se favorezca la integración en los nuevos modelos de materiales y componentes reciclados.
- Utilizar normas de codificación de las piezas de los vehículos que permitan la adecuada identificación de los componentes que sean susceptibles de reutilización o valorización.

USO ¶

En esta segunda fase, se consideran las emisiones debidas al uso de éste (emisiones directas) y también las emisiones asociadas a la producción del combustible (emisiones indirectas), que de forma resumida se muestran en la figura 3.

Las emisiones directas de un vehículo tienen que contemplar las emisiones directas del combustible, las asociadas a la rodadura, y las correspondientes a las distintas tareas de mantenimiento del mismo.

FIGURA 3
EMISIONES ASOCIADAS AL USO DEL VE



Fuente: del Duce 2013

El proceso de mantenimiento predictivo de un VE frente a un VC es mucho más reducido. En ambos casos será necesario llevar una revisión periódica de elementos como líquidos de freno y refrigeración, así como el filtro de aire del habitáculo; no obstante, en el VE no es necesario incluir cambios de aceite (motor o caja de cambios), así como los filtros de aceite, aire, carburante, o las correas de distribución y elementos accesorios. Por su parte la batería del VE no requiere mantenimiento, dado que en su mayoría los fabricantes ofrecen esquemas de alquiler o incluso garantía de largo plazo de las mismas. Esto hace que el mantenimiento del VE sea en torno a un 40% menor que el VC (Raustad 2017).

Por su parte, el mantenimiento correctivo, asociado a las posibles averías, es notablemente inferior en el VE, dado que el motor eléctrico, al disponer de menos elementos mecánicos, es mucho más simple y robusto que un motor de combustión tradicional, evitando problemas tradicionales asociados a la posible rotura de correa de distribución, problemas en los inyectores, catalizador, caudalímetro, etc.

Respecto a las emisiones indirectas asociadas al consumo de energía eléctrica del VE hay que tener en cuenta tanto la generación como su transporte hasta el punto de consumo. Por un lado depende de las tecnologías de generación que producen en cada momento la energía eléctrica, donde la generación de origen renovable es libre de emisiones de CO₂ mientras que las tecnologías térmicas no lo son. Esta energía es transportada por las redes eléctricas de transporte y distribución eléctrica hasta los puntos de carga, y en este proceso hay unas pérdidas promedio del 15%. Si consideramos el proceso completo de generación a punto de consumo, en países como España (con un mix tecnológico en parte renovable), habría unas emisiones medias de 0.44 ton CO₂/MWh, mientras que otros países como Polonia con un mix más térmico las emisiones ascenderían a 1.91 ton CO₂/MWh (JRC 2017). Por último, el consumo de energía en la batería

de un VE depende del número de ciclos y vida útil de la misma, siendo razonable considerar una vida útil de 150.000 km (Notter *et al.* 2010) y un consumo promedio de 17kWh cada 100km, suponiendo una eficiencia del tren de potencia del 80%.

Las emisiones de partículas están asociadas tanto a la combustión en el caso de los VC como al propio movimiento del coche. En concreto hasta un 90% de las partículas PM10 y un 85% de las partículas PM2,5 (inferiores o iguales a un diámetro de 10 y 2,5 micras respectivamente) se debe a factores ajenos a la propia combustión en el motor (Timmers 2016). Éstas se generan por el desgaste de los frenos, o por el contacto de la banda de rodadura con el asfalto, que desgasta las superficies del firme y el neumático y levanta las partículas.

Por lo que se refiere a la regulación sobre emisiones de vehículos debe citarse el Reglamento (CE) No 443/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros. De cara a futuro será preciso que la normativa que se dicte tenga en cuenta las emisiones asociadas al uso de vehículos de una forma holística: el hecho de que un VE no genere emisiones directamente no significa que su uso no las genere. La electricidad precisa para que ese VE se mueva se producirá en una planta en algún sitio, y esa planta generará emisiones que sin el uso de ese VE no se hubieran producido; por tanto, esas emisiones deberían imputarse al uso de ese VE.

FIN DE LA VIDA ÚTIL ↓

Cuando el vehículo termina su vida útil, se inicia un proceso de desmontaje y reciclado de sus distintos componentes, tal como se resumen la figura 4. En el proceso de reciclado de los VEs los componentes de

FIGURA 4
PRINCIPALES PROCESOS EN EL FINAL DEL CICLO DE VIDA DEL VE



Fuente: elaboración propia

valor son aquellos que tiene partes de metal, como el níquel, cobalto, manganeso, aluminio, cobre o acero. El acero se encuentra principalmente en la estructura de los coches, mientras que los otros componentes se suelen encontrar en el sistema de las baterías. El reciclado de cada metal precisa en muchos casos mucha energía para dicho proceso.

Respecto a la batería, el proceso parte de un horno piro-metalúrgico, cuyo objetivo es recuperar el cobalto y/o níquel. Mientras que el Cobalto se encuentra típicamente en las baterías ion litio e ion-polímetro, el níquel pertenece a la tecnología NiMH (Umicore 2015).

La escoria está formada principalmente por compuestos de Aluminio, Silicio, Calcio, Hierro y también óxido de Litio. Esta escoria puede reciclarse como aditivo en la construcción o el cemento (Vadenbo 2009).

De acuerdo con el Real Decreto 20/2017 antes citado, los fabricantes tienen, además de las obligaciones antes referidas, las siguientes (artículo 4):

- Proporcionar a los gestores de vehículos al final de su vida útil la oportuna información para el desmontaje que permita la identificación de los distintos componentes y la localización de sustancias peligrosas, así como su adecuado tratamiento. Dicha información se facilitará, en el soporte que en cada caso se estime conveniente, en el plazo máximo de seis meses a partir de la puesta en el mercado de cada nuevo tipo de vehículo.
- Informar a los consumidores sobre los criterios de protección del medio ambiente tomados en consideración tanto en la fase de diseño y fabricación del vehículo como los adoptados para garantizar un correcto tratamiento ambiental al final de su vida útil; esta información se pondrá

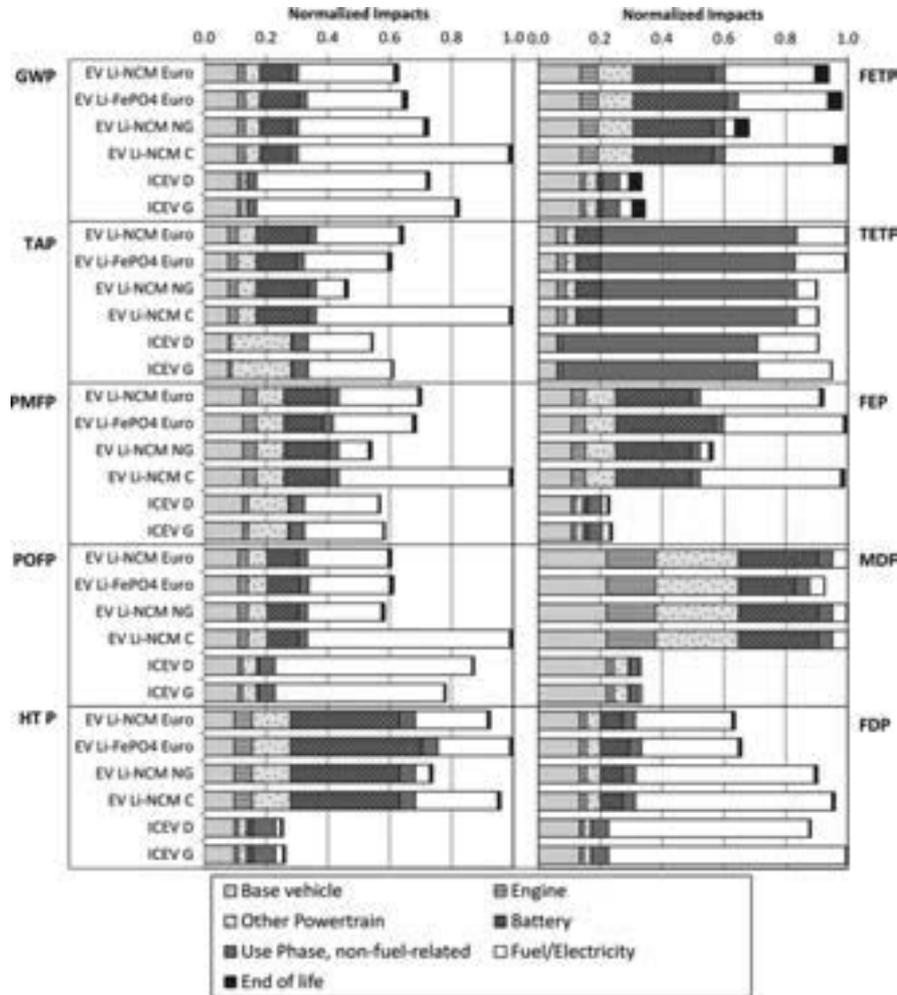
a disposición de los posibles compradores y se recogerá en el material publicitario que se utilice en la comercialización de vehículos. Entre otras cuestiones, los fabricantes deberán informar sobre:

1. El diseño de los vehículos y de sus componentes con vistas a su aptitud para la valorización.
2. El tratamiento correcto, por lo que respecta al medio ambiente, de los vehículos al final de su vida útil, en particular sobre la forma de retirar todos los líquidos y de desmontaje.
3. El desarrollo y optimización de las formas de preparar para la reutilización, de reciclar y de valorizar los vehículos al final de su vida útil y sus componentes.
4. Los avances logrados en cuanto a la valorización y el reciclado para reducir los residuos que hay que eliminar y en cuanto al aumento de los niveles de valorización y reciclado.

El Real Decreto incluye otras normas, tales como las que regulan las obligaciones relativas a la entrega y recogida de los vehículos para su tratamiento (artículo 5) y las instalaciones y operaciones de tratamiento (artículo 7). Destacamos las siguientes:

- Los agentes económicos (productores, concesionarios, distribuidores, compañías de seguros, instalaciones de recepción, talleres de reparación, CAT - centros autorizados para el tratamiento de los vehículos al final de su vida útil -, instalaciones de fragmentación, posfragmentación y otros gestores autorizados) deben cumplir, en el ámbito de su actividad, los objetivos de preparación para la reutilización, reciclado y valorización siguientes: un porcentaje total de preparación para la reutiliza-

FIGURA 5
IMPACTO NORMALIZADO DEL VEHÍCULO



(Global warming (GWP), terrestrial acidification (TAP), particulate matter formation (PMFP), photochemical oxidation formation (POFP), human toxicity (HTP), freshwater eco-toxicity (FETP), terrestrial eco-toxicity (TETP), freshwater eutrophication (FEP), mineral resource depletion (MDP), fossil resource depletion (FDP))

Fuente: Hawkins 2012

ción y valorización de al menos del 95 por 100 del peso medio por vehículo y año, y un porcentaje total de preparación para la reutilización y reciclado de al menos del 85 por 100 del peso medio por vehículo y año (artículo 8.1).

- Los CAT, además, cumplirán los siguientes objetivos: a partir del 1 de febrero de 2017 recuperarán para su preparación para la reutilización, y comercializarán piezas y componentes de los vehículos que supongan, al menos, un 5 % del peso total de los vehículos que traten anualmente; a partir del 1 de enero de 2021 recuperarán para su preparación para la reutilización, y comercializarán piezas y componentes de los vehículos que supongan, al menos, un 10 % del peso total de los vehículos que traten anualmente; y a partir del 1 de enero de 2026 recuperarán para su preparación para

la reutilización, y comercializarán piezas y componentes de los vehículos que supongan, al menos, un 15 % del peso total de los vehículos que traten anualmente (artículo 8.2).

- Los productores de vehículos garantizarán y en su caso financiarán la adecuada recogida y tratamiento de los vehículos al final de su vida útil. En concreto: cuando el vehículo al final de su vida útil tenga un valor negativo de mercado, el productor del vehículo sufragará dicho coste o se hará cargo directamente del tratamiento del vehículo (artículo 9.1).
- Los productores de vehículos, por sí mismos o junto con otros agentes económicos, garantizarán la disponibilidad de instalaciones de recogida en todo el territorio nacional (artículo 9.2).

CONCLUSIONES ↓

A modo de conclusión se incluye una comparativa entre los VE y los VC en función de sus impactos normalizados en su ciclo de vida en 10 categorías. En la figura 5 (Hawkins, 2012) se presentan los resultados que comparan vehículos del mismo segmento utilitario medio, tanto el VE (con baterías litio níquel cobalto manganeso LiNCM o litio hierro fosfato LiFePO4 con suministro eléctrico promedio europeo, LiNCM sólo energía eléctrica producida con gas natural G o con carbón C) propulsados por motor térmico (ICEV G gasolina o ICEV D diesel).

Según estos resultados el VE tiene un impacto medioambiental, que se centra en la fase de fabricación de las baterías y el motor, mientras que el impacto del VC se produce fundamentalmente en su uso. Eso hace que el VE suministrado con un mix de generación europeo promedio permitiría reducir hasta un 24% el impacto sobre el calentamiento global en comparación con el VC (Hawkins, 2012) (Messagie, 2014).

Sin perjuicio de que en las tres etapas (fabricación, uso, fin de vida) se han dado avances notables para reducir los impactos ambientales, no cabe duda de que el futuro pasa por ser aún más exigente, en línea con los nuevos requerimientos derivados de la economía circular - que debe afectar obviamente a toda la economía y a toda la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA ↓

- Ager-Wick L and Hammer A (2017) *Life cycle assessment of electric vehicles*, 12th Concaawe Symposium.
- Baumann H, Tillman A-M (2004) *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund, Sweden, Studentlitteratur
- Burnell (2013) *Performance/cost comparison of induction-motor & permanent-magnet-motor in a hybrid electric car* Malcolm Burwell – International Copper Association James Goss, Mircea Popescu - Motor Design Ltd July 2013 – Tokyo
- Cliff R (2006) *Sustainable development and its implications for chemical engineering*. Chem Eng Sci 61:4179–4187.
- Curran M A (1996) *Environmental life-cycle assessment*. New York: McGraw Hill Professional.
- Del Duce A, et al (2013) *ELCAR Guidelines for the LCA of electric vehicles*, Deliverable 2.1 of E-mobility Life Cycle Assessment Recommendations, FP7 EU Project.
- Ecoinvent Centre (2010) *Ecoinvent data and reports*, v2.2, Dübendorf Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Ellingsen LA-W, Majeau-Bettez G, Singh B, et al (2014) *Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack*. J Ind Ecol 18:113–124.
- Hawkins T R et al (2012), *Comparative Environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles*, Journal of Industrial Ecology, vol 17, no. 1.
- IDTechEx (2014) *Electric Motors for Electric Vehicles 2013-2023: Forecasts, Technologies, Players*
- JRC (2017) *CoM Default Emission Factors for the Member*

States of the European Union Dataset Version 2017

Le Petit Yoann (2017) *Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability*, Transport & Environment

Messagie Maarten (2014) *Life cycle analysis of the climate impact of electric vehicles*, Transport & Environment

Notter DA, Gauch M, Widmer R, et al (2010) *Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles*. Environ Sci Technol 44:6550–6.

Raustad R. (2017) *Electric Vehicle Life Cycle Cost Analysis*, EVTC Electric Vehicle Transportation Center, Feb. 2017.

Tagliaferri C. et al (2016), *Life cycle assessment of future electric and hybrid 1 vehicles: a cradle-to-grave systems engineering approach*, Chemical Engineering Research and Design, vol 112, 298-309, Elsevier

Umicore (2015) *Battery recycling*. http://www.umicore.com/en/industries/automotive/umicore-battery_recycling/. Accessed 14 Sep 2015

UNEP (2011) *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases. A basis for Greener Processes and Products*; United Nations Environment Programme

Vadenbo C (2009) *Prospective Environmental Assessment of Lithium Recovery in Battery Recycling*.

VRJH Timmers, PAJ Achten (2016) *Non-exhaust PM emissions from electric vehicles*, Atmospheric Environment, 2016 – Elsevier, vol. 134.

ANÁLISIS COMPARATIVO A NIVEL INTERNACIONAL DE LA EXPANSIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

FERNANDO NÚÑEZ HERNÁNDEZ

ÁNGEL ARCOS-VARGAS

Universidad de Sevilla

En los últimos años, el vehículo eléctrico, ha pasado de ser una curiosidad técnica, a una alternativa de transporte válida para la mayor parte de los usuarios. Este hecho, se constata con el más del millón de vehículos eléctricos que se pusieron en circulación en el año 2017, alcanzado un parque total de más de tres millones de vehículos, habiendo experimentado un incremento del 50%, con respecto a los valores de 2016 (*Global EV Outlook*, 2018). Este

crecimiento puede explicarse en parte por la mejora tecnológica y la disminución de los costes asociados, presentando, en la actualidad, en muchos países, un coste total para el propietario inferior en muchos países (por ejemplo, en Europa), siendo por tanto una alternativa eficiente, económica y medioambientalmente (UBS, 2017).

Los factores tecnológicos pueden explicar la evolución global, pero se aprecian importantes diferencias entre países relativamente próximos, como son el caso de Noruega, con una participación de los vehículos eléctricos cercana al 40%, frente a España, Italia y Grecia, cuya participación no alcanza el 1%. (Ver figura 1)

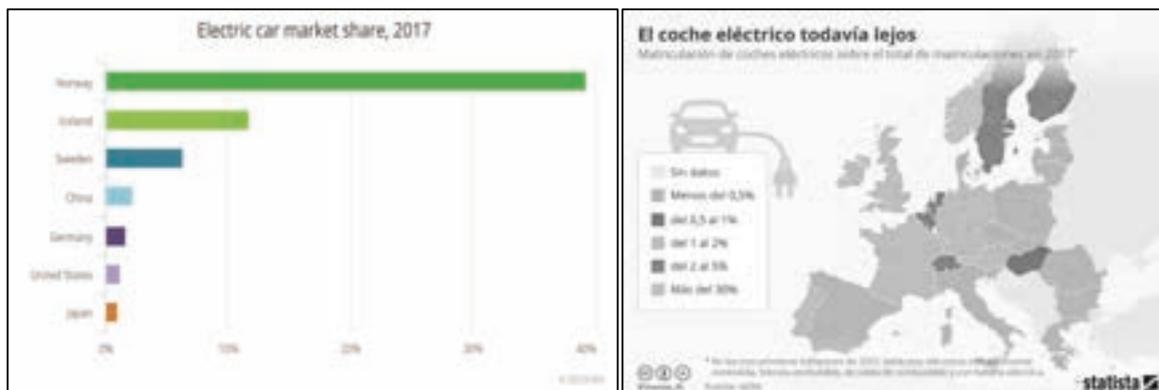
El presente artículo tiene por objetivo explorar las causas que determinan estas diferencias entre países, mediante el análisis econométrico. Para ello, además de estimar el efecto de las variables tecnológicas (coste de la batería y densidad de carga), que se pueden asumir comunes para todos los países, se incluyen como variables explicativas la dotación de infraestructura de recarga para cada país, que es la variable que

más afecta a los usuarios, a la hora de tomar la decisión de adquirir un vehículo eléctrico.

Los resultados del análisis, además de proporcionar una estimación del impacto que tendría una variación en las variables consideradas (coste de la batería, densidad de carga, número de cargadores rápidos y número de cargadores lentos), presenta un análisis de los efectos individuales de cada país, lo que da una idea de su nivel de eficiencia con la misma dotación de infraestructuras. Estos efectos individuales, se contrastan con las políticas industriales de cada país (de promoción de mercado y de promoción de infraestructura), lo que permitirá, de una forma cualitativa, hacer recomendaciones de las mismas.

Aunque recientemente se ha publicado el informe de la Agencia Internacional de la Energía *Global EV Outlook* 2018, con datos de 2017, para el análisis econométrico se ha usado el correspondiente al año 2016, ya que fue el último año en el que aparecían desglosados España e Italia que, como se ha mencionado anteriormente, son países de muy bajo nivel de

FIGURA 1
PARTICIPACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LAS NUEVAS MATRICULACIONES 2017



Fuente: Global EV Outlook 2017) y ACEA/Statista (2017)

penetración e interesantes para la línea de investigación de los autores.

El resto del artículo se desarrolla de la siguiente forma: a continuación, se presenta una descripción de los datos considerados (Sección 2) así como una comparación internacional en el período considerado. Partiendo de estos datos, la Sección 3 se dedica a realizar un análisis de datos de panel, estimado los efectos fijos (factores determinantes de las matriculaciones de vehículos de batería). Así como los niveles de eficiencia de cada país (efectos individuales), lo que se contrasta con las políticas de promoción de mercado y de infraestructura existente en cada país. El trabajo termina con unas conclusiones y recomendaciones de política industrial (Sección 4), donde se presenta, de una forma cuantitativa, el efecto que tendría una variación de las variables explicativas y, de una forma cualitativa, la relación de la eficiencia de cada país con sus políticas de promoción.

COMPARACIÓN INTERNACIONAL. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

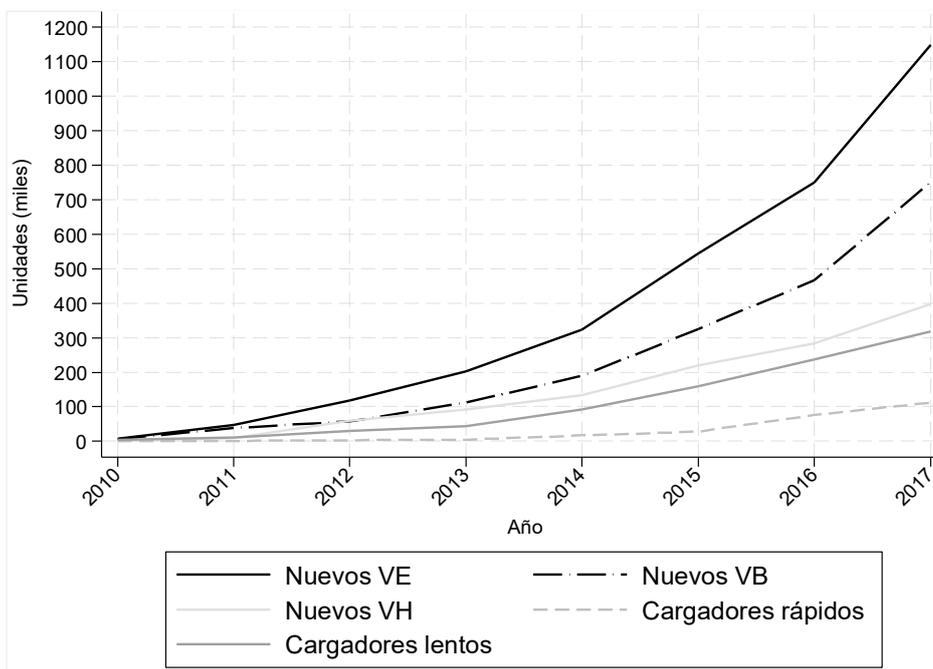
Los datos publicados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) en su informe *Global EV Outlook* (2018) muestran cómo en el año 2017 se superó por primera vez el umbral de un millón nuevas matriculaciones de vehículos eléctricos (VE) en carretera a nivel mundial (figura 2), superando el stock de VE los 3 millones de unidades en dicho año. En concreto, el año 2017 se cerró con 1.148.700 nuevas matriculaciones, de las cuales 750,5 mil correspondían a vehículos eléctricos de batería (VB) y 398,2 mil a vehículos híbridos (VH). Las tasas de crecimiento en las nuevas matriculaciones de ambos tipos de vehículos se han ido moderando durante la última década (a medida que ha ido creciendo el volumen de matriculaciones), si bien dichas tasas experimentan un repunte en 2017 respecto al año anterior; así, las tasas fueron en el año 2016 (respecto a 2015) del 43,3% y del 29,3% para el VB y el VH respectivamente, mientras que en el año 2017 (respecto

a 2016) dichas tasas se sitúan en el 60,9% y el 40,1% respectivamente. Estos crecimientos, relativamente importantes, reflejan el esfuerzo significativo que Gobiernos e industrias de los diferentes países impulsores del VE están haciendo en los últimos años para conseguir electrificar el sector del transporte. Además, a estos crecimientos hay que añadir el fuerte crecimiento que están experimentando los puntos de carga rápida en los últimos años. Téngase en cuenta que los cargadores rápidos han crecido a nivel mundial un 46,8% en 2017 (pasando de 76,3 mil unidades a 112 mil unidades entre 2016 y 2017), crecimiento que se explica principalmente por el fuerte impulso que China, Corea, Alemania y EEUU están dando a esta infraestructura de carga. Por su parte, los cargadores lentos muestran un crecimiento más moderado en 2017 (crecen un 34,1%), pasando de 237,2 mil unidades en 2016 a 318,1 mil unidades en 2017.

La Figura 3 muestra la distribución porcentual de las matriculaciones de VE, y de sus dos variantes (VB y VH), por países en los años 2010 y 2015, años que constituyen los extremos del intervalo temporal analizado (1). En 2010, China ostentaba casi la totalidad de nuevas matriculaciones de VH. Aparte de China, sólo Noruega matriculó vehículos de este tipo en dicho año, aunque en un volumen muy pequeño en relación a China. Por su parte, Japón, Estados Unidos y China eran los países que dominaban las nuevas matriculaciones de VB, con Japón llegando a representar casi el 40% del total de matriculaciones dicho año; EEUU y China se acercaron al 20% de las matriculaciones de este tipo de vehículo.

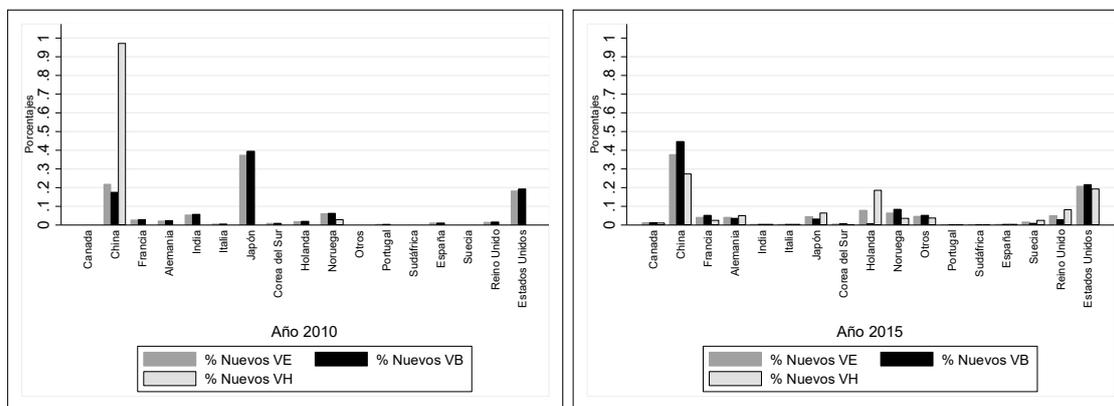
Cinco años después, en 2015, el paisaje cambia significativamente. China disminuye sustancialmente su peso en la matriculación de VH; en concreto, su participación cae de un 97,1% a un 27,3%, dejando sitio a países como EEUU (19,3%), Holanda (18,6%), Japón (6,4%) o Reino Unido (8,3%). Asimismo, Japón ha sido el país que ha experimentado la mayor caída de participación en las matriculaciones de VB

FIGURA 2
EVOLUCIÓN MUNDIAL DE LAS MATRICULACIONES DE VE Y DE LOS CARGADORES PARA VE. 2010-2016



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

FIGURA 3
DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LAS MATRICULACIONES DE VE. 2010 VS. 2015



Nota: el bloque de otros países está compuesto por Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Chipre, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburgo, Malta, Polonia, Rumanía, República Eslovaca, Eslovenia y Turquía.

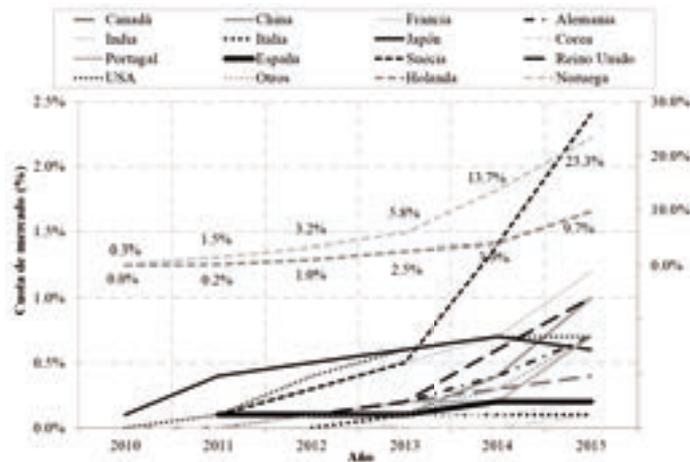
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IEA.

(pasando de un 39,4% en 2010 a un 3,1% en 2015); en su lugar, China toma el relevo como país con un mayor peso en este tipo de matriculaciones, con un porcentaje del 44,6% en 2015 (su peso era de un 17,6% en 2010). A China le siguen, en las nuevas matrículas de VB, EEUU y Noruega, que aumentan su peso ligeramente respecto al año 2010 (pasando de un 19,2% a un 21,6% y de un 6,3% a un 8,4% respectivamente).

Por tanto, China (seguido de EEUU) se postula como el país líder en matriculaciones de VB y de VH en el año 2015. Este país también es actualmente líder mundial en el despliegue de e-scooters y autobuses eléctricos.

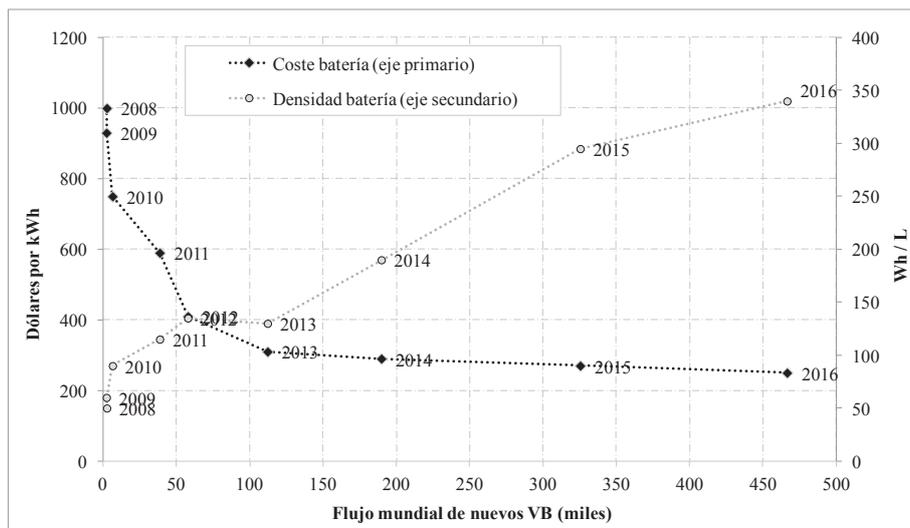
La Figura 4 muestra la evolución temporal de la cuota de mercado del VE en los diferentes países analizados, cuota definida como el porcentaje de compras de VE sobre el total de compras de vehículos de todo tipo.

FIGURA 4
CUOTA DE MERCADO DEL VE EN EL INTERIOR DE CADA PAÍS. 2010-2015



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

FIGURA 5
RELACIÓN ENTRE EL FLUJO DE NUEVOS VB Y EL COSTE Y LA DENSIDAD DE LAS BATERÍAS. 2010-2016

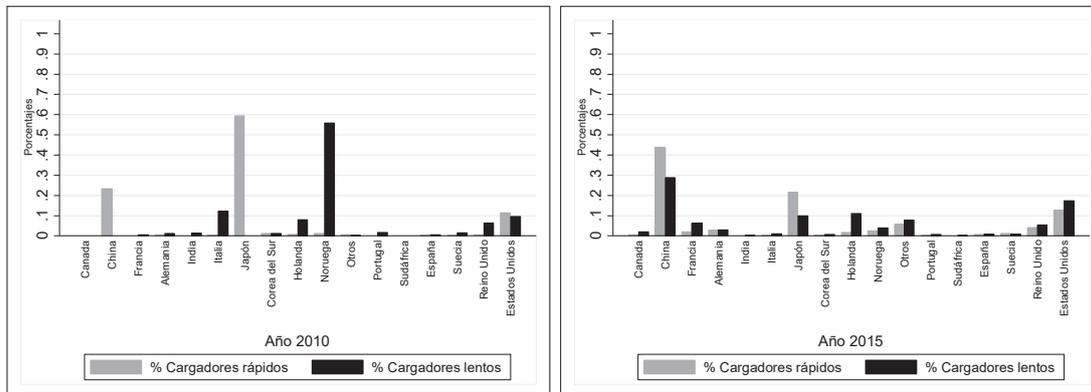


Fuente: Departamento de Energía de los EE.UU.

Noruega y Holanda (ambos representados en el eje de la derecha de la Figura 3 para una mejor visualización) presentan las mayores cuotas de mercado durante todo el período; alcanzando estas cuotas un 23% y un 10% respectivamente en el año 2015. En dicho año, la cuota de mercado de los automóviles eléctricos supera el 2% en Suecia y el 1% en países como China, Francia o el Reino Unido. El avance del coche eléctrico en todos estos países se debe fundamentalmente a tres factores: (1) reducción en los costes de fabricación del VE (incluyendo la batería), (2) desarrollo de la industria auxiliar (principalmente, la encargada de proveer cargadores eléctricos), y (3) existencia de políticas de incentivos a la oferta y a la demanda de VE y de equipo auxiliar.

Respecto al primer determinante, la reducción en los costes de fabricación del VE pasa indudablemente por reducir el coste de fabricación de las baterías de almacenamiento. Los costes de las baterías se han reducido hasta un 75% desde 2008 y se espera que disminuyan aún más en los próximos años. La figura 5 muestra cómo ha evolucionado entre 2008 y 2016 la relación entre el flujo de nuevos VB (eje horizontal) y las variables «coste de la batería» (medido en dólares americanos por kWh; representado en eje de la izquierda de la figura) y «densidad de la batería» (medida en Wh por litro; representada en el eje de la derecha). El efecto del coste de la batería sobre el flujo de VB es negativo y no lineal, mientras que la relación con la densidad de la batería resulta ser positiva y muestra un comportamiento algo más lineal. A

FIGURA 6
EVOLUCIÓN DEL CARGADOR DE BATERÍA POR PAÍSES. 2010 VS. 2015



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA.

medida que las baterías vayan abaratando su coste y mejorando sus prestaciones, el coche eléctrico irá ganando terreno al coche tradicional.

Los nuevos desarrollos de baterías, que se encuentran actualmente en fase de I+D, la expansión en los volúmenes de producción de baterías (economías de escala) y el crecimiento de su capacidad de almacenamiento deben permitir una caída importante en los costes unitarios de estas unidades de almacenamiento en los próximos años. Según el Departamento de Energía (DOE) de los EE.UU., aumentar los volúmenes de producción de baterías de 25.000 a 100.000 unidades para VB de 100 kWh permitiría reducir los costes de producción unitarios (por kWh) de la batería en un 13%. Varios estudios apuntan también en esta dirección, como los de Howell (2017) y Slowik *et al.* (2016). Por otro lado, según Howell (2017), aumentar el tamaño de la batería de 60 kWh a 100 kWh (que refleja aproximadamente, en el caso de un automóvil promedio vendido en los Estados Unidos, un aumento en el rango de autonomía en carretera de 200 km a 320 km) conduciría a una reducción del 17% en el coste de la batería por kWh.

En cuanto al segundo determinante, el desarrollo de industria auxiliar, una buena *proxy* del comportamiento de dicha industria viene dada por la evolución de la instalación de puntos de carga, los cuales pueden ser rápidos o lentos y encontrarse, a su vez, en espacios públicos o privados. La Figura 6 muestra el reparto porcentual de cargadores rápidos y cargadores lentos por países en los años 2010 y 2015.

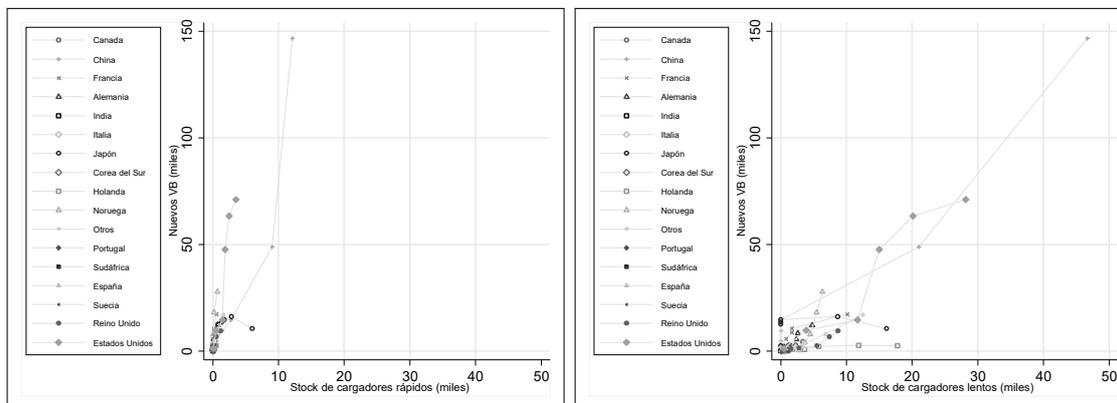
En 2010, Japón (59,4%), China (23,4%) y, en menor medida, EEUU (11,4%) atesoraban la mayor parte de cargadores rápidos a nivel mundial –de hecho, China y Japón solo contaban con cargadores rápidos–. Los cargadores lentos pertenecen fundamentalmente (en 2010) a Noruega (55,8%), Italia (12,2%), EEUU (9,6%) y Holanda (8%). A diferencia de EEUU y los países orientales, la mayoría de los países euro-

peos habían apostado casi exclusivamente por este tipo de cargadores (lentos) en 2010.

En el año 2015 el panorama resulta bien distinto. China, con un 43,7% de participación, se postula como el país con un mayor porcentaje de cargadores rápidos, en detrimento de Japón (21,6%); EEUU aumenta algo su participación respecto a 2010 (pasando de un 11,4% en 2010 a un 12,7% en 2015). En cuanto a los cargadores lentos, son China (28,8%), EEUU (17,4%), Holanda (11%) y Japón (10%) los países dominantes. En Europa y EEUU, a diferencia de lo que sucede en los países orientales, estos cargadores (lentos) tienen aun (en 2015) un mayor peso en el stock mundial que el mostrado por los cargadores rápidos. Otro dato a destacar, considerando a todos los países conjuntamente, es que la ratio de cargadores lentos por cada uno rápido es aproximadamente 5,8 en el año 2015 –esta ratio era de 9,6 en 2010–. España se encuentra por encima de este valor conjunto en 2015, ya que cuenta con 8 cargadores lentos por cada uno rápido –la misma ratio que países como Estados Unidos o el Reino Unido.

Otra relación interesante relacionada con los puntos de carga se muestra en la figura 7, donde se representa la evolución 2010-2015 de la relación entre las matriculaciones de VB y el número de cargadores, tanto rápidos (panel de la izquierda) como lentos (panel de la derecha) –entre nuevos VB y nuevos VH, nos centramos en los nuevos VB porque dependen en mayor medida de la existencia de cargadores–. El gráfico muestra dos rasgos importantes: (1) las nuevas matriculaciones de VB están en continuo crecimiento en todos los países, con la excepción de Japón y Holanda en 2015, año en que caen algo las matriculaciones respecto al ejercicio anterior; (2) el efecto de un incremento en cargadores rápidos sobre las nuevas matriculaciones de VB parece ser mayor que el de los cargadores lentos, como lo pone de manifiesto las mayores pendientes en el gráfico que relaciona VB con cargadores rápidos, respecto al gráfico de VB frente a cargadores lentos –el modelo econométrico de la sección siguiente nos permitirá explorar estas relaciones de forma más precisa–.

FIGURA 7
RELACIÓN ENTRE CARGADORES (RÁPIDOS Y LENTOS) Y NUEVOS VB POR PAÍSES. PERÍODO 2010-2015



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA.

La figura 7 también permite calcular la pendiente media o ratio «nuevos VB / cargadores rápidos» en los diferentes años y países. Así, en el año 2010, países como Noruega, Alemania, España y Reino Unido mostraban una elevada ratio de nuevos VB por cargador rápido, ratio superior a 30 en los tres casos. En Noruega, por ejemplo, hubo 65 nuevas matriculaciones de VB por cada cargador rápido (en Alemania 47 y España 35). En el año 2015, el panorama cambia. En dicho año, son Portugal, Noruega y Francia los países de mayor ratio (todos con más de 30 nuevos VB por cada cargador rápido), mientras que en países como España, Holanda, Reino Unido o Alemania la ratio cae significativamente respecto a 2010, situándose por debajo de las 10 nuevas matriculaciones por cargador rápido en el caso de los tres primeros países y en 15 nuevas matriculaciones por cargador rápido en el caso alemán.

El tercer factor y último determinante del avance del coche eléctrico es la existencia de políticas de incentivos a la oferta y a la demanda de VE y a la industria de equipo auxiliar (principalmente, puntos de carga). Diversas políticas públicas están promoviendo la compra del VE y el desarrollo de puntos de carga accesibles al público, financiados a través de inversiones directas o de iniciativas público-privadas. Algunas de estas iniciativas de generación de puntos de carga en espacios públicos van más allá de los núcleos urbanos, dando lugar a redes de carga que permiten viajes de larga distancia en VE incluso a escala continental; por ejemplo, a nivel europeo podemos mencionar iniciativas como NewMotion o Electrek.

El informe *Global EV Outlook* (2016) de la IEA contiene información sobre las políticas de estímulo al VE implementadas en los diferentes países analizados en este estudio. En concreto se distinguen entre políticas de «creación de mercado» y políticas de apoyo a la «creación de infraestructura de carga». Las primeras incluyen medidas de estímulo a la oferta y a la demanda de VE. Las dirigidas a la oferta incluyen medidas finan-

cieras (como incentivos directos a la inversión y ventajas fiscales) y de carácter regulatorio (por ejemplo, la regulación de las emisiones de tubo de escape o la de los estándares de ahorro de combustible). Igualmente, las medidas orientadas a la demanda de VE pueden tener carácter financiero (por ejemplo, operaciones «renove», precios subvencionados o créditos fiscales) o carácter regulatorio (como, por ejemplo, exenciones de impuestos, exenciones de tarifas de estacionamiento y peajes, y permiso de acceso a determinadas zonas y carriles). Por su parte, las políticas de apoyo a la creación de infraestructura de carga consisten básicamente en incentivos directos a la inversión por parte de las autoridades e instituciones públicas, o en ventajas fiscales como, por ejemplo, desgravaciones fiscales para particulares o entidades privadas por la instalación de puntos de carga. Todas estas políticas, a su vez, se pueden llevar a cabo a nivel local, regional o nacional, abarcando a un porcentaje distinto de la población de cada país.

En un intento de sintetizar la posición de cada país respecto a los dos tipos de ayudas mencionados, hemos desarrollado un análisis de cluster que tiene en cuenta la similitud entre los diferentes países según el tipo de medidas que adoptan. En concreto, seguiremos un método jerárquico, en el que se van agrupando sucesivamente los países más similares entre sí (en las políticas adoptadas) en grupos, y los grupos entre sí para formar grupos o clusters mayores (que contienen cada vez un mayor número de países). Es decir, se comienza considerando cada país como un grupo separado, después se agrupan los dos países entre los que existe una mayor similitud de políticas, y así sucesivamente, pudiendo continuarse el proceso de agrupamiento hasta la fusión total de todos los países en un único grupo. Este método jerárquico permite llegar a un número de grupos específico, ya que se puede interrumpir el proceso de agrupamiento cuando se alcanza dicho número. Además, los resultados pueden mostrarse gráficamente mediante un «dendrograma», figura en la que se observa cómo se van formando

grupos cada vez mayores y más distantes entre sí –la altura del dendrograma representa disimilitud–.

A efectos comparativos hemos obtenido dos clusters diferentes de países con datos correspondientes al año 2015 (Figura 7), uno basado en la similitud de políticas basadas en creación de mercado y otro basado en similitud de las políticas de apoyo a la creación de infraestructura de carga. Para asignar un valor numérico a cada política, hemos tenido en cuenta el grado de cobertura del territorio nacional, asignando el valor 0 si una determinada política no se ha implementado en el país en cuestión; 0,25 a aquellas políticas implementadas en ciertas áreas geográficas que afectan a menos del 50% de los habitantes del país; 0,75 a las políticas que afectan a más del 50% de los habitantes del país; y 1 a aquellas políticas que afectan a la totalidad de habitantes del país –la tabla 1 resume las medidas (y la cobertura de dichas medidas) en los diferentes países analizados–.

La Figura 8 muestra los dos dendrogramas obtenidos. El cluster basado en las políticas de estímulo a la oferta y a la demanda de VE (panel de la izquierda de la figura) muestra cuatro clusters de países al menos: (I) Canadá, Italia e India; (II) China, Japón, Corea del Sur y Portugal; (III) Francia, Reino Unido y Holanda; y (IV) Dinamarca y Noruega. El resto de países (entre ellos España) se pueden considerar unidades relativamente independientes, puesto que se unen a otros países (o clusters de ellos) a una altura relativamente elevada en el dendrograma. Por su parte, el cluster basado en las políticas de estímulo a la creación de puntos de carga (panel de la derecha) muestra cinco clusters de países bien diferenciados: (I) Canadá, India, Italia, Suecia y Portugal; (II) Alemania y Noruega; (III) China y Japón; (IV) España y Reino Unido; y (V) Dinamarca, EEUU, Francia y Holanda –Corea del Sur se postula como un país relativamente diferente a los demás en el desarrollo de este tipo de políticas–. En la sección siguiente confrontaremos estos resultados con los obtenidos a partir de un modelo de panel de datos que permite medir la eficiencia de los países en el despliegue del VB.

MODELO DE PANEL DE DATOS DE MEDICIÓN DE LA FRONTERA DE EFICIENCIA POR PAÍSES. ↓

La Iniciativa de Vehículos Eléctricos (*Electric Vehicles Initiative, EVI*) 20-20 marca como objetivo una flota de 20 millones de VE para 2020 en todo el mundo. Por otra parte, la Declaración de París sobre «Electro-Movilidad, Cambio Climático y Acción Conjunta» establece un objetivo global de despliegue de 100 millones de VE y 400 millones de VE de 2 y 3 ruedas en 2030. La consecución de estos objetivos implica un crecimiento sustancial del mercado para desarrollar mucho más el stock actual de 2 millones de VE en 2016.

Como se ha comentado en la sección anterior, el logro de los objetivos descritos depende, dentro de cada país, fundamentalmente de variables económicas, tecnológicas y políticas. Dicho de otra forma, la evolución de las nuevas matrículas de este tipo de

vehículos dependerá de cómo evolucione su coste de fabricación (y del precio relativo frente al coche tradicional de combustible), de la evolución paralela de su industria auxiliar (reparación, mantenimiento, puntos de carga, etc.) y de las políticas de incentivos y subvenciones a VE y a puntos de carga articuladas por los diferentes Gobiernos. Los datos disponibles en este estudio nos van a permitir encontrar evidencia sobre el efecto que ejercen dichos factores en las matriculaciones de VB –como comentamos en la sección anterior, nos centramos en los nuevos VB, y no en los VH, porque dependen en mayor medida de la existencia de puntos de carga–.

Para cuantificar el efecto de las diferentes variables sobre las matriculaciones de VB, vamos a estimar un modelo de panel de datos con efectos fijos y modelo estocástico de la frontera para panel de datos. El período considerado va a ser 2010-2015 (6 años) y las unidades muestrales serán aquellos países, un total de 15, para los que se tienen datos individualizados, y que son: (1) Canadá, (2) China, (3) Francia, (4) Alemania, (5) India, (6) Italia, (7) Japón, (8) Corea, (9) Holanda, (10) Noruega, (11) Portugal, (12) España, (13) Suecia, (14) Reino Unido y (15) Estados Unidos. Como variable a explicar se va a emplear el flujo de nuevos VB (matriculaciones anuales). Entre las variables explicativas se van a considerar los stocks de cargadores lentos y rápidos y el coste y la densidad de la batería –estas dos últimas variables van a variar de un período a otro, pero no de un país a otro; tienen variabilidad intra-grupo, pero no entre-grupos. Todas las variables se expresan en logaritmos para controlar posibles relaciones no lineales entre las variables en niveles; de este modo, los coeficientes estimados representan elasticidades.

El modelo de datos de panel se va a estimar por efectos fijos para manejar adecuadamente la posible existencia de correlación entre las variables explicativas y el efecto individual. Asimismo, conviene recordar que, en este tipo de modelos econométricos, el efecto individual de cada país está controlando aquellas características del país (estables en el tiempo) que no se observan directamente en el panel (en los datos) pero que afectan a la variable estudiada, como, por ejemplo, el posicionamiento de cada Gobierno nacional en cuanto a la regulación y a los incentivos a la industria del VE.

Por su parte, el modelo estocástico de la frontera permite, al igual que el panel de datos estándar (con efectos fijos o aleatorios), estimar los parámetros de un modelo lineal de panel de datos empleando una perturbación que sigue una distribución mixta formada por dos componentes: uno que sigue una distribución estrictamente positiva (esta restricción de no negatividad es la diferencia fundamental del modelo de frontera con el panel de datos sin eficiencia, donde el efecto individual puede tomar valores negativos), y otro componente que tiene una distribución aleatoria simétrica. En la literatura econométrica, el componente no negativo a menudo se conoce como el término de ineficiencia de cada unidad muestral, y el compo-

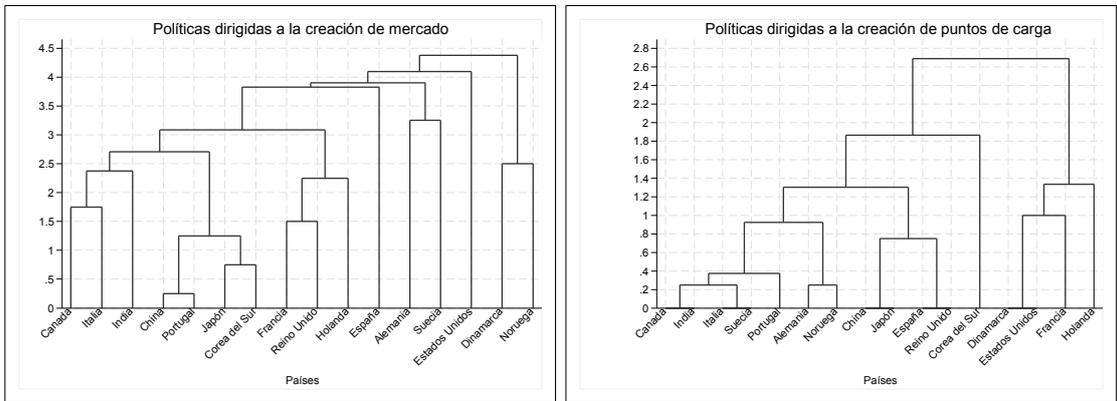
TABLA 1
COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE LAS POLÍTICAS DE APOYO AL VE. AÑO 2015

Tabla 1. Comparación internacional de las políticas de apoyo al VE. Año 2015.

Country	POLÍTICAS DE CREACIÓN DE MERCADO										POLÍTICAS DE CREACIÓN DE PUNTOS DE CARGA														
	Incentivos a la compra de VE					Incentivos al uso y circulación del VE					Exoneraciones sobre restricciones de acceso					Estándares de emisiones por tubo de escape					Inversión directa			Ventajas fiscales	
	Reembolsos en el registro / venta	Exención de impuestos en las ventas (IVA no incluido)	Exenciones de IVA	Créditos fiscales	Exenciones de impuestos de circulación	Exenciones de tasas (por ejemplo, peajes, estacionamiento, transbordadores)	Reducciones / exenciones en el suministro de electricidad	Créditos fiscales (a compañías de automóviles)	Acceso a carriles de desdoblamiento de bus	Acceso a carriles de desdoblamiento restringido	Acceso a zonas de tráfico restringido	Normas / reglamentaciones sobre ahorro de combustible	Normas de emisión de contaminantes	Cargadores de acceso público	Cargadores privados	Cargadores de acceso público	Cargadores privados	Cargadores de acceso público	Cargadores privados						
Canadá	0.75	0	0	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0					
China	1	1	0	0	1	0.25	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0					
Dinamarca	0	1	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1					
Francia	1	1	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	1	0	0	0.25	1	1	1	1	1	1					
Alemania	0	0	0	0	1	1	0	0	0.25	0	1	0	0	0.25	1	0	0	0	0	0					
India	1	0.75	0.75	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0					
Italia	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0					
Japón	1	1	0	0	0.75	0.25	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0					
Holanda	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0.25	1	0	0	0	0	1					
Noruega	0	1	1	0	0	1	0.25	0	1	0	1	0	0	0	1	0.25	0	0	0	0					
Portugal	1	1	0	0	1	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Corea del Sur	1	1	0	0	1	0.75	1	0	0	0	1	0	0	0	0.25	1	0.25	0	0.75	0					
España	1	1	0	0	0.25	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0.25	1	0	0	0	0					
Suecia	1	0	0	1	1	0.25	0.25	0	0	0	1	0.25	0	0	0.25	1	0	0	0	0					
Reino Unido	1	1	0	0	1	0.25	0.25	0	0	0	1	0.25	0	0	0.25	1	0	0	0	0					
Estados Unidos	0.25	0.25	0	1	0.25	0.25	0.25	0	0.25	0	1	0	0.25	0	1	0	0	1	1	1					

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA.

FIGURA 8
CLUSTERS DE PAÍSES SEGÚN MEDIDAS DE ESTÍMULO AL COCHE ELÉCTRICO. AÑO 2015



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA

nente con la distribución simétrica como el error idiosincrásico correspondiente a cada unidad muestral y período. El modelo permite dos parametrizaciones diferentes del término de ineficiencia: invariante o variante en el tiempo. En el modelo de ineficiencia invariante o constante, se supone que el término de ineficiencia tiene una distribución truncada-normal. En la parametrización del modelo con ineficiencia variante (modelo de Battese-Coelli, 1992), el término de ineficiencia se modela como una variable aleatoria truncada-normal multiplicada por una función específica del tiempo (la cual puede ser creciente o decreciente). En ambos modelos, se supone que el término de error idiosincrásico sigue una distribución normal (2).

En este trabajo, al estimar un modelo de ineficiencia orientado a salida, estamos suponiendo que los factores que dinamizan el despliegue del VB actúan como inputs dentro de una función de producción donde el output son las nuevas matriculaciones anuales de VB. Por tanto, serán más eficientes aquellos países que con los mismos niveles de inputs consigan generar un mayor volumen de matriculaciones. El modelo estimado de ineficiencia (constante) para panel de datos sería el siguiente:

$$\begin{aligned} \ln(\widehat{NuevosVB})_{it} &= \ln(\widehat{NuevosVB})_{it} + \hat{v}_{it} = \ln(\widehat{NuevosVB})_i^{Frontera} - \hat{u}_i + \hat{v}_{it} \\ &= \ln(\widehat{NuevosVB})_{it}^{Frontera} + \hat{\varepsilon}_{it} = \\ &= \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(Cargadores Lentos)_{it} + \hat{\beta}_2 \ln(Cargadores rápidos)_{it} \\ &+ \hat{\beta}_3 \ln(Coste batería)_t + \hat{\beta}_4 \ln(Densidad batería)_t - \hat{u}_i + \hat{v}_{it} \end{aligned}$$

donde $\varepsilon_{it} = v_{it} - u_i$, $v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$, $u_i \sim N_+(0, \sigma_u^2)$, $i = 1, \dots, 15$, $t = 2005, \dots, 2010$

Obsérvese que $-\hat{u}_i$ mide lo que ineficiente que es la unidad i respecto a su frontera $\ln(\widehat{NuevosVB})_i^{Frontera}$ descontando el efecto de la perturbación aleatoria \hat{v}_i que le haya podido afectar en cada período. Hemos optado por el modelo con ineficiencia invariante porque el modelo variante estima un coeficiente de dinámica temporal de la in-

eficiencia muy cercano a cero (-0,04), lo cual indica que la ineficiencia de cada país cambia poco en el tiempo; téngase en cuenta que el período temporal considerado no es muy amplio (2010-2015), por lo que es poco probable observar un cambio de tecnología significativo en el sector.

La tabla 2 sintetiza los dos modelos estimados, el de panel de datos y el de panel de datos con ineficiencia:

Los coeficientes estimados en los dos modelos permiten extraer conclusiones parecidas. Las nuevas matriculaciones de VB dependen fundamentalmente del número de cargadores rápidos y no muestran dependencia respecto a los cargadores lentos. Un aspecto a discutir dentro del modelo es que la relación de causalidad entre el VB y el cargador de batería puede ser confusa, y puede llegar a generar un problema de endogeneidad, ya que determinadas variables omitidas en el modelo (por ejemplo, medidas de estímulo a la industria del VE) pueden afectar simultáneamente al crecimiento de los VB y de los puntos de recarga. En cualquier caso, pensamos que la variable debe ser considerada dentro del modelo como un regresor

más, ya que parece claro que los inversores (públicos o privados) han identificado la generación de una red suficiente de puntos de carga como un elemento dinamizador de la demanda de VB.

Si comparamos ambos modelos, se aprecia que la elasticidad del VB a los puntos de carga rápida es mayor en el modelo de eficiencia (0,28 frente a 0,15). El

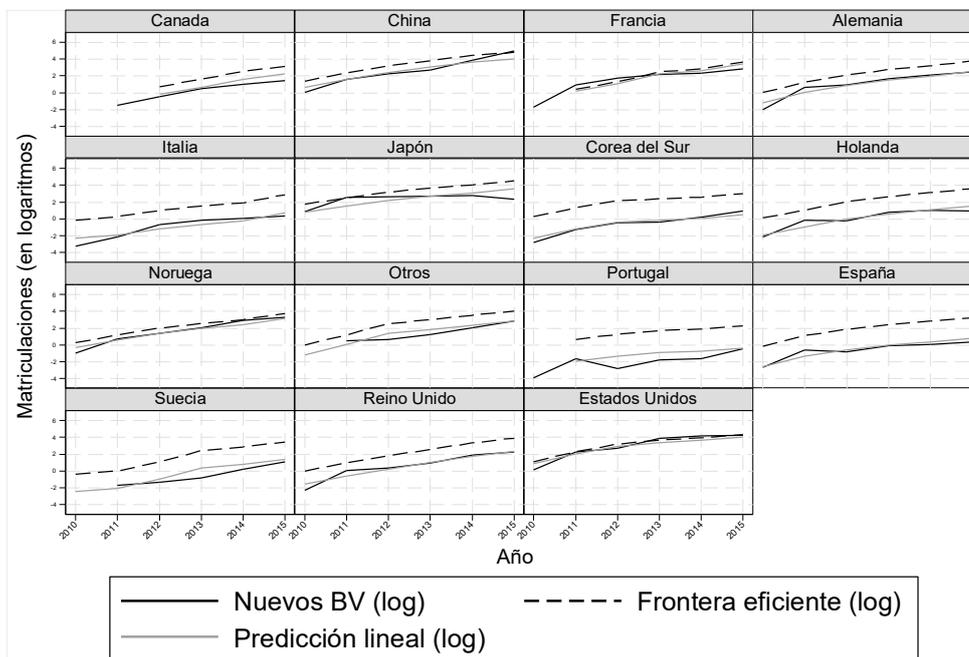
TABLA 2
ESTIMACIONES DE LOS FACTORES DETERMINANTES DE LAS MATRICULACIONES DE VB. PERÍODO 2010-2015

Modelo de ineficiencia constante en el tiempo. Variable explicada: Matriculaciones de VB (en logaritmos)						
	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
Log (cargadores lentos)	0.072	0.11	0.67	0.50	-0.14	0.29
Log (cargadores rápidos)	0.28***	0.09	2.97	0.00	0.09	0.46
Log (coste de la batería)	-1.32***	0.41	-3.22	0.00	-2.12	-0.52
Log (densidad de la batería)	0.370	0.36	1.03	0.30	-0.33	1.07
Término constante	9.04**	3.86	2.34	0.02	1.47	16.62
μ	1.56**	0.66	2.36	0.02	0.27	2.85
$\log(\sigma^2)$	0.38	0.52	0.74	0.46	-0.64	1.40
Inversa del logit of γ	1.7**	0.66	2.56	0.01	0.40	3.00
σ^2	1.47	0.76			0.53	4.07
γ	0.85	0.09			0.60	0.95
σ_u^2	1.24	0.77			-0.26	2.74
σ_v^2	0.23	0.04			0.14	0.31
Número de observaciones	76					
Número de países	15					
Wald chi2(4)	397.31 (Prob > chi2 = 0)					
Log likelihood	-74.0					

Modelo de panel de datos con efectos fijos. Variable explicada: Matriculaciones de VB (en logaritmos)						
	Coef.	Std. Err.	t	P>t	[95% Conf. Interval]	
Log (cargadores lentos)	0.047	0.14	0.32	0.75	-0.26	0.36
Log (cargadores rápidos)	0.15*	0.10	1.54	0.1	-0.06	0.37
Log (coste de la batería)	-1.69**	0.58	-2.95	0.01	-2.93	-0.46
Log (densidad de la batería)	0.53*	0.33	1.59	0.1	-0.18	1.25
Término constante	8.32*	4.46	1.87	0.08	-1.25	17.90
σ_u	1.21					
σ ρ	0.48					
Coefficiente	0.86 (fraction of variance due to ui)					
R ² within	0.864					
R ² between	0.655					
R ² overall	0.584					
Número de observaciones	76					
Número de países	15					
F(4,14)	80.66 (Prob > F = 0)					
corr(u _i , Xb)	0.2183					

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA.

FIGURA 9
POSICIONAMIENTO DE LOS PAÍSES RESPECTO A SU FRONTERA EFICIENTE



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA.

coeficiente cercano a 0,3 indicaría que un incremento de los puntos de carga rápida de un 10% podría incrementar las matriculaciones de VB cerca de un 3%.

El otro factor determinante del despliegue del VB es el coste de la batería. Según nuestros resultados, la relación entre las matriculaciones de VB y el coste de las baterías de almacenamiento eléctrico es negativa y elástica, de manera que una disminución en el coste de la batería del 1% permitiría incrementar el volumen de nuevos VB más de un 1% (entre un 1,3% y un 1,7%).

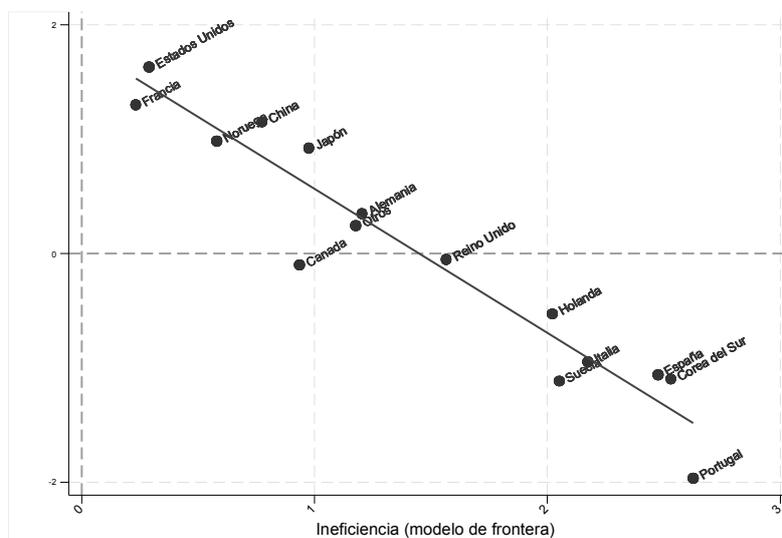
Una de las ventajas del modelo de ineficiencia para panel de datos, frente al panel de datos con efectos fijos, es que el modelo de ineficiencia permite estimar la frontera eficiente de cada país (la «función de producción» de VB) y la distancia del país a dicha frontera descontando el efecto de posibles perturbaciones aleatorias que escapan del control de los países. La figura 9 muestra la posición de los diferentes países respecto a su frontera eficiente, tanto en términos de la serie real de nuevos VB (en logaritmos) como en términos de la predicción de dicha variable por parte del modelo, la cual elimina de la serie real el término de perturbación aleatoria. La figura muestra como países más eficientes (más cercanos a su frontera eficiente) a EEUU, Francia, China, Japón y Noruega, mientras que el mayor grado de ineficiencia recae sobre Corea del Sur, España, Italia y Portugal.

Si comparamos los efectos individuales del panel de datos con efectos fijos con las ineficiencias del panel con frontera (figura 10) se observa un resultado espera-

ble pero interesante: aquellos países que muestran un menor grado de ineficiencia en el panel de datos con frontera, muestran también un efecto individual mayor en el panel de datos con efectos fijos. Este resultado es esperable si se tiene en cuenta que cuando un país concreto presenta un efecto fijo elevado, el modelo predicho para él (por el panel de datos con efectos fijos) tiene las mismas pendientes (respecto a las diferentes variables explicativas) que para el resto de países pero presenta un término constante más elevado que el término constante del conjunto, lo cual significa que el modelo, a igualdad del resto de factores, predice para el país en cuestión unos valores de la variable explicada mayores a los predicho para la media de los países del panel.

Nuestro análisis sobre el despliegue del VB concluye buscando alguna evidencia sobre la efectividad de las políticas de apoyo al coche eléctrico. Para ello hemos comparado los resultados de eficiencia de los modelos de panel de datos (Figura 9) con los dos clusters obtenidos por similitud de políticas de apoyo al VE. En dicha comparación, se observa una mayor similitud entre los resultados de los modelos de panel y el cluster basado en políticas dirigidas a la creación de puntos de carga (frente al cluster basado en políticas de creación de mercado). Se da la circunstancia de que los seis países más eficientes en los modelos de panel de datos se corresponden con tres clusters relativamente homogéneos basados en políticas de creación de infraestructura de carga: Estados Unidos y Francia (junto con Dinamarca); China y Japón; y Alemania y Noruega. Este resultado permite llegar a dos conclusiones.

FIGURA 10
INEFICIENCIA FRENTE A EFECTOS FIJOS



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA.

Por un lado, la eficiencia en el despliegue del VB parece estar más relacionada con las políticas de creación de industria auxiliar (puntos de carga) que con las de estímulos al mercado. Por otro lado, las políticas de los países (o clusters de ellos) más eficientes deberían ser una referencia válida para los países de su entorno, en aras de lograr una mayor eficiencia en el proceso de despliegue del VE.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA INDUSTRIAL. ↓

Del análisis de los datos internacionales, se aprecian importantes diferencias de penetración del vehículo eléctricos entre los países, destacando el caso de Noruega, donde casi el 40% de las nuevas matriculaciones corresponde a esta tecnología, contrastando con países como España, Italia o Grecia, donde este valor es inferior al 0,5%.

Para encontrar los factores que determinan el número de matriculaciones de los vehículos eléctricos a batería (VAB), se ha realizado un análisis de datos de panel, encontrándose como variables significativas el coste de la batería y la existencia de una red pública de cargadores rápidos. Sobre el primero, se puede considerar como común a todos los países analizados, y se observa que presenta un comportamiento elástico, con unos valores de elasticidad del orden de -1,5, es decir, por cada 10% que disminuya el coste de la batería, el número de matriculaciones de VB crecerá un 15%, lo que tiene sentido, ya que es el coste más relevante del VB, y los consumidores presentan una alta sensibilidad al desembolso inicial de adquisición del vehículo.

En lo que se refiere a la existencia de una red de puntos de recarga rápidos, puede venir determinada por

la existencia de una adecuada política de promoción pública, lo que vendría reflejado en los efectos individuales de cada país. De cualquier forma, se ha identificado en el análisis econométrico como un factor relevante y muy significativo para el despliegue del vehículo eléctrico, presentando, en este caso, una elasticidad cercana al 0,3%, lo que indicaría que un incremento de los puntos de carga rápida de un 10% podría incrementar las matriculaciones de VB cerca de un 3%.

Los países que presentan unos efectos individuales mayores son Estados Unidos, Francia y Noruega, presentando todos ellos incentivos a la compra y al uso del VE, restricciones de acceso así como un claro apoyo al desarrollo de una red de recarga rápida de uso público.

NOTAS ↓

- [1] Suprimimos del análisis comparativo, tanto a nivel descriptivo como a nivel econométrico, el año 2016 porque no disponemos de los datos de España, Italia o Portugal para dicho año. Se da la circunstancia de que estos países forman parte del grupo llamado «Otros» en el Global EV Outlook (2017).
- [2] Sobre la metodología de datos de panel, véanse, por ejemplo, Cameron and Trivedi (2009) y Kennedy (2008). Sobre los modelos estocásticos de frontera aplicados a datos de panel véase Kumbhakar y Lovell (2000).

BIBLIOGRAFÍA ↓

ACEA (2017). «Menos del 0,5% de las matriculaciones en España son de coches eléctricos» <https://es.statista.com/grafico/11793/menos-del-05-de-las-matriculaciones-en-espana-son-de-coches-electricos/>

Battese, G. E., y Coelli, T. J. (1992): «*Frontier Production Functions, Technical efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India*», *Journal of Productivity Analysis*, 3, págs. 153–169.

Cameron, A.C. y Trivedi, P.K. (2009): «*Microeconometrics: Methods and Applications*», Cambridge University Press, Cambridge.

Declaración de París sobre «Electro-Movilidad, Cambio Climático y Acción Conjunta»

Departamento de Energía (DOE) de los EE.UU.

Electrek, 9to5 network, URL: <https://electrek.co/>

Electric Vehicles Initiative, EVI- 20-20

Global EV Outlook (2016): *Beyond One Million Electric Cars*, International Energy Agency, OCDE, París, Francia, págs. 1–39.

Global EV Outlook (2018): *Towards cross-modal electrification*, International Energy Agency, OCDE, París, Francia, págs. 1–140.

Howell, D. (2017): *personal communications of the authors on the status and projections for EV batteries RD&D*. March and April 2017.

Howell, D. (2016): «*Overview of the DOE VTO, Advanced Battery R&D Program*», Mimeo, Departamento de Energía, USA.

Kennedy, P. (2008): «*A guide to Econometrics*», 6th Edition, Wiley-Blackwell, Massachusetts, USA.

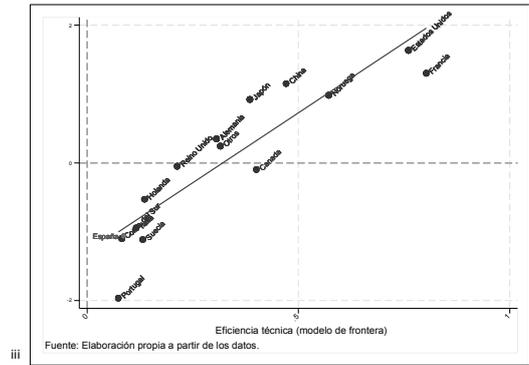
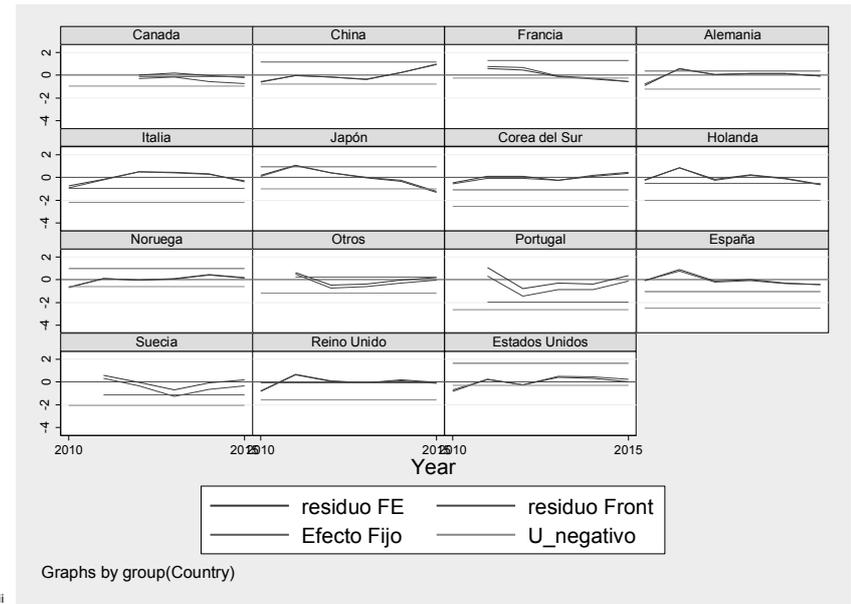
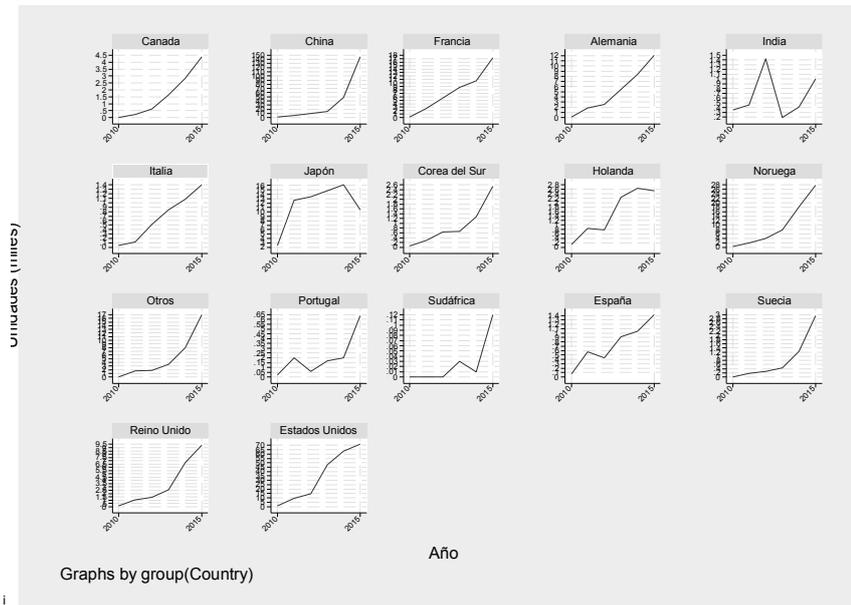
Kumbhakar, S.C. y Lovell, C.A.K. (2000): *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press.

NewMotion, Europe's Largest Electric Charging Partner, URL: <https://newmotion.com>

Slowik, P., N. Pavlenko and N. Lutsey (2016): «*Assessment of Next-Generation Electric Vehicle Technologies*», White Paper, International Council on Clean Transportation, págs. 1–18.

UBS Q-Series. *Evidence Lab Electric Car Teardown –Disruption Ahead?* (2017)

ANEXO



LA DIMENSIÓN FISCAL DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN ESPAÑA

SERGIO SASTRE SANZ
IGNASI PUIG VENTOSA
Fundació ENT

El transporte es uno de los sectores con mayor consumo energético en España. El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) estima que de las 82.233 ktep de energía final consumida en España en 2016, el transporte supuso 34.821 ktep, de las cuales 27.518 ktep se atribuyen al transporte por carretera, estando el 94,6% relacionado con el consumo de gasóleo y gasolina (IDAE, 2018). A su vez, el sector transporte fue responsable

de un 28,1% de las emisiones de gases de efecto invernadero en 2015 (Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera, 2015).

INTRODUCCIÓN ↓

El transporte es, por tanto, un sector clave para la descarbonización de la economía española en la cual la sustitución de los vehículos de combustión interna (VCI) por el vehículo eléctrico (VE) es una pieza importante. El impacto de esta sustitución ha sido estudiado desde diversos ángulos, destacando las consecuencias ambientales (Hawkins *et al.*, 2013), tecnológicas (Morais *et al.*, 2014), económicas (Granovskii, Dincer and Rosen, 2006) o sobre el empleo (Lindström and Heimer, 2017). Sin embargo, la dimensión fiscal es menos conocida, si bien la recaudación derivada de los combustibles, la matriculación y la circulación de vehículos es clave en la estructura recaudatoria española.

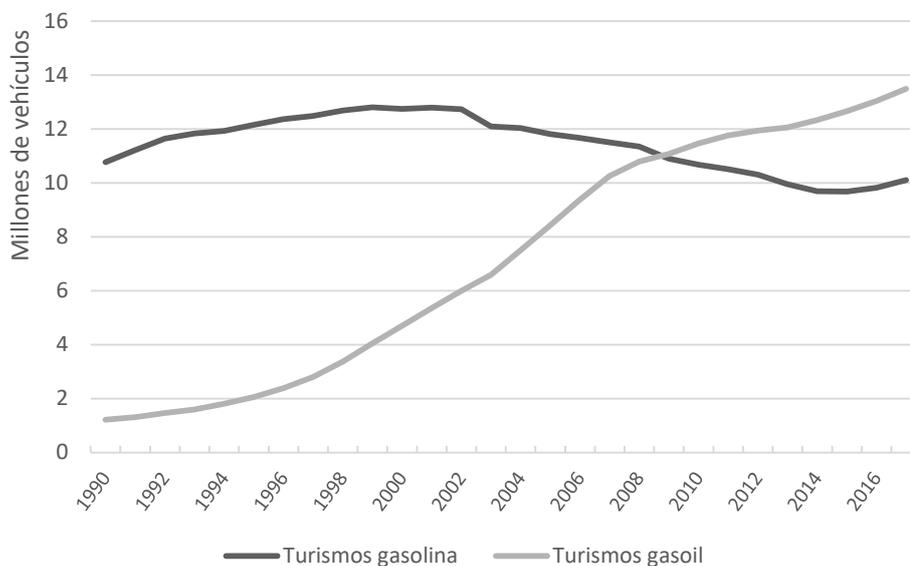
El presente estudio tiene como objetivo comparar la recaudación derivada del marco fiscal de los turismos

convencionales y eléctricos en España para abrir un debate sobre esta cuestión desde la fiscalidad ambiental, actualizando los esfuerzos previos en este sentido (Sastre and Puig-Ventosa, 2017).

El parque de vehículos español: tendencias y distribución de los turismos convencionales y eléctricos ↓

El parque de vehículos en España ha estado condicionado por las políticas de «dieselización» (promoción de los vehículos que utilizan diésel) de los años noventa (González and Marrero, 2012; Marrero *et al.*, 2016), que han resultado en que un 57,18% de los turismos utilizasen diésel en 2017, mientras que la proporción de estos vehículos en 1990 era de un 10,17% (Figura 1). Aunque la tendencia en todo el periodo ha sido de un incremento continuado de vehículos diésel y una disminución de los vehículos gasolina, en 2016 la matriculación de estos últimos experimentó un incremento de 75 puntos entre 2014 y 2016, mientras que los vehículos diésel redu-

FIGURA 1
EVOLUCIÓN DEL PARQUE DE TURISMOS EN ESPAÑA: GASOIL VS. GASOLINA, 1990-2016



Fuente: Dirección General de Tráfico.

ieron sus matriculaciones en 14 puntos. En diciembre de 2017, los vehículos gasolina ya superaban en matriculaciones a los vehículos diésel.

En cuanto al VE, la penetración en el mercado de turismos ha sido limitada en términos absolutos si se compara con el parque de turismos diésel y gasolina, siendo el parque circulante en diciembre de 2017 de 14.842 unidades, un 0,06% del parque de vehículos de combustión interna (VCI). Si bien es una proporción todavía poco relevante, es destacable su tasa de crecimiento en los últimos siete años (Figura 2), entre el 65 y el 85% los últimos tres años de la serie.

Su distribución regional, dadas sus características técnicas (autonomía, duración de la carga) está concentrada en las aglomeraciones urbanas. En diciembre de 2017, la Comunidad de Madrid concentraba el 48% del parque de VE de España, seguida por Barcelona (16%) y Baleares (3%).

Características básicas de los vehículos eléctricos

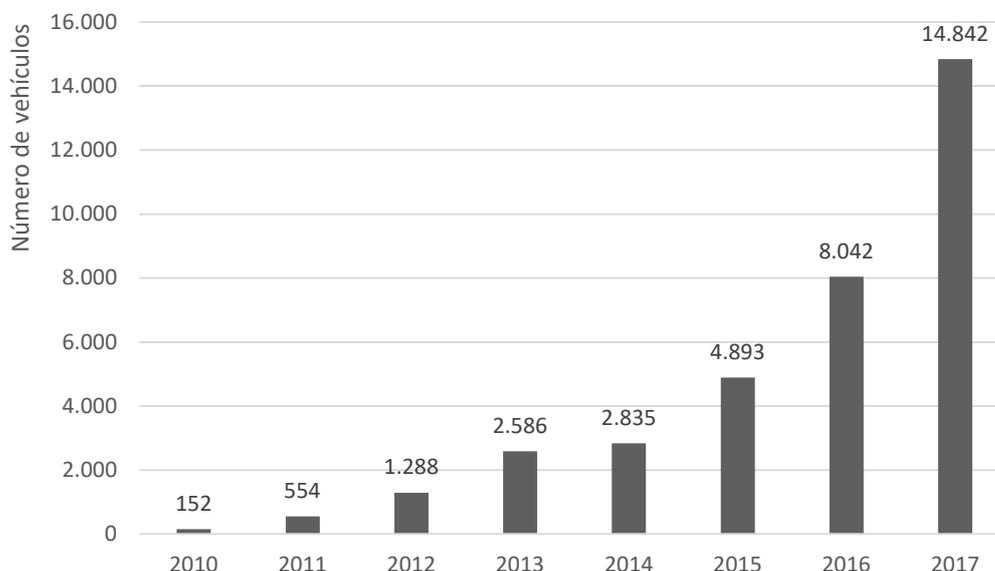
Los VE tienen algunas características que son relevantes para su fiscalidad (1). La Tabla 1 ofrece una breve descripción de las mismas para algunos de los modelos más vendidos en 2017: *Nissan Leaf*, *Renault Zoe*, *Smart fortwo* y *BMW i3*.

Aunque existen diferencias, los órdenes de magnitud de las variables básicas son similares. Las variables principales son aquellas relacionadas con el funcionamiento de las baterías, que se pueden recargar de varias maneras en función de las especificaciones del vehículo y del punto de la red

del que se toma la electricidad para la recarga. Así, la recargas de las baterías pueden ser cargas lentas, semirrápidas y rápidas. La diferencia en la velocidad de carga viene determinada por la combinación del tipo de corriente (corriente alterna monofásica/trifásica; corriente continua), que permite una cierta intensidad (medida en amperios) y la potencia (medida en kW). En general, las tomas de corriente alterna monofásica/trifásica de 230V-400V, con una tensión de 16A y 2-11 kW de potencia son las más comunes. Este tipo de toma permite la carga lenta que puede durar varias horas según la combinación de estas variables: en una toma domiciliaria de 230V, 16A y 3,6 kWh, la recarga puede durar alrededor de 8 horas. Por su parte la instalación de una toma de corriente continua, generalmente asociado a altos voltajes (~600V), intensidades (~400A) y potencias (~200kW), permite la carga en menos de una hora, pero requiere de una infraestructura y supervisión específica, generalmente ligada a la explotación comercial o el uso intensivo de la electricidad (por ejemplo, las «electrolineras» o estaciones de servicio dirigidas a la recarga de VE).

El consumo de un VE si sitúa entre los 12 y los 20 kWh cada 100 km en un contexto de baterías con una capacidad de entre 15 y 40 kWh. Con estos rangos, un VE goza de una autonomía entre los 100 y 300 km según el tipo de conducción. Por tanto, con la tecnología actual y el despliegue de puntos de recarga no domiciliarios, limitado en comparación con las estaciones de servicio para VCI, este tipo de vehículos han adquirido una vocación de ámbito urbano.

FIGURA 2
EVOLUCIÓN DEL PARQUE DE TURISMOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA, 2010-2017



Fuente: Dirección General de Tráfico.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MODELOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MÁS VENDIDOS EN ESPAÑA EN 2015

	Unidades	Nissan Leaf	Renault Zoe	Smart Fortwo	BMW i3
Tipo de corriente	-	AC	AC	AC	AC
Capacidad	kWh	40	23,3	17,6	22
Tipo de batería	-	Litio	Litio	Litio	Litio
Carga lenta	kW	2,3-6,6	2,3-7,4	4,6	No disponible
Carga rápida	kW	50	43	22	No disponible
Consumo	kWh/100 km	19,4	15	13,0	13,1-13,6
Autonomía	km	270 ¹	300	155	290-300
Caballos fiscales	cvf	15,53	11,64-13,20	10,68-11,65	24,26

Los caballos fiscales son los recogidos en la Orden HFP/1258/2017, de 5 diciembre, por la que se aprueban los precios medios de venta aplicables en la gestión del Impuesto sobre Transmisiones Patrimoniales y Actos Jurídicos Documentados, Impuesto sobre Sucesiones y Donaciones e Impuesto Especial sobre Determinados Medios de Transporte.

Fuente: Elaboración propia a partir de las fichas técnicas de los vehículos, disponibles en las webs de las marcas.

LA RECAUDACIÓN, DERIVADA DE LOS TURISMOS Y LAS FUENTES DE ENERGÍA PARA EL TRANSPORTE EN ESPAÑA

Para poder comparar la tributación derivada de los VCI y compararla con los VE en su fase de uso, es necesario conocer cuál es el marco legal que lo regula. A continuación se hace un repaso de los elementos más relevantes.

Tributación de turismos

Impuesto especial sobre determinados medios de transporte (Impuesto de matriculación)

El Impuesto especial sobre determinados medios de transporte (IEDMT) está regulado por la Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales. El hecho

imponible está constituido por la primera matriculación en España de vehículos, nuevos o usados y provistos de motor para su propulsión, que cumplan unas determinadas características.

El IEDTM es un impuesto que se aplica *ad valorem*, es decir, sobre su valor. En el caso de los medios de transporte nuevos la base imponible es la misma que la establecida para el Impuesto sobre el valor añadido en la adquisición. Respecto a los medios de transporte de segunda mano, es el valor de mercado en la fecha del devengo. Bajo determinados supuestos y usos, se prevén supuestos de no sujeción y exenciones (por ejemplo, los taxis).

En 2002, el IEDMT fue cedido a las CCAA que, haciendo uso de la potestad que les confiere el Artículo

FIGURA 2
TIPOS IMPOSITIVOS DEL IMPUESTO SOBRE DETERMINADOS MEDIOS DE TRANSPORTE POTENCIALMENTE REFERIDOS A LOS TURISMOS (EPÍGRAFES 1-4 DE 9), EN %. VALORES MÍNIMOS ESTATALES Y VALORES DIFERENTES DE LOS MÍNIMOS ESTATALES APLICADOS EN LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS.

Epígrafes	Descripción	Tipo general Península y Baleares	Andalucía	Asturias	Baleares	Cantabria	Cataluña	Extremadura	Murcia	Canarias	Comunidad Valenciana
1	a) Vehículos cuyas emisiones oficiales de CO ₂ < 120 g/km, con excepción de los vehículos <i>quad</i> y de los vehículos comprendidos en los epígrafes 6º, 7º, 8º y 9º b) Vehículos provistos de un solo motor que no sea de combustión interna, con excepción de los vehículos <i>quad</i> .	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-
2	Vehículos cuyas emisiones oficiales de CO ₂ sean superiores a 120 g/km e inferiores a 160 g/km, con excepción de los vehículos <i>quad</i> y de los vehículos comprendidos en el epígrafe 9º	4,75	-	-	-	-	-	5,2	-	5,20	-
3	Vehículos cuyas emisiones oficiales de CO ₂ sean superiores a 160 g/km e inferiores a 200 g/km, con excepción de los vehículos <i>quad</i> y de los vehículos comprendidos en el epígrafe 9º	9,75	-	-	-	9,75	-	11	-	11	-
4	a) Vehículos cuyas emisiones oficiales de CO ₂ sean ≥ 200 g/km, con excepción de los vehículos <i>quad</i> y de los vehículos comprendidos en el epígrafe 9º. b) Vehículos respecto de los que sea exigible la medición de sus emisiones de CO ₂ , cuando estas no se acrediten. c) Vehículos de las categorías N2 y N3 acondicionados como vivienda. d) Vehículos tipo <i>quad</i> . Se entiende por tal el vehículo de cuatro o más ruedas, con sistema de dirección mediante manillar en el que el conductor va sentado a horcajadas y que está dotado de un sistema de tracción adecuado a un uso fuera de carretera. e) Motos náuticas. Se entiende por tal la embarcación propulsada por un motor y proyectada para ser manejada por una o más personas sentadas, de pie o de rodillas, sobre los límites de un casco y no dentro de él.	14,75	16,9	16	16	15	16	16	15,9	16	16

Fuente: Tipos estatales, recogidos en la Ley 38/1992 y Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. Tipos Autonómicos, Agencia tributaria: <https://goo.gl/5jwg7B> Nota: En Ceuta y Melilla los tipos son del 0% en todos los epígrafes.

51 de la Ley 22/2009, pueden incrementar los tipos establecidos en el artículo 70, apartado 1 de la Ley 38/1992 en hasta un 15%. Si la Comunidad Autónoma no hubiese aprobado tipos propios, se aplican los establecidos en la Ley. El criterio para estructurar los tipos está basado en las emisiones de CO₂ por kilómetro. La Tabla 2 muestra los tipos impositivos r los turismos.

La recaudación de este impuesto en 2017 (390,2 millones de euros), representó un 36% de la recaudación en 2008 (Figura 3). Esto se debe a que los vehículos correspondientes al epígrafe 1 (con un tipo del 0%, sin generar ingresos tributarios por tanto) supusieron el 75,02% de los turismos sujetos al impuesto. Los vehículos del epígrafe 2 fueron los que más aportaron a la recaudación, pasando de una situación relativamente equilibrada con respecto al epígrafe 3 y 4 en

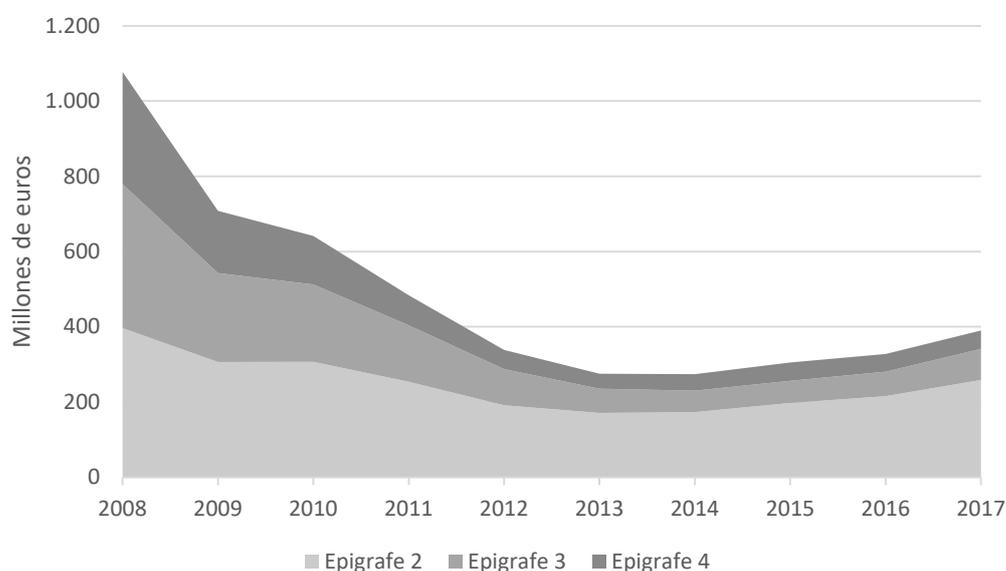
2008, a acumular el 66,3% en 2017. La matriculación de VCI diésel supuso el 54% de los ingresos en 2017, proporción que era de un 72% en 2010.

Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica

El Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica (IVTM) se encuentra regulado en el Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales. Se aplica en el ámbito municipal y grava la titularidad de los vehículos de esta naturaleza, con exenciones previstas para determinados tipos de usos, como los vehículos para el transporte público.

Las cuotas para los turismos se determinan en función de la denominada potencia fiscal, medida en caba-

FIGURA 3
RECAUDACIÓN DEL IMPUESTO ESPECIAL SOBRE DETERMINADOS MEDIOS DE TRANSPORTE (EPÍGRAFES 1-4), 2008-2017



Fuente: Agencia Tributaria, <https://goo.gl/jkDaw>. Nota: el epígrafe 1 no se representa ya que el tipo impositivo es del 0% y por tanto no tiene recaudación asociada.

TABLA 3
TARIFAS BÁSICAS DEL IMPUESTO SOBRE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN MECÁNICA PARA TURISMOS

A) Turismos	€
De menos de 8 caballos fiscales	12,62
De 8 hasta a 11,99 caballos fiscales	34,08
De 12 hasta a 15,99 caballos fiscales	71,94
De 16 hasta a 19,99 caballos fiscales	89,61
De 20 caballos fiscales en adelante	112,00

Fuente: Real Decreto Legislativo 2/2004.

llos fiscales (Tabla 3). Además, en su artículo 95.4 establece que «Los ayuntamientos podrán incrementar las cuotas fijadas en el apartado 1 de este artículo mediante la aplicación sobre ellas de un coeficiente, el cual no podrá ser superior a 2». También, a título potestativo, pueden aplicar bonificaciones de hasta el 75 por 100 del impuesto en función del tipo de combustible utilizado por el vehículo, el impacto ambiental de dicho combustible y las características del motor y su impacto ambiental (artículo 95.6). La Tabla 3 muestra las tarifas básicas de este impuesto para 2018.

En 2016 se recaudaron 2.392 millones de euros (un 3,3% de los derechos reconocidos netos de las entidades locales) a través de este impuesto, consolidando una tendencia incremental desde 2014 que contrasta con la tendencia a la baja registrada en años anteriores (Figura 4).

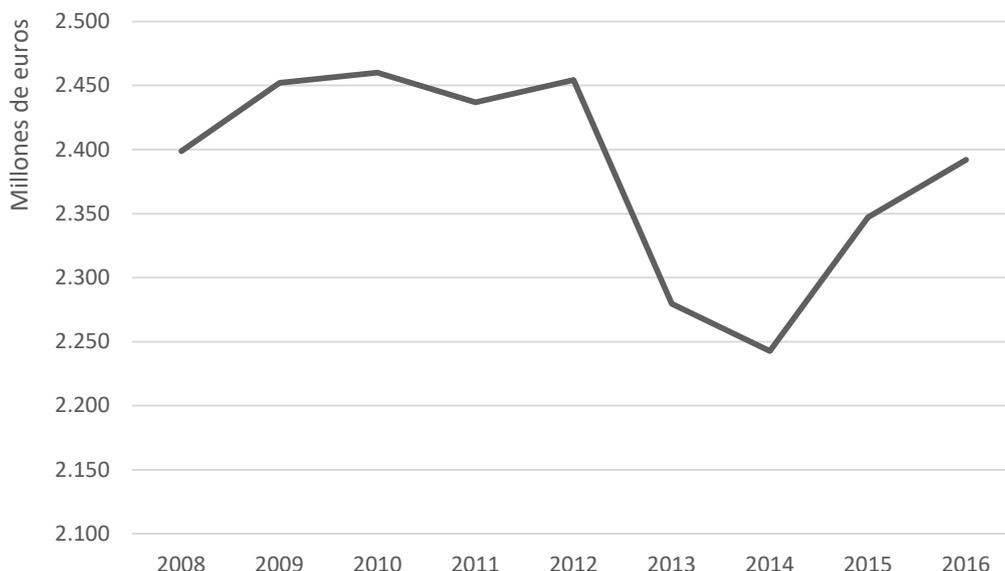
Tributación de la gasolina y el gasóleo: el impuesto especial sobre hidrocarburos

Dentro de los hidrocarburos que sirven como combustibles para los VCI, el gasóleo A (diésel) y la gasolina sin plomo de 95 octanos son los combustibles más comunes. En 2017, el consumo de 23.049.661 t de gasóleo A representaba el 75% del consumo de gasóleos, mientras que la gasolina sin plomo de 95 octanos, con un consumo de 4.474.682 t, representaba el 92% del consumo de gasolinas. En conjunto, estos dos tipos de combustibles abarcaban el 47% del total del consumo de productos petrolíferos en España en 2017 (CORES, 2018a).

A estos y otros combustibles se les aplica el Impuesto especial sobre hidrocarburos (IEH), regulado por la Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales. La base imponible del impuesto para el diésel y la gasolina está constituida por el volumen del producto. Los mínimos para los tipos de este impuesto están regulados a nivel europeo por la Directiva 2003/96/CE del consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad. Hasta el año 2018, el tipo de gravamen aplicable se formaba mediante la suma de los tipos estatales y autonómico, si bien este último ha sido derogado por el art. 82.2.1 de la Ley 6/2018, de 3 de julio por su incompatibilidad con el régimen tributario armonizado de la Unión Europea, y en concreto con el artículo 5 de la Directiva 2003/96/CE.

Los tipos estatales (definidos en el artículo 50 de la Ley 38/1992) están formados por la suma de un tipo general y otro especial. Los tipos estatales son ac-

FIGURA 4
RECAUDACIÓN DEL IMPUESTO SOBRE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN MECÁNICA, 2008-2016



Fuente: Ministerio de Hacienda. Datos liquidaciones presupuestarias de las entidades locales: <http://serviciostelematicosextr.minhap.gob.es/SGCAL/entidadeslocales/>

TABLA 4
TIPOS IMPOSITIVOS DEL IMPUESTO SOBRE HIDROCARBUROS. TARIFA 1ª, CON EFECTOS A 1 DE ENERO DE 2019

Tipos	Ámbito	Epígrafe 1.2.2. Las demás gasolinas sin plomo (€/kl)	Epígrafe 1.3. Gasóleos para uso general (€/kl)
Mínimos: Directiva 2003/96/CE (desde 2010)	Europeo	359	330
Tipo estatal (Tarifa 1ª, Tipo general)	Estatal	400,69	307
Tipo estatal (Tarifa 1ª, Tipo especial)	Estatal	72	72
Suma tipos general y especial	Estatal	472,69	379

Fuente: Ley 38/1992, Directiva 2003/96/CE, Agencia Tributaria, Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

tualizables a través de los Presupuestos Generales del Estado. La Tabla 4 muestra el mínimo establecido en la Directiva 2003/96/CE y el tipo aplicable a partir de enero de 2019 para la gasolina sin plomo y el diésel.

La Ley de Impuestos Especiales recoge también dos tipos de exenciones, las de carácter general y las de carácter específico. Además, se reconoce el derecho a la devolución total de las cuotas satisfechas en condiciones específicas, y parcial por el gasóleo de uso profesional que beneficia a los titulares de determinados tipos de vehículos (p.e. taxis, usos agrícolas, etc.).

Dado que, en conjunto, los productos petrolíferos y el gas suponen un alto porcentaje de la demanda de energía final en España, este impuesto es el impuesto ambiental más relevante. De acuerdo con la Agencia Tributaria, dicha recaudación, ha registrado valores entre los 10.500 y los 11.000 millones los últimos años.

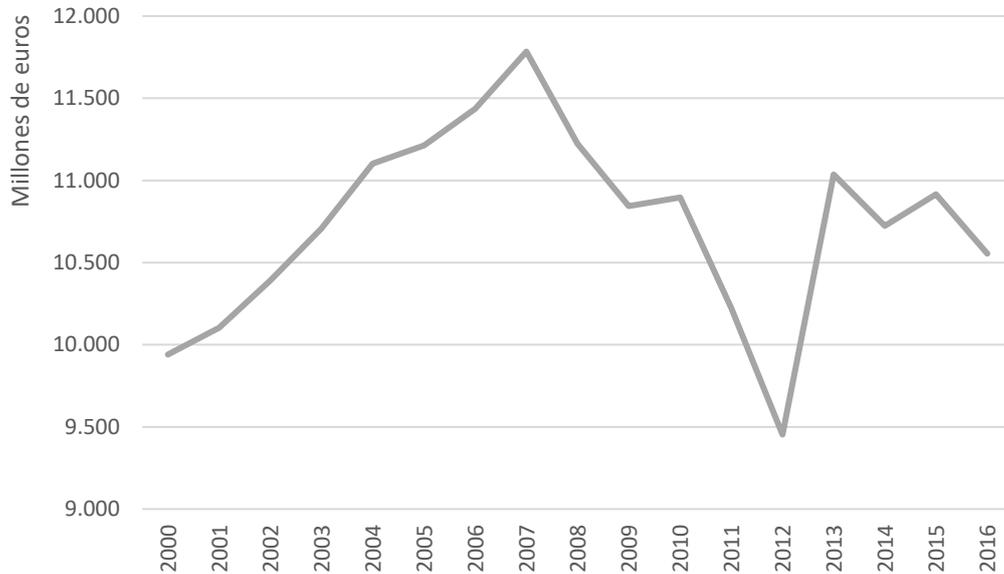
Tributación relacionada con la producción y consumo de electricidad

Impuesto especial sobre la Electricidad

El Impuesto especial sobre la Electricidad (IEE), regulado por la Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales, es un tributo *ad valorem* que recae sobre el consumo de energía eléctrica. El hecho imponible es el suministro de energía eléctrica a una persona o entidad que adquiere la electricidad para su propio consumo, incluyendo tanto la prestación del servicio de peajes de acceso a la red eléctrica como la entrega de electricidad. A los efectos de este impuesto, los gestores de cargas (por ejemplo, las electrolíneas) tendrán la condición de consumidores y por tanto no podrán repercutir formalmente el impuesto al consumidor final.

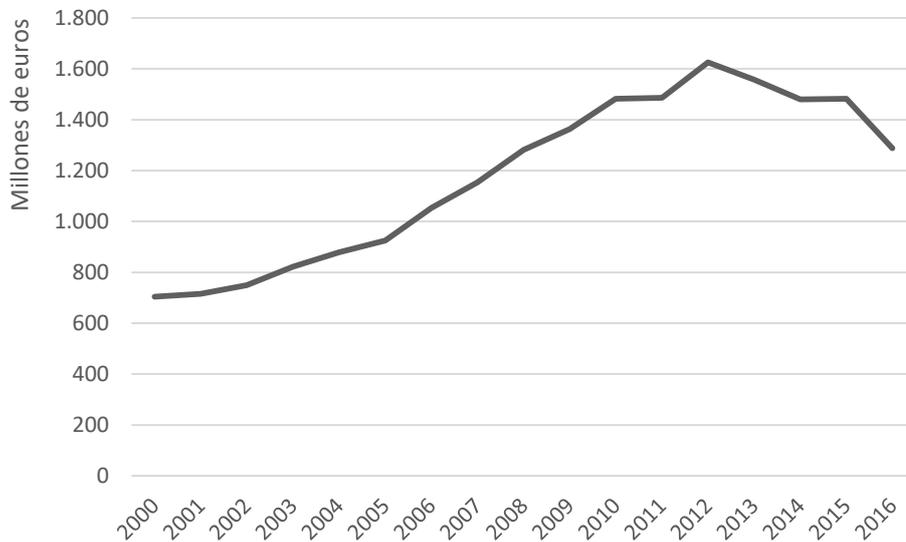
La base imponible es coincidente con la determinada a efectos del Impuesto sobre el Valor Añadido, excluidas las cuotas del propio Impuesto sobre la Electricidad, siendo el tipo impositivo de un 5,11269632%.

FIGURA 5
RECAUDACIÓN DEL IMPUESTO ESPECIAL SOBRE HIDROCARBUROS, 2000-2016



Fuente: Agencia Tributaria, <https://goo.gl/sFht4K>. Nota: La recaudación entre 2000-2015 es recaudación consolidada. Para el año 2016 se trata de una estimación de los derechos reconocidos netos.

FIGURA 6
RECAUDACIÓN DEL IMPUESTO ESPECIAL SOBRE LA ELECTRICIDAD, 2000-2016



Fuente: Agencia Tributaria, <https://goo.gl/sFht4K>. Nota: La recaudación entre 2000-2015 es recaudación consolidada. Para el año 2016 se trata de una estimación de los derechos reconocidos netos.

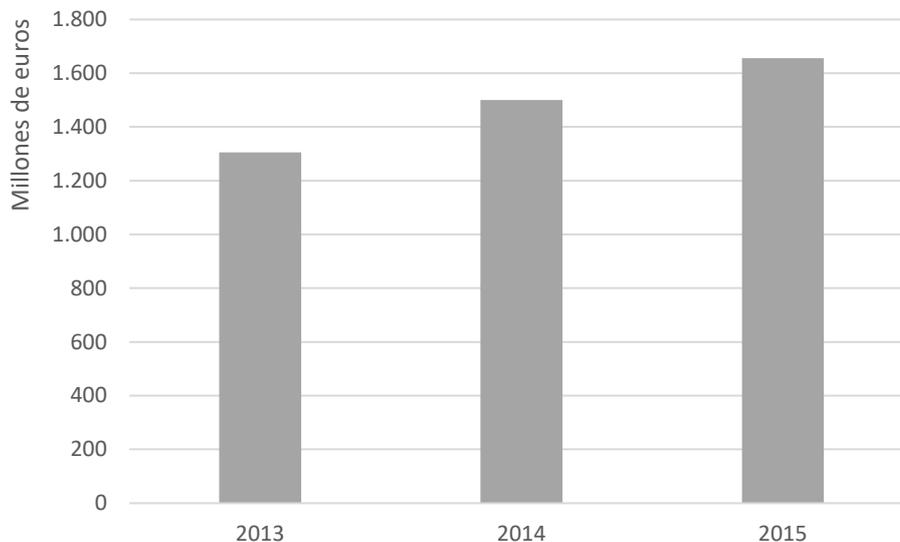
La recaudación (Figura 6) en 2015 se estima en 1.481 millones de euros y los derechos reconocidos netos de 2016 ascienden a 1.288 millones de euros.

Impuesto sobre el valor de la producción de la energía eléctrica

Además de la tributación sobre el consumo de electricidad, en España existe tributación referida a

la producción de energía eléctrica a través del Impuesto sobre el valor de la producción de la energía eléctrica (IVPE), regulado por la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética. Su hecho imponible lo constituye la producción e incorporación al sistema eléctrico de energía eléctrica medida en barras de central, incluidos el sistema eléctrico peninsular y los territorios insulares y extrapeninsulares. El impuesto se aplica a

FIGURA 7
RECAUDACIÓN DEL IMPUESTO ESPECIAL SOBRE LA ELECTRICIDAD, 2013-2015



Fuente: Agencia Tributaria, <https://goo.gl/sFHt4K>.

la producción de todas las instalaciones de generación.

La base imponible del impuesto está constituida por el importe total que corresponda percibir al contribuyente por la producción e incorporación al sistema eléctrico de energía eléctrica medida en barras de central en el período impositivo. Se trata por tanto de un impuesto *ad valorem*, cuyo tipo de gravamen está fijado en el 7%.

La recaudación consolidada de este impuesto en 2015 fue de 1.656 millones de euros (Figura 7).

Otros impuestos relacionados con la producción de electricidad.

Además de los impuestos mencionados, existen el Impuesto sobre la producción de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos resultantes de la generación de energía nucleoelectrónica y el Impuesto sobre el almacenamiento de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos en instalaciones centralizadas, regulados por la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética, son de carácter directo y naturaleza real.

Estos impuestos, como se explica más adelante, no serán tenidos en cuenta para el presente trabajo.

Impuesto sobre el valor añadido

El impuesto sobre el valor añadido (IVA) forma parte de la tributación armonizada a nivel europeo, regulada a través de la Directiva 2006/112/CE del Consejo, de 28 de noviembre, relativa al sistema común del impuesto sobre el valor añadido. A nivel estatal, está regulado

por la Ley 37/1992, de 28 de diciembre, del Impuesto sobre el Valor Añadido.

La base imponible, de acuerdo con el artículo 78.1 de la Ley, «estará constituida por el importe total de la contraprestación de las operaciones sujetas al mismo procedente del destinatario o de terceras personas». Especificando, además, en el artículo 78.4 que el concepto de contraprestación incluye «los tributos y gravámenes de cualquier clase que recaigan sobre las mismas operaciones gravadas, excepto el propio Impuesto sobre el Valor Añadido. Lo dispuesto en este artículo comprenderá los impuestos especiales que se exijan en relación con los bienes que sean objeto de las operaciones gravadas, con excepción del impuesto especial sobre determinados medios de transporte». Dada la definición de la base imponible del IVA, su base imponible incluirá el IEH y el IEE adicionalmente al valor de los productos que gravan.

Los tipos aplicables son del 21% de forma general, si bien para determinados productos y servicios se establecen tipos reducidos del 10 y del 4%.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

Para estudiar la dimensión fiscal de la sustitución de VCI por VE, se ha optado por una aproximación circunscrita a la fase de uso de los turismos, desde el momento de la matriculación (excluyendo la compra) y hasta el momento previo de su disposición como vehículo fuera de uso, excluyendo la recaudación a través del IVA de las operaciones de reparación y mantenimiento. La justificación de estos límites viene dada, fundamentalmente por la disponibilidad de datos.

El enfoque metodológico consiste en estimar la recaudación de los turismos de combustión interna y eléctrica.

TABLA 5
VALORES DE REFERENCIA Y FUENTES ESTADÍSTICAS PARA VEHÍCULOS DIÉSEL

Variable	Valor	Unidad	Fuente
Consumo de diésel 2017	23.049.661	t	(CORES, 2018b)
Parque vehículos diésel 2017	13.489.931	unidades	Dirección General de tráfico
Consumo medio parque VCI diésel	0,07	l/vehículo*km	(Comisión Nacional de la Energía, 2013a)
Precio medio diésel sin impuestos (junio 2018)	64,85	Céntimos de €/litro	(Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, 2018)
Tipo impositivo IEH previsto enero 2019	37,9	Céntimos de €/litro	Ley 38/1992, MINETUR
Base imponible estimada para el IVA	1,0275	€/litro	Ley 37/1992
IVA en porcentaje previsto enero 2019	21	%	Ley 37/1992
IVA en valor absoluto estimado enero 2019	0,215775	€/litro	Estimado a partir de Ley 37/1992
PVP diésel estimado enero 2019	1,243275	€/litro	Estimado

Fuente: Elaboración propia basada en las fuentes indicadas en la tabla.

TABLA 6
VALORES DE REFERENCIA Y FUENTES ESTADÍSTICAS PARA VEHÍCULOS GASOLINA

Variable	Valor	Unidad	Fuente
Consumo de gasolinas 95 y 98 octanos 2017	4.863.463	T	(CORES, 2018b)
Parque vehículos gasolina 2017	10.103.857	Unidades	Dirección General de tráfico
Consumo medio parque VCI gasolina	0,09	l/vehículo*km	(Comisión Nacional de la Energía, 2013b)
Precio medio gasolina sin impuestos (junio 2018)	63,39	Céntimos de €/litro	(Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, 2018)
Tipo impositivo IEH previsto enero 2019	47,269	Céntimos de €/litro	Ley 38/1992, MINETUR
Base imponible estimada para el IVA	1,10659	€/litro	Ley 37/1992
IVA en porcentaje previsto enero 2019	21	%	Ley 37/1992
IVA en valor absoluto previsto enero 2019	0,2323839	€/litro	Estimado a partir de Ley 37/1992
PVP gasolina estimado enero 2019	1,3389739	€/litro	Estimado

Fuente: Elaboración propia basada en las fuentes indicadas en la tabla.

cos, para extrapolarla a los escenarios de penetración del VE que maneja la administración pública.

Variables para el cálculo de la recaudación de los vehículos de combustión interna

Para el caso de los VCI, la recaudación por kilómetro y vehículo aborda los ingresos en concepto del IEH e IVA del diésel y la gasolina, así como IEDMT e IVTM.

Variables para estimar la recaudación por el consumo de combustibles

La recaudación del IEH se puede estimar a partir de la demanda de combustible. Para calcular los ingresos del IVA por la venta de hidrocarburos se ha de asumir un valor para el precio de los carburantes. Se utilizará el último dato publicado por el Ministerio de industria y Turismo (2) para los precios. Estos datos se exponen en la Tabla 5 y Tabla 6.

Variables para estimar la recaudación por el Impuesto especial sobre determinados medios de transporte

En el caso del IEDMT, se han utilizado los ingresos promedio por vehículo de cada epígrafe que se detallan en la Figura 9. Así, para tener en cuenta el efecto so-

bre la recaudación de este impuesto será necesario suponer a qué epígrafe se correspondería cada VCI sustituido por un VE.

Variables para estimar la recaudación por el Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica

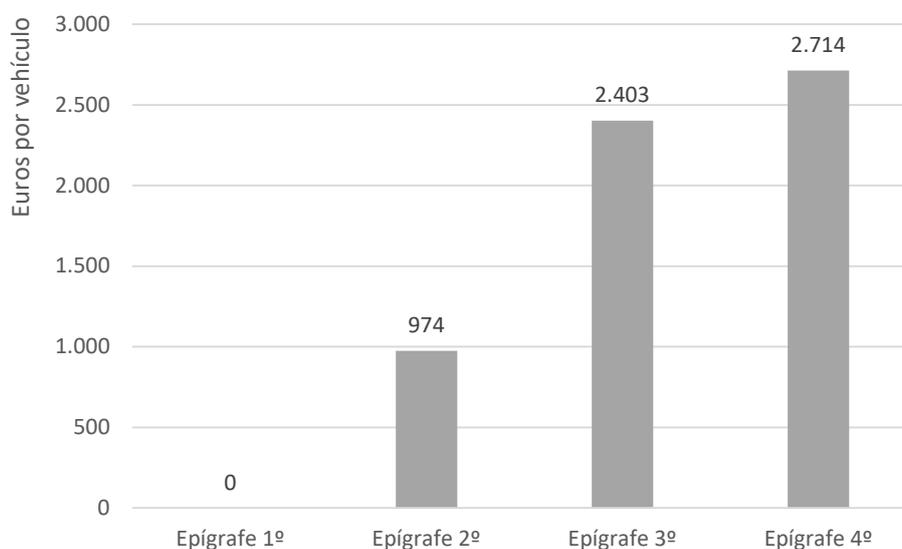
Por su parte, el IVTM se aplica a nivel municipal. Para este trabajo, se han analizado las ordenanzas fiscales correspondientes a las ciudades de Madrid y Barcelona, que en 2017 acaparaban más del 50% del parque de VE. La Tabla 7 expone las cuotas en vigor en ambas ciudades para el año 2018, donde los VE contaban con una bonificación del 75% para todas las categorías en ambas ciudades.

Para calcular el diferencial en el ingreso entre un VCI y un VE habrá que realizar una hipótesis sobre la potencia fiscal de los vehículos eléctricos y de los VCI sustituidos por éstos.

Variables para el cálculo de la recaudación de los vehículos eléctricos

En cuanto al cálculo de la recaudación unitaria de los VE también serán necesarias algunas hipótesis para realizar los cálculos.

FIGURA 8
RECAUDACIÓN PROMEDIO DEL IEDMT POR VEHÍCULO EN CADA EPÍGRAFE, 2017



Fuente: Dirección General de Tráfico, <https://goo.gl/jkDdw>.

TABLA 7
CUOTAS (€/AÑO) DEL IVTM EN MADRID Y BARCELONA PARA 2018, REFERIDAS A TURISMOS

	Barcelona		Madrid	
	VCI	VE	VCI	VE
De menos de 8 caballos fiscales	23,47	5,87	20	5
De 8 a 11,99 caballos fiscales	64,06	16,02	59	14,75
De 12 a 15,99 caballos fiscales	136,69	34,17	129	32,25
De 16 a 19,99 caballos fiscales	172,05	43,01	179	44,75
De 20 o más caballos fiscales	217,28	54,32	224	56

Fuente: Elaboración propia a partir de la Ordenanzas fiscales de 2018 reguladoras del IVTM en Madrid (3) y Barcelona (4).

La primera variable que se debe tener en cuenta es el consumo energético por kilómetro del parque de VE. Para este dato no se han encontrado publicaciones oficiales, por lo que se ha extraído un valor aproximado ponderando el consumo de los vehículos más representativos (ver Tabla 1) tomando un valor de referencia de 0,16 kWh/km de consumo nominal. Con esta cifra como base y asumiendo un funcionamiento no óptimo con un 25% de pérdidas en la recarga y operación de la batería y el vehículo (bajo condiciones de conducción no óptimas), se ha utilizado un valor referencia de 0,20 kWh de electricidad consumida en la red por kilómetro recorrido.

En segundo lugar, se deben tener en cuenta los hábitos de recarga (por ejemplo, carga lenta, nocturna, domiciliaria vs. carga rápida en electrolinera), ya que condiciona los costes asociados al término de potencia y de energía aplicable, y por tanto la recaudación asociada. En este sentido se han construido dos escenarios:

- recarga en domicilio o garaje sin aumento de potencia, con una potencia contratada de 4,4 kW;
- recarga en domicilio o garaje con aumento de potencia de 4,4kW y un consumo mensual de 100 kWh a 9,9 kW.

Con respecto a las electrolineras y puntos de recarga públicos, los puntos de recarga de VE son consumidores a efectos fiscales, por tanto la base imponible será el precio al que estos puntos pagan la electricidad y no al que se la venden a los consumidores finales. Sobre estos precios de compra de las electrolineras a las compañías eléctricas no se han encontrado datos, si bien es razonable asumir un precio del kWh inferior al precio de los consumidores domésticos. Un punto relevante es que a tenor de los recogido por la base de datos de la web «electromaps» (5) que aglutina información de más de 3.000 puntos de recarga, este servicio se cobra con poca frecuencia al cliente final, y cuando se cobra se hace en concepto de recarga con una tarifa por kWh (entre 0,20 y 0,60 €/kWh) a la

TABLA 8
VALORES DE REFERENCIA Y FUENTES ESTADÍSTICAS PARA EL VE

Variable	Valor	Unidad	Fuente
Consumo medio estimado VE	0,20	kWh/km	Estimado a partir de la información de los fabricantes
Tipo impositivo IEE	5,11269632	%	Ley 38/1992
IVA	21	%	Ley 37/1992
Tipo impositivo IVPE	7	%	Ley 15/2012 y 16/2013
Precio medio ponderado término potencia sin discriminación horaria para 3,3 kW de potencia contratada	40,90	€/kW*año	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC ²
Precio medio ponderado término consumo sin discriminación horaria para 3,3 kW de potencia contratada	0,1110	€/kWh	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC
Precio medio ponderado término potencia con discriminación horaria para 3,3 kW de potencia contratada	38,04	€/kW*año	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC
Precio medio ponderado término consumo con discriminación horaria para 3,3 kW de potencia contratada ³	0,1060	€/kWh	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC
Precio medio ponderado término potencia sin discriminación horaria para 4,4 kW de potencia contratada	40,90	€/kW*año	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC
Precio medio ponderado término consumo sin discriminación horaria para 4,4 kW de potencia contratada	0,1110	€/kWh	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC
Precio medio ponderado término potencia con discriminación horaria para 4,4 kW de potencia contratada	38,04	€/kW*año	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC
Precio medio ponderado término consumo con discriminación horaria para 4,4 kW de potencia contratada	0,1080	€/kWh	Comparador de precios de la electricidad de la CNMC
Precio sin impuestos carga rápida en electrolinerías	0,4	€/kWh	Electromaps (el rango de precios de carga, en aquellos puntos donde se cobra, están entre los 0,35 y los 0,60 €/kWh)

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes indicadas.

que se le añade el IVA. En algunos casos, se cobra, además, el estacionamiento para la recarga por horas, y con una tarifa a la que hay que añadir el IVA. Por tanto, las electrolinerías estarán aportando ingresos tributarios en concepto del IEE y el IVA de electricidad comprada, y el IVA del servicio de recarga y/o estacionamiento cobrado a los usuarios finales. Para los objetivos de este trabajo se ha descartado incluir los ingresos por recargas en electrolinerías dada la falta de información al respecto.

Por último, al tratarse el IEE de un impuesto *ad valorem* se deberán tener en cuenta aquellos aspectos que influyan en el precio de la electricidad. Se ha recabado información ofrecida por el comparador alojado por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (6) sobre las tarifas de las principales compañías para mercado libre y mercado regulado, con y sin discriminación horaria. Según este mismo organismo, en 2017 el 58% de los puntos de suministro correspondían al mercado libre mientras que el 42% accedían a la red a través del mercado regulado. Para tener una orientación sobre el precio asociado al término de potencia y consumo, se ha consultado el precio más competitivo de cada mercado y se ha ponderado el resultado para tarifas con y sin discriminación horaria (Tabla 8).

Los hábitos de recarga incidirán también sobre la generación de electricidad, lo cual en último término repercutirá sobre la recaudación del IVPE. Para analizar este punto, cabrá plantarse qué proporción de la energía eléctrica requerida por la movilidad eléctrica será

adicional a la demanda actual y prevista, y qué parte se integrará en los valles de demanda nocturna. En términos generales, consumos en horas pico resultarán en un aumento neto de la demanda eléctrica mientras que recargas nocturnas tendrán un impacto neto menor o incluso nulo, de acuerdo con el mix eléctrico que opere en cada momento.

Para analizar el impacto de los hábitos de recarga sobre el IVPE, se tendrá en cuenta que la base imponible del IVPE «está constituida por el importe total que corresponda percibir al contribuyente por la producción e incorporación al sistema eléctrico de energía eléctrica, medida en barras de central, por cada instalación, en el período impositivo.» En consecuencia, será necesario realizar una hipótesis sobre la evolución de los precios de la electricidad puesta en el mercado mayorista, lo cual es ciertamente un ejercicio complejo (7) y que trasciende los objetivos del presente estudio. En su lugar, a nivel indicativo, se ha calculado la recaudación para los años en que lleva vigente el IVPE, en relación a la demanda final. Así, en 2015 se recaudaron 0,0063 €/kWh de demanda final (tabla 9).

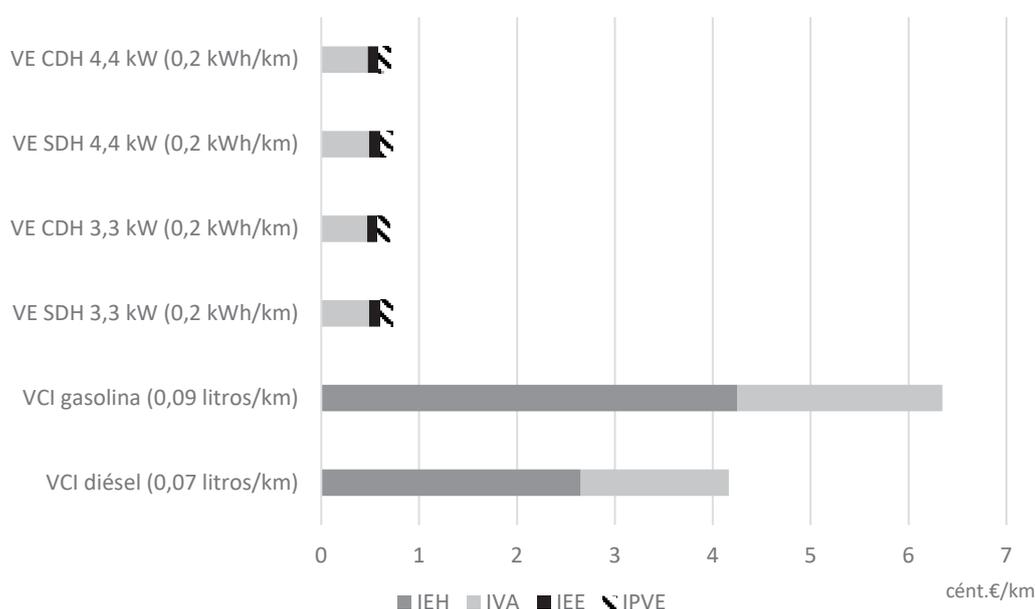
Se ha descartado el Impuesto sobre la producción de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos resultantes de la generación de energía nucleoelectrónica, porque se asume que el VE no implicará una generación de energía eléctrica de origen nuclear adicional, puesto que las plantas existentes ya operan a su máxima capacidad y no se prevé la construcción de nuevas plantas.

TABLA 9
ESTIMACIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON LA RECAUDACIÓN VÍA IVPE

	Unidades	2015	Fuente
Generación en barras de central	GWh	279.744	Red Eléctrica Española
Demanda final	GWh	262.931	Red Eléctrica Española
Recaudación	Millones €	1.656	AEAT
Recaudación	€/kWh en barras de central	0,0059	Elaboración propia
Recaudación	€ por kWh de demanda final	0,0063	Elaboración propia
Recaudación por km (consumo medio 0,20 kWh/km)	€/km	0,0013	Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia. Nota: Recaudación correspondiente a una demanda eléctrica adicional neta.

FIGURA 9
COMPARATIVA DE LA RECAUDACIÓN DE LOS CARBURANTES Y LA ELECTRICIDAD POR KILÓMETRO RECORRIDO EN VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y VEHÍCULOS ELÉCTRICOS



Fuente: Elaboración propia. Nota: CDH: con discriminación horaria; SDH: sin discriminación horaria.

RESULTADOS

Recaudación de los carburantes y la electricidad

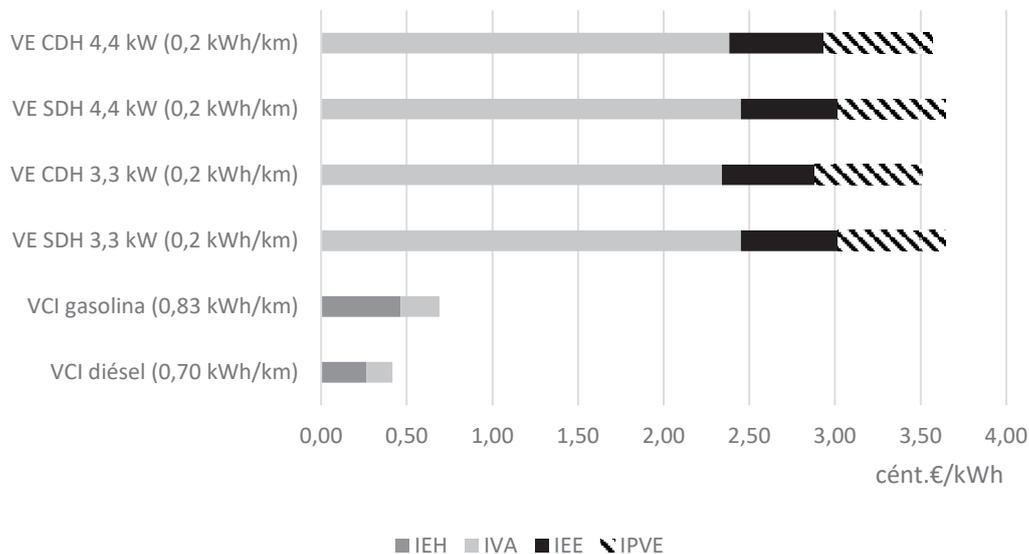
La Figura 9 muestra los resultados de la recaudación por kilómetro en lo que se refiere a los carburantes y la electricidad. Se puede apreciar en primer lugar, que la recaudación estimada para el IEH y el IVA de los VCI es significativamente superior a la del IEE y el IVA de los VE.

Un vehículo diésel con una eficiencia promedio de 0,07 l/km, generará una recaudación en concepto de IEH de 2,65 céntimos de euros por km. A precios de junio de 2018, el IVA correspondiente asciende a 1,51 céntimos de € por kilómetro, que hace un total de 4,16 céntimos de euro por kilómetro. Por su parte un vehículo gasolina, con una eficiencia promedio de 0,09 l/km en promedio aportará 4,25 y 2,09 céntimos de euros por kilómetro, respectivamente

por los mismos conceptos. Los VE, según su patrón de recarga, generan una recaudación entre 0,70 y 0,73 céntimos de euro por kilómetro con hábitos de recarga domiciliaria en función de si se realiza con tarifas con discriminación horaria y nocturna. A modo de orientación, el IVA de la tarifa de recarga más cara en electrolinerías encontrada en electro-maps (0,6 €/kWh), recaudaría 2,5 céntimos de euro por km. Suponiendo que las electrolinerías pagaran la tarifa más barata de las domiciliarias, con un patrón de recarga de electrolinerías, el VE recaudaría 3,22 céntimos de euro por km, aún lejos de los 4,16 céntimos de euro de los vehículos diésel

En el caso de la recaudación por el IVPE, habría que considerar qué parte de la energía consumida es generación adicional y qué parte podría ser absorbida en tramos supervalle de consumo (nocturno), ya que en ese caso habría que descontar su aportación. Esto es relevante porque en las tarifas con dis-

FIGURA 10
COMPARATIVA DE LA RECAUDACIÓN DE LOS CARBURANTES Y LA ELECTRICIDAD POR KWH EN VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y VEHÍCULOS ELÉCTRICOS



Fuente: Elaboración propia. Nota: CDH: con discriminación horaria; SDH: sin discriminación horaria.

criminación horaria persiguen precisamente alentar el consumo en los momentos en que la red produce más electricidad de la que es consumida. En este sentido, la aportación estimada del IVPE es de 0,13 céntimos de euro por km. Con la estructura impositiva y los precios que figuran en las hipótesis, un VCI tendría que consumir entre 1-1,5 litros a los 100 km (8) para igualar su carga impositiva a la de un VE. Desde la perspectiva opuesta, un VE con una eficiencia de alrededor de 40kWh a los 100 km (9) recaudaría la misma cantidad por km que un VCI diésel.

Si realizamos estos cálculos con base en kWh (10), la relación se invierte y son los VE quienes aportan más recaudación por kWh consumido, si bien muestran una mayor eficiencia por km recorrido (Figura 10). Los vehículos diésel, con una eficiencia estimada de 0,70 kWh por km, recaudarían 0,42 céntimos de euro por kWh, mientras que los vehículos gasolina ascenderían a 0,69 céntimos por kWh. Por su parte, los VE, según su patrón de recarga, estarían entre los 3,57 y 3,65 céntimos por kWh.

Una última comparación que puede resultar relevante es la de la recaudación de carburantes y electricidad en función del CO₂ emitido. La Figura 11 muestra cómo la gasolina, que recauda 32,34 céntimos de euro por kg de CO₂ emitido, tiene una carga fiscal superior a la del diésel que recauda 23,60 céntimos y la electricidad que obtiene 9,17 céntimos de ingresos tributarios. En la estructura de tributación de los VCI es el IEH (47,3 céntimos en gasolina y 37,9 céntimos en diésel por kg de CO₂ emitido) la principal carga impositiva, mientras que en los VE el IEE supone un ingreso mucho menos relevante que el IVA.

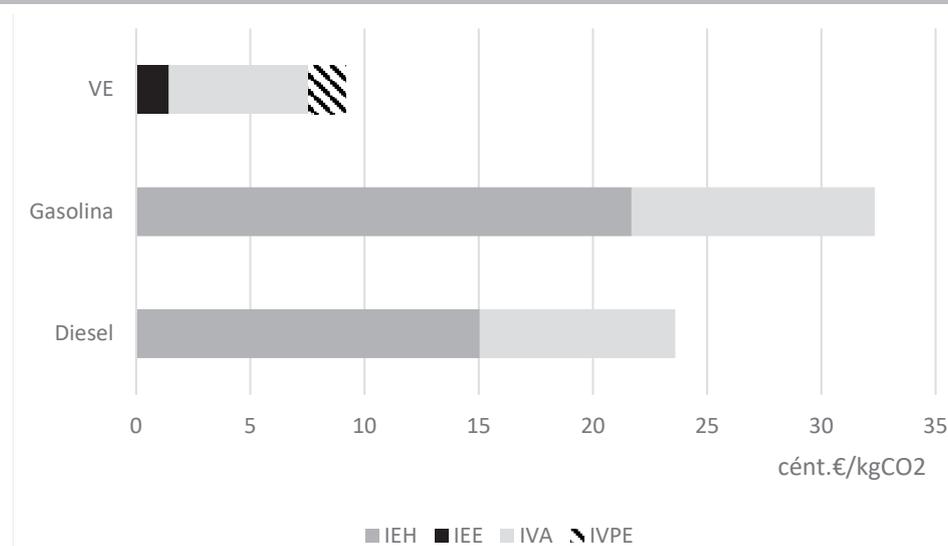
Recaudación del Impuesto sobre determinados medios de transporte

En la Figura 8 se mostraban los ingresos promedio por vehículo en concepto del IEDMT en 2014, según el epígrafe correspondiente. Ya que la base imponible está ligada a las emisiones de CO₂ del vehículo en fase de uso, los VE corresponderán al epígrafe 1 y no aportarán recaudación alguna. Por tanto, la diferencia de recaudación puede estar entre los 0 y los 2.714 euros por vehículo, si bien dado el rango de precios de los vehículos eléctricos, es probable que la compra de un VE de los modelos más vendidos sustituya la compra de un VCI del epígrafe 1 y 2. Si, por ejemplo, asumimos que en un 80% de las ocasiones los VE sustituyen la compra de un VCI del epígrafe 1 y un 20% del epígrafe 2, la introducción de cada VE supondría una disminución de la recaudación de -194,8 euros en promedio.

Recaudación unitaria por vehículo a través del Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica

El ITM es un impuesto municipal, por tanto, resulta fuera del alcance del estudio realizar una evaluación agregada del impacto sobre la recaudación a nivel estatal. Sin embargo, dado que una alta proporción de los VE se encuentran en Madrid y Barcelona, se puede encontrar una orientación en las diferencias de recaudación según la potencia del VE que se considere. Si como valor medio, se asume que un VE de entre 12 y 15,99 caballos fiscales sustituye la compra de un VCI de la misma potencia, el promedio de la diferencia de recaudación por cada VE sería de -99,63 €/vehículo y año (tabla 10).

FIGURA 11
COMPARATIVA DE LA RECAUDACIÓN DE LOS CARBURANTES Y LA ELECTRICIDAD POR KG DE CO₂ EMITIDO EN VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.



Fuente: Elaboración propia. Nota: Factores de emisión de los carburantes para 2017 tomados de (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018). Factor de emisión del mix eléctrico para 2017 tomado de la CNMC.

Comparación de la recaudación en la fase de uso y efecto de la introducción masiva de VE en el mercado español de turismos

Para tener una perspectiva complementaria, la Figura 12 compara la recaudación agregada de los VCI y los VE en su fase de uso (excluyendo mantenimiento y reparaciones), asumiendo 10 años de vida útil y 10.000 km al año por vehículo, y tomando como valores medios los expuestos en las secciones anteriores para el IEDMT y el ITM. De acuerdo con estas hipótesis, la recaudación de los VE está un orden de magnitud por debajo de la recaudación de los VCI. Mientras que un vehículo diésel con este patrón de movilidad recauda 535 €/año y un gasolina llega a los 754 €/año, un VE provee de 72 €/año a las arcas públicas.

Sobre estas hipótesis, cada VE que sustituye la compra de un VCI supondría una reducción promedio de la recaudación de entre 463 y 681 €/año. En un escenario como el planteado por el IDAE (IDAE, 2011) para 2020, con 25 millones de turismos de los cuales el 10% es eléctrico, y asumiendo que un 50% del parque de VCI es de cada tipo de combustible, se recaudarían 1.430 millones de euros menos en impuestos derivados de turismos, que en ausencia del VE, es equivalente al 8,4% de la recaudación que corresponde a 25 millones de VCI.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio de la dimensión fiscal de la introducción del VE requiere ciertas hipótesis que incluyen variables como los precios de la electricidad o los hidrocarburos, ciertamente volátiles. También hay que considerar que el estudio no cubre todo el ciclo de vida de los turismos. A pesar de estas limitaciones, se abarcan

impuestos de gran relevancia desde el punto de vista tributario y ambiental que permiten abrir un debate sobre las reformas fiscales necesarias en el transporte privado en España para poder absorber una penetración significativa de los VE.

La conclusión más relevante es que los cálculos en el entorno de los valores de referencia indican que la estructura impositiva del VE tiene un potencial recaudatorio menor que los VCI y con una proporción muy diferente en la aportación que realizan los impuestos especiales (predominante en los VCI) y el IVA (ingreso principal de los VE). El escenario estatal que preveía un 10% de VE en el parque de turismos en 2020, que se ha revelado demasiado optimista, supondría mermar los ingresos fiscales derivados de los turismos entre un 8 y un 9% de mantenerse la estructura impositiva actual. Por tanto, sería sensato debatir los elementos principales de una reforma de la fiscalidad de la movilidad privada, anticipándose a los efectos adversos. En este sentido, surgen reflexiones a partir de la consideración de cada impuesto.

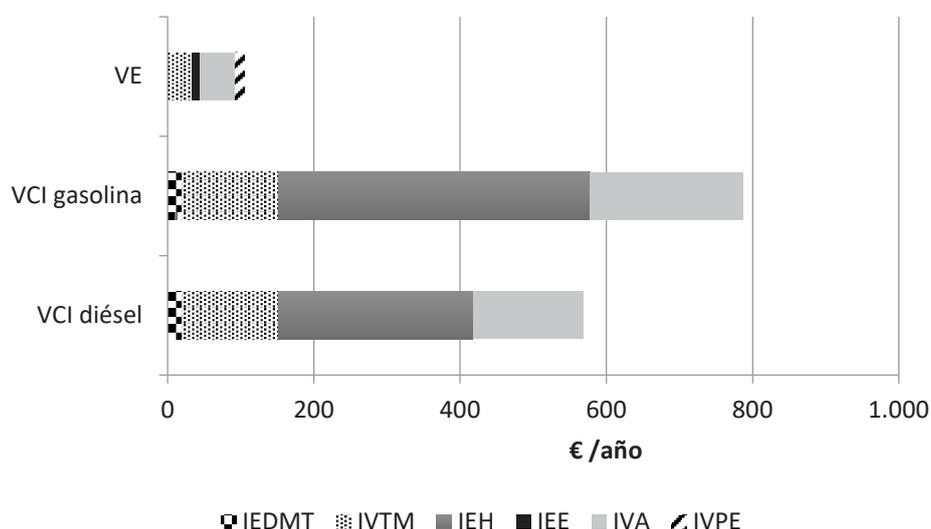
En primer lugar cabe cuestionar la idoneidad del carácter *ad valorem* del IEE, que deja a merced de los precios el que los usuarios tengan incentivos hacia los hábitos de consumo más deseables en general, y de recarga de los VE en particular. Por ejemplo, la carga rápida podría ser desincentivada, ya que puede desestabilizar el funcionamiento de las redes locales de distribución, particularmente en ciudades. Por ejemplo, en Madrid, que factura del orden de 35 MWh al día, la carga rápida de 10.000 VE a la vez podría una proporción significativa de la potencia instalada comprometiendo las redes locales de distribución. Para evitar estos efectos indeseados de la introducción del VE, y en paralelo a la gestión activa de la demanda a través

TABLA 10
DIFERENCIAS DE RECAUDACIÓN ENTRE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A TRAVÉS DEL IMPUESTO SOBRE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN MECÁNICA EN MADRID Y BARCELONA.

	Barcelona			Madrid			Promedio de la diferencia
	VCI	VE	Diferencia	VCI	VE	Diferencia	
De menos de 8 caballos fiscales	23,47	5,87	-17,6	20	5	-15	-16,30
De 8 a 11,99 caballos fiscales	64,06	16,02	-48,04	59	14,75	-44,25	-46,15
De 12 a 15,99 caballos fiscales	136,69	34,17	-102,52	129	32,25	-96,75	-99,63
De 16 a 19,99 caballos fiscales	172,05	43,01	-129,04	179	44,75	-134,25	-131,65
De 20 o más caballos fiscales	217,28	54,32	-162,96	224	56	-168	-165,48

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 12
COMPARACIÓN DE LA RECAUDACIÓN DE TURISMOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y ELÉCTRICOS, EN 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL Y 10.000 KM/AÑO DE USO



Fuente: Elaboración propia.

de las denominadas redes inteligentes o *smart grids* (Clastres, 2011), podría plantearse el *smart taxation*, una fiscalidad inteligente y dinámica que no solo evite incidencias, si no que incentive los comportamientos más deseables en tiempo real. Para todo ello, sería conveniente cambiar la base imponible migrando de la tributación *ad valorem* hacia a una base física, en kWh, tanto para el IEE como para el IVPE (11).

Otro aspecto que llama la atención es la asimetría en la imposición sobre los carburantes y la electricidad en cuanto a las emisiones de CO₂ asociadas. En un contexto en que las políticas contra el cambio climático tienen una dimensión estratégica, sería conveniente en primer lugar igualar la carga impositiva de diésel y gasolina, y afrontar una reforma del IEE y del IVPE que integre las emisiones de CO₂ y sirva para incentivar la generación y el consumo de electricidad de fuentes renovables.

También existe margen para añadir un componente referido a las emisiones en el IVTM, similar a la realizada sobre el IEDTM y generalizar las bonificaciones al VE a través de una reforma de la Ley que regula el impuesto, ya que actualmente estas bonificaciones dependen de la regulación a escala local.

Sobre el IEDMT, se podría reformar primer epígrafe generando nuevos epígrafes que cubran entre los de 0 y los 120 g/km para incentivar los vehículos con menores emisiones, entre otros, los eléctricos. Esta última medida podría, además, contribuir a reducir la brecha recaudatoria asociada a la introducción de un mayor número de VE, ya que actualmente los VCI con emisiones por debajo de 120 g/km no pagan cuota de matriculación.

A modo de conclusión, mientras que en ausencia de reformas fiscales, de la introducción del VE es es-

perable un impacto negativo en la recaudación, las reformas necesarias para contrarrestar estos efectos pueden contribuir positivamente a una transición hacia una movilidad más sostenible y unos modos de producción y consumo energético en línea con los compromisos en el marco de las políticas sobre cambio climático.

NOTAS

- [1] Información básica sobre la recarga del vehículo eléctrico se puede encontrar en este enlace: <http://electromovilidad.net/tipos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>
- [2] <http://www.minetur.gob.es/energia/petroleo/Precios/Informes/InformesMensuales/2016/febrero-2016.pdf> (accedido el 7 de julio de 2016).
- [3] <https://goo.gl/Je0yRs> (accedido el 8 de agosto de 2018).
- [4] <https://goo.gl/Kk8Avh> (accedido el 8 de agosto de 2018)
- [5] <https://www.electromaps.com>
- [6] <http://comparadorofertasenergia.cnmc.es/comparador/index.cfm?js=1&e=N> (accedido el 7 de julio de 2016).
- [7] El cálculo de dichos precios está regulado en la Disposición Adicional Segunda del Real Decreto 1454/2005 y dispone que será la CNMC el organismo encargado de llevarlo a cabo. Los detalles metodológicos se pueden encontrar en el siguiente enlace: <https://www.cnmc.es/estadistica/precios-mercado-2018> (accedido el 8 de agosto de 2018).
- [8] Esta eficiencia se puede considerar poco realista en general, y fuera de lo plausible como valor medio del parque diésel a medio plazo.
- [9] Eficiencias por encima de los 30kWh/100km ya se pueden considerar no competitivas en el mercado de turismos eléctricos.
- [10] Utilizando los siguientes valores, tomados de la web de IDAE (<https://goo.gl/gnsdK1>): Poder calorífico del diésel: 11,7972 kWh/kg; poder calorífico de la gasolina 12,1916 kWh/kg; Densidad del diésel: 0,84745 t/m³; Densidad de la gasolina: 0,7539 t/m³.
- [11] Esta cuestión ya fue recogida como propuesta en el informe de la Comisión de Expertos del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas en 2014: <https://goo.gl/36eEUe>

REFERENCIAS

Clastres, C. (2011) 'Smart grids: Another step towards competition, energy security and climate change objectives', *Energy Policy*, 39(9), pp. 5399–5408. doi: 10.1016/j.enpol.2011.05.024.

Comisión Nacional de la Energía (2013a) Estudio sobre las emisiones derivadas del consumo de carburantes en el transporte por carretera en España. Comisión Nacional de la Energía. Disponible en: http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/Estudio_Emisiones_Derivadas_20062013.pdf. (Accedido: 8 de agosto 2018)

Comisión Nacional de la Energía (2013b) Estudio sobre las emisiones derivadas del consumo de carburantes en

el transporte por carretera en España. Comisión Nacional de la Energía.

CORES (2018a) Estadísticas de productos petrolíferos. Disponible en: <https://goo.gl/LvNiju> (Accedido: 8 de agosto 2018).

CORES (2018b) Estadísticas de productos petrolíferos. González, R. M. and Marrero, G. A. (2012) 'The effect of dieselization in passenger cars emissions for Spanish regions: 1998-2006', *Energy Policy*, 51, pp. 213–222. doi: 10.1016/j.enpol.2012.03.033.

Granovskii, M., Dincer, I. and Rosen, M. A. (2006) 'Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles', *Journal of Power Sources*, 159(2), pp. 1186–1193. doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.11.086.

Hawkins, T. R. et al. (2013) 'Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles', *Journal of Industrial Ecology*. Wiley Online Library, 17(1), pp. 53–64.

IDAE (2011) Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020. IDAE, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf.

IDAE (2018) Balances energéticos. Disponible en: <http://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas> (Accedido: 8 de agosto 2018).

Lindström, M. and Heimer, T. (2017) *Electric vehicles: Shifting gear or changing direction?* Working paper of the European Foundation for the Improvement of Living and Working Condition.

Marrero, Á. S. et al. (2016) 'Clubes de convergencia de países europeos en emisiones de CO₂ derivadas del transporte en coche: el papel de la dieselización', in CIT2016 – XII Congreso de Ingeniería del Transporte. Valencia: Universitat Politècnica de València.

Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital (2018) Precios de carburantes y combustibles. Datos de junio de 2018.

Ministerio para la Transición Ecológica (2018) Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica.

Morais, H. et al. (2014) 'Evaluation of the electric vehicle impact in the power demand curve in a smart grid environment', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 82, pp. 268–282. doi: 10.1016/j.enconman.2014.03.032.

Sastre, S. and Puig-Ventosa, I. (2017) 'La fiscalidad del vehículo eléctrico', *Crónica Tributaria*, 162(1).

Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera (2015) Inventario Nacional de Emisiones. Disponible en: <https://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/inventario-old.aspx> (Accedido: 8 de agosto 2018).

EFECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA ELECTRO-MOVILIDAD EN ESPAÑA. UN ANÁLISIS *INPUT OUTPUT* MEDIOAMBIENTALMENTE EXTENDIDO

MANUEL ORDÓÑEZ RÍOS

ÁNGEL ARCOS VARGAS

JOSÉ MANUEL CANSINO MUÑOZ-REPISO

ROCÍO ROMÁN COLLADO

Universidad de Sevilla

El transporte supone el 40 % del consumo final de energía en España. Particularmente los vehículos destinados al transporte de mercancías (vehículos comerciales ligeros y camiones) representan el 43 % del consumo energético por carretera. El creciente desarrollo del comercio electrónico y la actividad logística que conlleva actúa como un catalizador del uso de transporte de mercancías por carreteras y áreas urbanas pudiendo aumentar más aún su consumo de energía. En términos de emisiones, la energía consumida en el transporte

contribuye de forma directa, con el 25 % de las emisiones totales de CO_{2eq} en España (Club Español de la Energía, 2017).

El parque de vehículos en España en 2016 era de 22,9 millones de los que, en 2015, el 57,8 % tenía más de diez años de antigüedad. Los modelos más recientes de vehículos convencionales movidos con gasolina o diésel han disminuido el consumo de combustible por kilómetro recorrido y también las emisiones de CO₂, NO_x y PM. De hecho, el segmento que más crece es el de vehículos que consumen menos o igual a 4,8 l/km lo que supone un volumen de emisiones de 120gCO₂/km frente a los 160 g CO₂/km emitidos por los vehículos con un consumo superior a los 6,4 l/km.

A pesar de la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivadas de mejoras tecnológicas en los nuevos vehículos, los compromisos europeos de mitigación de la emisión de este tipo de gases pasa por la progresiva penetración de vehículos movidos por combustibles alternativos como

es el caso de los vehículos eléctricos. En este sentido expertos señalan que será la electrificación masiva del parque de vehículos la que permitirá abatir las emisiones de GEI cuando se analizan horizontes temporales superiores a 2030 (Comisión de expertos sobre escenarios de transición energética, 2018). La mayor penetración de este tipo de vehículos debe ayudar a alcanzar el objetivo europeo de reducir en un 70 % el consumo de petróleo en el transporte en 2050 en comparación con el nivel registrado en 2008 (EEA, 2015). Para el caso específico de España, la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (2014-2020) (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015) estableció un objetivo para 2020 de 150.000 vehículos eléctricos partiendo de una cifra de 10.000 vehículos eléctricos existentes en 2014. La cifra era de 14.000 vehículos en 2017 sobre un parque total de vehículos de casi 23 millones (Comisión de expertos sobre escenarios de transición energética, 2018). Esta actuación de las autoridades españolas contaba con los precedentes de un conjunto de medidas muy diversas que se venían

aplicando para promocionar el uso del coche eléctrico. Un análisis exhaustivo de estas medidas puede consultarse en Cansino e Yñiguez para el caso español (2017), Arcos *et al.* (2018 a) para Dinamarca, Estonia, Francia, Alemania, Países Bajos, Italia y Noruega y en Cansino *et al.* (2018) para el conjunto de la Unión Europea 28.

Casi al mismo tiempo en el que se puso en marcha la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (2014-2020) y en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, COP21 de París en 2015, se presentaron diez iniciativas relacionadas con la lucha contra el Cambio Climático. Una de ellas fue la denominada «Declaración de París sobre la Electro-Movilidad y el Cambio Climático». Esta declaración fue suscrita por entidades privadas (fabricantes de automóviles) y públicas como la Agencia Internacional de la Energía y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. España también suscribió la Declaración a través de la Oficina Española de Cambio Climático (UNFCCC, 2015). La Declaración establecía que para evitar la subida de temperaturas por encima de los 2°C era necesario lograr una cuota de vehículos eléctricos de un 20% en 2030. La definición de vehículo eléctrico incluía a los puramente eléctricos y a los híbridos enchufables tanto de dos, tres o cuatro ruedas.

La penetración del coche eléctrico tendrá un impacto económico muy importante en términos de output, VAB y empleo en una economía como la española en la que el sector de fabricación de vehículos y de componentes es muy importante. Este efecto debe ser estimado para tener una visión más completa de las implicaciones de la introducción de este tipo de vehículos. El impacto sobre el medioambiente debe ser también estimado si se considera la importancia del sector de generación eléctrica (y su previsible mayor demanda) como emisor de GEI. El objetivo de este artículo es calcular estos impactos a través de un análisis multisectorial utilizando un modelo de Leontief medioambientalmente extendido.

El artículo se estructura como sigue. Tras esta introducción, en la Sección 2 se detalla la metodología y en la Sección 3 la fuente de datos. Los principales resultados se muestran en la Sección 4 mientras que las conclusiones se ofrecen en la sección 5.

METODOLOGÍA

Las tablas Input-Output (TIO) son utilizadas como soporte estadístico para la construcción de modelos con los que evaluar –entre otras cuestiones– los resultados que la aplicación de políticas económicas específicas tienen sobre la economía de un país de manera general, o sobre cada uno de los sectores económicos de manera específica. Las TIO recogen todas las interacciones que aparecen entre los diferentes sectores económicos y la de éstos con los factores primarios y con los agentes económicos a través de la demanda final.

La metodología utilizada está basada en el modelo de Leontief (1966) que permite evaluar el impacto económico que las actividades de los agentes económicos tienen sobre los sectores productivos de una economía. Esta metodología toma como base de trabajo la información contenida en las TIO. Éstas son tablas de doble entrada donde se muestran el conjunto de transacciones económicas que han tenido lugar entre los agentes económicos durante un período de tiempo determinado.

Esta metodología se concreta en la ecuación fundamental del modelo input-output (Ecuación 1) que indica que la producción de cada sector depende de la demanda final:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot f$$

donde x es un vector de dimensiones $n \times 1$, que indica el valor del output total de cada sector productivo; n es el número total de sectores productivos en los que se desgrega la economía, I es la matriz identidad de dimensión $n \times n$; A es la matriz de coeficientes técnicos, una matriz de $n \times n$, donde cada uno de sus elementos indica las necesidades que un determinado sector tiene de los inputs de otro sector por unidad de output; y , f es un vector de $n \times 1$, que representa la demanda final, esto es, la demanda que los agentes económicos hacen de cada sector productivo considerado. La matriz $(I - A)^{-1}$ se denomina *matriz inversa de Leontief* y cada uno de sus elementos son los denominados *multiplicadores simples* del modelo y representan la cantidad de output que debe producir el sector i para aumentar en una unidad la demanda final del sector j o, también, las necesidades de inputs del sector i que son necesarios para fabricar una unidad de bien por parte del sector j .

A partir de la Ecuación 1, cualquier variación que se produzca en la demanda final provocará una variación en la producción fruto de las interrelaciones que existen entre los sectores y que están contempladas en la matriz inversa de Leontief. Los resultados que aparecen son la suma de los efectos directos e indirectos originados por el impacto realizado sobre la demanda.

Además de analizar el impacto económico sobre la producción, el modelo también permite calcular el impacto sobre el empleo, valor añadido o emisiones generadas por las actividades productivas, entre otras variables. Tomando como ejemplo el nivel de emisiones, la extensión del modelo de Leontief se realiza de la siguiente forma. Se define la matriz de coeficientes de emisiones (\hat{E}), como una matriz diagonal en la que cada uno de los elementos de la diagonal principal corresponde al cociente entre el nivel de emisiones (e_j) y el output total (X_j) para cada sector productivo j . Así,

$$E_j = \frac{e_j}{X_j}$$

Una vez definida la matriz diagonal de coeficientes de emisiones es posible modificar el modelo inicial de Leontief (Ecuación 1) como se muestra en la Ecuación 3,

$$e = \hat{E} \cdot x = \hat{E} \cdot (I - A)^{-1} \cdot f$$

donde e es el vector de emisiones en el que cada uno de sus elementos indica las emisiones originadas por cada sector productivo ante un impacto de demanda.

De manera análoga a como se ha definido una matriz de coeficientes de emisiones, se puede proceder con el empleo y con el valor añadido e introducirlas en el modelo inicial de manera similar a la recogida en la Ecuación 3 para así calcular el impacto que sobre estas variables que tiene un determinado shock de demanda.

Para conocer el impacto que la introducción del vehículo eléctrico tendrá en las magnitudes económicas y medioambientales antes mencionadas se introducirá un nuevo vector de demanda final que será similar al que aparece en la TIO salvo para cuatro sectores productivos o ramas de actividad específicas que son las afectadas de manera directa. Para estos sectores, los valores se han modificado de acuerdo con los tres escenarios considerados: 10, 15 y 20% de penetración del coche eléctrico con un horizonte en el año 2030. Estos escenarios incluyen el fijado en la Declaración de París sobre la Electro-Movilidad y el Cambio Climático (20%) y otros tres escenarios más conservadores.

El primero de los sectores económicos que se verá impactado por la mayor penetración del coche eléctrico es el del sector o rama de actividad de las Coquerías y refino de petróleo. En este caso la introducción del coche eléctrico supondrá un descenso del consumo de productos derivados del petróleo. La disminución considerada en la demanda final ha sido similar a los coeficientes de penetración del automóvil eléctrico, esto es, un 10, 15 y 20%. Dado que el refino de petróleo representa el 98,4% del total de la producción de toda la rama, se ha considerado que la reducción del consumo de derivados de petróleo en los tres escenarios afecta a la totalidad. Sin embargo, para los componentes de la demanda final, esta disminución sólo se aplicará al gasto en el consumo final de los hogares y a las exportaciones hacia países de la UE, ya que se considera que el efecto será similar al de España. Se asume que el impacto negativo de la mayor penetración del vehículo eléctrico sobre el sector del refino no se compensa con un mayor volumen de exportaciones del mismo sector.

La segunda de las ramas de actividad que se verá impactada es la Fabricación de vehículos. El signo esperado del impacto es negativo. Para el cálculo de la reducción a aplicar se estima que el mantenimiento del vehículo eléctrico va a suponer un 20% del mantenimiento que tienen en la actualidad el automóvil tradicional. Con un coeficiente de penetración del 10%, esto supondrá que el mantenimiento del parque de vehículos se reducirá en un 8%, ya que el 90% de los coches continuarán con su mantenimiento tradicional. Por otro lado, dado que en la demanda de la rama de actividad Fabricación de vehículos de motor, re-

molques y semirremolques incluye tres subramas (Vehículos de motor, carrocerías, remolques y semirremolques y piezas y accesorios) la reducción se aplicará a la subrama que incluye la fabricación de piezas y accesorios. Por otro lado, dado que la producción de esta subrama representa el 31,75% de la producción total de la fabricación de vehículos, la disminución final de la demanda final para este sector será del 2,54% (Tabla 1). Para los componentes de la demanda final se aplicará la reducción al consumo de los hogares, la formación bruta en capital fijo (FBCF) y las exportaciones hacia la UE.

Algo similar se ha considerado para la rama de actividad Venta y reparación de vehículos dado el menor mantenimiento que requiere el vehículo eléctrico frente a los vehículos convencionales movidos con gasolina o diésel. De las cuatro subramas las afectadas van a ser el mantenimiento y reparación de vehículos de motor y el comercio de accesorios de vehículos de motor, que representa un 59,60% del valor de la producción de todo el conjunto del sector. La disminución considerada para los tres escenarios en la demanda del sector son los que aparecen recogidos en la Tabla 2. Esta disminución se aplicará para los componentes de la demanda final siguientes: consumo de los hogares, consumo de las Administraciones Públicas, FBCF y exportaciones hacia la UE.

La última de las ramas de actividad que verá modificada su demanda final es el Suministro de energía eléctrica, en este caso en forma de aumento de la demanda. Para una penetración del automóvil eléctrico del 10% la demanda eléctrica se incrementaría en un 3,19% tal y como se puede ver en la Tabla 3.

Por otro lado, la disminución del gasto de los agentes económicos, por ejemplo las economías domésticas, va a suponer un aumento de su poder de compra por lo que se ha considerado que este menor gasto se va a destinar a la compra de bienes y servicios. Así, este gasto se ha distribuido, como aumento del mismo, de manera proporcional a la demanda final que han realizado los agentes económicos durante el año 2010. Este comportamiento puede provocar un efecto rebote sobre el consumo al que nos referiremos más adelante.

Por último, la incorporación del automóvil eléctrico al parque de vehículos va a suponer una disminución de la emisión de GEI, lo que se traduce en una modificación del coeficiente de emisiones empleado en la Ecuación 3 en el sector transporte terrestre que es donde va a tener el principal impacto.

BASE DE DATOS

La información estadística que ha sido empleada para realizar el presente análisis es la TIO a precios básicos de España del año 2010 publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2017a), donde aparecen reflejadas 63 ramas de actividad. De este mismo organismo se han tomado los datos de las emisiones de gases a la atmósfera (INE, 2017b).

TABLA 1
DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA FINAL EN LA RAMA DE ACTIVIDAD FABRICACIÓN DE VEHÍCULOS DE MOTOR

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Penetración del coche eléctrico (%)	10	15	20
Disminución demanda de piezas y accesorios (%)	8	12	16
Disminución demanda Fabricación vehículos (%)	2,54	3,81	5,08

Fuente: elaboración propia.

TABLA 2
DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA FINAL EN LA RAMA DE ACTIVIDAD VENTA Y REPARACIÓN DE VEHÍCULOS DE MOTOR Y MOTOCICLETAS

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Penetración del coche eléctrico (%)	10	15	20
Disminución mantenimiento y venta repuestos y accesorios (%)	8	12	16
Disminución demanda Venta y reparación vehículos (%)	4,77	7,15	9,54

Fuente: elaboración propia.

TABLA 3
AUMENTO DE LA DEMANDA FINAL EN LA RAMA DE ACTIVIDAD SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA PENETRACIÓN DEL COCHE ELÉCTRICO DEL 10%

Recorrido medio anual por vehículo (km)	15.000
Consumo energético por vehículo eléctrico (vatios-hora/km)	250
Consumo energético anual por vehículo (kWh)	3.750
Parque vehículos (turismos) año 2010 (millones de unidades)	22,15
Vehículos eléctricos (10%)	2.215
Consumo total vehículos eléctricos (GWh)	8.306,25
Consumo nacional de electricidad año 2010 (GWh)	260.578
Incremento del consumo eléctrico (%)	3,19

Fuente: Elaboración propia, Dirección General de Tráfico (2011), Secretaría de Estado de Energía (2012)

La disminución final de la demanda final para el sector de fabricación de piezas y accesorios que se ha considerado es del 2,54% de su valor según se detalla en la Tabla 1.

Para la rama de actividad Venta y reparación de vehículos la disminución considerada para los tres escenarios en la demanda del sector son los que aparecen recogidos en la Tabla 2.

A partir de los datos tomados de la Dirección General de Tráfico (2011) la Tabla 3 detalla que para una penetración del automóvil eléctrico del 10% la demanda eléctrica se incrementa en un 3,19%. Dado que la subrama Generación, transporte y distribución de energía eléctrica supone un 90,93% del total de la producción de toda la rama, el aumento de la demanda final es de un 2,90%. Para los escenarios 2 y 3, los incrementos serán del 4,35% y 5,80%, respectivamente.

Por otro lado, la disminución del gasto de los agentes económicos, por ejemplo las economías domésticas, va a suponer un aumento de su poder de compra por lo que se ha considerado que este menor gasto se va a destinar a la compra de bienes y servicios. Así, este gasto se ha distribuido, como aumento del mismo, de manera proporcional a la demanda final que han realizado los agentes económicos durante el año 2010.

Finalmente, para el cálculo de las emisiones evitadas de GEI por el reemplazo de vehículos convencionales por el vehículo eléctrico se han empleado los datos de emisiones del transporte por carretera suministrados por la Secretaría de Estado de la Energía (2012) que aparecen en la Tabla 4.

Para el escenario 1, con una penetración del coche eléctrico del 10%, la reducción de las emisiones sobre el total serían de 5.188,5, lo que supone un 6,2% para todo el conjunto del parque de vehículos. Sin embar-

TABLA 4
EMISIONES DE CO₂-EQ DE LA CATEGORÍA DE TRANSPORTE POR CARRETERA POR CATEGORÍA DE VEHÍCULOS (KT). AÑO 2010

Categoría	Emisiones
Turismos	51.885
Vehículos pesados	24.467
Vehículos ligeros	6.029
Motocicletas	1.501
TOTAL	83.882

Fuente: Secretaría de Estado de Energía (2012)

go, existen diferencias entre los datos de emisiones que ofrece el INE y la Secretaría de Estado de la Energía en su Inventario de GEI. En concreto la diferencia entre la emisiones del sector del transporte terrestre ofrecida por el Inventario de GEI es superior en más de 48 mil kt CO₂eq. Esto hace que la reducción para el parque de vehículos sea sólo de un 1%. Así, el coeficiente de emisiones por unidad de producción, que inicialmente era de 0,6810 kt/mill €, disminuye en el porcentaje indicado y pasa a ser de 0,6742 kt/mill €. Para los escenarios 2 y 3, estos coeficientes serían 0,6708 y 0,6674 kt/mill €, respectivamente.

Los datos utilizados para calcular las emisiones asociadas a la mayor actividad del sector eléctrico han sido tomados de Arcos *et al.* (2018 b) y OMIE (2016).

RESULTADOS ↓

La Tabla 5 muestra los resultados que sobre el valor del output de los 63 sectores productivos tiene la introducción del automóvil eléctrico para los tres escenarios considerados. Para el escenario 3, en conjunto la economía española sufriría un descenso del output superior a los 200 millones de euros. Esta disminución es importante en los sectores de Refino de petróleo (-7,7%), Comercio y reparación de vehículos (-6,8%) y Vehículos de motor (-3,5%). Ello es así dado los supuestos de partida, una reducción del consumo de productos derivados del petróleo, una disminución del mantenimiento y reparación de vehículos de motor y de la fabricación de piezas y accesorios para vehículos, respectivamente. Sin embargo, a estos tres hay que añadirle el sector Industrias extractivas con una disminución del valor del output del 3,2%, arrastrado por el menor refino de petróleo.

Por el contrario, la mayoría de los sectores se ven favorecidos aunque este aumento no compense la caída del valor del output de los cuatro sectores anteriormente indicados. En cuanto a los sectores que ven aumentada su producción hay que destacar el sector eléctrico, con un aumento del 1,9%, dada la mayor demanda de electricidad por parte del nuevo parque de vehículos. En este aumento hay que señalar otros sectores como Alimentación, bebidas y tabaco, Servicios de alojamiento y restauración, Construcciones y

los Servicios de comercio, tanto mayorista como minorista.

Si se analiza el efecto sobre el empleo (Tabla 6), para el caso del escenario 3, la implantación del vehículo eléctrico supondría la creación de 38.800 puestos de trabajo, lo que supone un aumento del 0,2% respecto de la situación inicial. Sin embargo, aparecen ramas que sufren una pérdida de empleo. La principal rama afectada es el Comercio y reparación de vehículos y con una pérdida de 22.400 puestos de trabajo, lo que supone una disminución del 6,8%. Le siguen en esta disminución de empleo la Fabricación de vehículos con 5.600 puestos de trabajo, lo que representa una caída del 3,5% del empleo de la rama de actividad. En estas ramas afectadas por la disminución del empleo hay que señalar que el sector Refino de petróleo y la Industria extractiva presentan una pérdida de 1.400 puestos de trabajo en cada uno de ellos; pequeña en relación con la sufrida por las ramas anteriores dado el carácter intensivo en capital de éstas.

Aunque la pérdida de puestos de trabajo en los sectores afectados es importante se ve compensada por la creación de empleo en las restantes ramas de actividad, siendo destacables el Comercio (15.200 puestos de trabajo), Servicios de alojamiento y restauración (8.500), Servicios de los hogares (7.600), Agricultura, ganadería y caza (5.300) y Construcción (4.500).

La tercera de las variables estudiadas es el VAB a precios básicos donde, a diferencia del efecto que causa sobre la producción, la incorporación del vehículo eléctrico va a suponer un ligero aumento del mismo, en concreto y para el escenario 3, el incremento va a ser de 2.337,15 millones de euros, esto es, un 0,2% sobre el VAB inicial. La Tabla 7 muestra que las principales ramas de actividad que, por volumen de VAB, se ven favorecidas son Servicios inmobiliarios, Energía eléctrica y Servicios de alojamiento y restauración con un incremento de 582,1, 478,3 y 388,1 millones de euros, respectivamente. Otros sectores que experimentan una subida del VAB, aunque menor, con más de 200 millones de euros, son el Comercio mayorista y minorista y el sector de la construcción.

Los principales sectores afectados con una disminución del VAB son el Comercio y reparación de vehícu-

TABLA 5
EFFECTO SOBRE EL OUTPUT (EN MILLONES DE EUROS. SEPARACIÓN DE MILES EN , Y DECIMALES CON .)

	Inicial	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Dif Esc 1	Dif Esc 2	Dif Esc 3
Agricultura, ganadería y la caza	46,902.6	47,082.4	47,175.3	47,266.1	179.8	272.7	363.5
Silvicultura	1,324.7	1,328.0	1,329.7	1,331.3	3.3	5.0	6.6
Pesca	3,461.1	3,473.4	3,479.7	3,485.9	12.3	18.6	24.8
Industrias extractivas	42,952.9	42,258.5	41,912.3	41,565.4	-694.4	-1,040.6	-1,387.5
Alimentación bebidas y tabaco	135,115.6	135,584.9	135,825.0	136,061.4	469.3	709.4	945.8
Textil	34,867.2	34,972.6	35,026.7	35,079.9	105.4	159.5	212.7
Madera y corcho y productos de madera	8,041.2	8,056.1	8,063.9	8,071.5	14.9	22.7	30.3
Papel y productos del papel	15,909.7	15,955.5	15,979.4	16,002.6	45.8	69.7	92.9
Impresión y de reproducción	9,995.1	10,009.2	10,016.4	10,023.5	14.1	21.3	28.4
Coque y productos de refino de petróleo	42,754.2	41,111.8	40,292.0	39,471.3	-1642.4	-2,462.2	-3,282.9
Productos químicos	61,736.3	61,826.1	61,873.9	61,919.8	89.8	137.6	183.5
Productos farmacéuticos	25,364.9	25,421.5	25,451.0	25,479.6	56.6	86.1	114.7
Productos de caucho y plásticos	24,154.5	24,138.4	24,129.7	24,121.5	-16.1	-24.8	-33.0
Otros productos minerales no metálicos	21,629.5	21,655.8	21,669.9	21,683.3	26.3	40.4	53.8
Prod. metalurgia y productos metálicos	52,441.2	52,462.6	52,472.7	52,483.3	21.4	31.5	42.1
Productos metálicos	35,016.1	35,026.0	35,030.5	35,035.3	9.9	14.4	19.2
Prod informáticos, electrónicos y ópticos	26,238.4	26,289.4	26,316.0	26,341.9	51.0	77.6	103.5
Equipo eléctrico	28,068.9	28,109.9	28,131.1	28,151.8	41.0	62.2	82.9
Maquinaria y equipo n.c.o.p.	31,935.7	31,955.8	31,967.0	31,977.5	20.1	31.3	41.8
Vehículos de motor, rem. y semirem.	69,728.3	68,547.1	67,904.8	67,297.0	-1181.2	-1,823.5	-2,431.3
Otro material de transporte	17,466.7	17,502.2	17,521.0	17,539.1	35.5	54.3	72.4
Muebles; otros productos manufacturados	21,186.0	21,234.4	21,259.2	21,283.6	48.4	73.2	97.6
Reparación e instalación de maquinaria	19,411.2	19,427.3	19,435.7	19,443.9	16.1	24.5	32.7
Energía eléctrica, gas, vapor y aire acond	79,913.4	80,689.7	81,078.1	81,466.4	776.3	1,164.7	1,553.0
Agua; tratamiento y distribución	7,836.6	7,852.6	7,860.7	7,868.7	16.0	24.1	32.1
Gestión de residuos	19,260.1	19,273.3	19,280.1	19,286.7	13.2	20.0	26.6
Construcciones y trabajos de construcción	216,290.2	216,577.7	216,729.2	216,875.5	287.5	439.0	585.3
Comercio y reparación de vehículos	27,767.3	26,826.1	26,355.0	25,884.2	-941.2	-1,412.3	-1,883.1
Servicios de comercio al por mayor	100,025.8	100,235.7	100,343.9	100,450.0	209.9	318.1	424.2
Servicios de comercio al por menor	75,636.1	75,830.6	75,928.8	76,026.4	194.5	292.7	390.3
Servicios de transporte terrestre	52,206.0	52,291.3	52,335.4	52,378.6	85.3	129.4	172.6
Servicios de transporte marítimo	3,017.9	3,021.2	3,022.9	3,024.5	3.3	5.0	6.6
Servicios de transporte aéreo	9,355.9	9,377.2	9,388.2	9,398.9	21.3	32.3	43.0
Servicios auxiliares del transporte	46,394.2	46,430.4	46,449.7	46,468.1	36.2	55.5	73.9
Servicios de correos y mensajería	4,636.9	4,646.0	4,650.7	4,655.3	9.1	13.8	18.4
Servicios de alojamiento y restauración	108,581.5	108,921.6	109,092.7	109,263.2	340.1	511.2	681.7
Servicios de edición	10,143.5	10,164.4	10,175.1	10,185.7	20.9	31.6	42.2
Servicios cinematográficos y similares	11,711.8	11,729.0	11,737.8	11,746.5	17.2	26.0	34.7
Servicios de telecomunicaciones	39,764.9	39,859.6	39,907.5	39,955.0	94.7	142.6	190.1
Servicios de programación y relacionados	28,111.4	28,159.2	28,184.5	28,208.9	47.8	73.1	97.5
Servicios financieros	44,319.1	44,390.5	44,427.0	44,462.9	71.4	107.9	143.8
Servicios de seguros	16,576.0	16,616.5	16,636.9	16,657.2	40.5	60.9	81.2

Auxiliares a los servicios financieros y s.	12,575.3	12,604.9	12,619.9	12,634.7	29.6	44.6	59.4
Servicios inmobiliarios	149,675.6	150,031.6	150,210.4	150,388.7	356.0	534.8	713.1
Servicios jurídicos y contables	31,296.4	31,316.9	31,327.8	31,338.2	20.5	31.4	41.8
Servicios arquitectura e ingeniería	29,092.0	29,116.0	29,128.6	29,140.8	24.0	36.6	48.8
Servicios de investigación y desarrollo	19,976.7	19,997.1	20,008.0	20,018.4	20.4	31.3	41.7
Publicidad y de estudio de mercado	17,238.6	17,241.4	17,243.1	17,244.6	2.8	4.5	6.0
Otros servicios profes, científicos y técn.	11,316.2	11,331.1	11,338.7	11,346.2	14.9	22.5	30.0
Servicios de alquiler	16,633.9	16,647.7	16,654.7	16,661.6	13.8	20.8	27.7
Servicios relacionados con el empleo	3,511.7	3,516.3	3,518.5	3,520.8	4.6	6.8	9.1
Servicios de agencias de viajes	11,007.6	11,040.5	11,057.3	11,073.9	32.9	49.7	66.3
Servicios de seguridad e investigación ...	44,027.9	44,085.6	44,115.4	44,144.5	57.7	87.5	116.6
Servicios de AAPP y defensa;	74,509.0	74,517.8	74,522.3	74,526.6	8.8	13.3	17.6
Servicios de educación	59,416.9	59,450.2	59,466.9	59,483.5	33.3	50.0	66.6
Servicios de atención sanitaria	73,327.4	73,376.8	73,401.6	73,426.3	49.4	74.2	98.9
Servicios sociales	20,427.1	20,446.0	20,455.5	20,464.9	18.9	28.4	37.8
Servicios artísticos y otros	19,855.7	19,892.9	19,911.6	19,930.3	37.2	55.9	74.6
Servicios deportivos, recreativos ...	15,665.5	15,690.8	15,703.6	15,716.3	25.3	38.1	50.8
Servicios prestados por asociaciones	5,975.8	5,977.5	5,978.4	5,979.3	1.7	2.6	3.5
Reparación de artículos de uso doméstico	2,574.3	2,580.1	2,583.0	2,585.8	5.8	8.7	11.5
Otros servicios personales	14,042.8	14,083.2	14,103.5	14,123.7	40.4	60.7	80.9
Servicios de los hogares	10,295.0	10,327.3	10,343.4	10,359.5	32.3	48.4	64.5
TOTAL	2,319,692.0	2,319,593.2	2,319,539.3	2,319,488.0	-98.8	-152.7	-204.0

Fuente: Elaboración propia

los, donde el descenso es de 972,5 millones de euros y Fabricación de vehículos de motor, con una disminución de 260,6 millones de euros. Otros sectores que disminuyen de manera notable, aunque no tan importante como los anteriores, son Industrias extractivas y Refino de petróleo, con un descenso de 105,5 y 31,6 millones de euros, respectivamente.

Uno de los principales beneficios del vehículo eléctrico, además de su eficiencia (Edwards *et al.*, 2011) y economía, son las menores emisiones de GEI a la atmósfera. Como se puede apreciar en la Tabla 9, y para el escenario 3, la disminución para el conjunto de los sectores económicos alcanzaría las 306,9 kt de CO_{2eq}, lo que supone una reducción respecto a las emisiones iniciales de un 0,1%. Pero el beneficio no termina aquí, dado que una gran parte del parque de automóviles, los turismos, pertenecen a las familias, por lo que la reducción de emisiones sería algo mayor, pudiendo alcanzar más de 8.400 kt de CO_{2eq} en conjunto.

El sector Refino de petróleo es el que presenta una disminución mayor alcanzando las 1,276.4 kt de CO_{2eq} consecuencia de una menor demanda de productos derivados del petróleo. Le siguen, en orden de importancia, el sector Transporte por carretera con una disminución de 595,9 kt de CO_{2eq} y la Industria extractiva con una reducción de 164,3 kt de CO_{2eq}. Otros sectores que ven reducir su consumo, aunque en me-

nor medida, son Fabricación de vehículos de motor y Comercio y reparación de vehículos con 58,2 y 55,5 kt de CO_{2eq}, respectivamente.

En sentido contrario, se observa que la mayoría de los sectores económicos aumentan su nivel de emisiones fruto de denominado efecto rebote, esto es, un menor gasto en determinados bienes y servicios supone un mayor poder de compra, lo que hace que el consumo de otros bienes aumente y, con ello, su producción y, consecuentemente, su nivel de emisiones.

El efecto rebote consiste en un inesperado aumento del consumo de energía debido a una reducción efectiva de su coste (Freire-González, 2017). Greening *et al.* (2000) y Sorrell (2007) identificaron tres tipos de efecto rebote provocados por una mejora de la eficiencia energética que abarataba el uso de un determinado bien o servicio. El escenario más adverso se denomina efecto «backfire» o detonador y está asociado a un efecto rebote de tal magnitud que el aumento del consumo energético derivado del efecto rebote supera a la reducción del consumo derivado de una mejora en la eficiencia energética (Saunders, 2000). Los resultados obtenidos descartan que la mayor penetración del coche eléctrico provoque un efecto rebote de la magnitud del tipo «backfire» si bien la mayor demanda de energía eléctrica suaviza la mitigación de emisiones de GEI asociadas a la disminución del consumo de combustibles derivados del petróleo.

TABLA 6
EFFECTO SOBRE EL EMPLEO (PUESTOS DE TRABAJO. SEPARACIÓN DE MILES EN , Y DECIMALES CON .)

	Inicial	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Dif Esc 1	Dif Esc 2	Dif Esc 3
Agricultura, ganadería y la caza	688.5	691.1	692.5	693.8	2.6	4.0	5.3
Silvicultura	26.0	26.1	26.1	26.1	0.1	0.1	0.1
Pesca	38.6	38.7	38.8	38.9	0.1	0.2	0.3
Industrias extractivas	44.1	43.4	43.0	42.7	-0.7	-1.1	-1.4
Alimentación bebidas y tabaco	376.1	377.4	378.1	378.7	1.3	2.0	2.6
Textil	128.9	129.3	129.5	129.7	0.4	0.6	0.8
Madera y corcho y productos de madera	56.2	56.3	56.4	56.4	0.1	0.2	0.2
Papel y productos del papel	42.6	42.7	42.8	42.8	0.1	0.2	0.2
Impresión y de reproducción	84.3	84.4	84.5	84.5	0.1	0.2	0.2
Coque y productos de refinado de petróleo	17.8	17.1	16.8	16.4	-0.7	-1.0	-1.4
Productos químicos	123.2	123.4	123.5	123.6	0.2	0.3	0.4
Productos farmacéuticos	27.5	27.6	27.6	27.6	0.1	0.1	0.1
Productos de caucho y plásticos	110.1	110.0	110.0	109.9	-0.1	-0.1	-0.2
Otros productos minerales no metálicos	106.9	107.0	107.1	107.2	0.1	0.2	0.3
Prod. metalurgia y productos metálicos	81.8	81.8	81.8	81.9	0.0	0.0	0.1
Productos metálicos	360.3	360.4	360.4	360.5	0.1	0.1	0.2
Prod informáticos, electrónicos y ópticos	57.6	57.7	57.8	57.8	0.1	0.2	0.2
Equipo eléctrico	33.7	33.7	33.8	33.8	0.0	0.1	0.1
Maquinaria y equipo n.c.o.p.	210.1	210.2	210.3	210.4	0.1	0.2	0.3
Vehículos de motor, rem. y semirrem.	160.9	158.2	156.7	155.3	-2.7	-4.2	-5.6
Otro material de transporte	55.3	55.4	55.5	55.5	0.1	0.2	0.2
Muebles; otros productos manufacturados	105.3	105.5	105.7	105.8	0.2	0.4	0.5
Reparación e instalación de maquinaria	77.8	77.9	77.9	77.9	0.1	0.1	0.1
Energía eléctrica, gas, vapor y aire acond	43.3	43.7	43.9	44.1	0.4	0.6	0.8
Agua; tratamiento y distribución	47.5	47.6	47.6	47.7	0.1	0.1	0.2
Gestión de residuos	97.8	97.9	97.9	97.9	0.1	0.1	0.1
Construcciones y trabajos de construcción	1,650.0	1,652.2	1,653.3	1,654.5	2.2	3.3	4.5
Comercio y reparación de vehículos	330.5	319.3	313.7	308.1	-11.2	-16.8	-22.4
Servicios de comercio al por mayor	1,168.4	1,170.9	1,172.1	1,173.4	2.5	3.7	5.0
Servicios de comercio al por menor	1,986.3	1,991.4	1,994.0	1,996.5	5.1	7.7	10.2
Servicios de transporte terrestre	505.7	506.5	507.0	507.4	0.8	1.3	1.7
Servicios de transporte marítimo	12.6	12.6	12.6	12.6	0.0	0.0	0.0
Servicios de transporte aéreo	26.7	26.8	26.8	26.8	0.1	0.1	0.1
Servicios auxiliares del transporte	329.0	329.3	329.4	329.5	0.3	0.4	0.5
Servicios de correos y mensajería	85.6	85.8	85.9	85.9	0.2	0.3	0.3
Servicios de alojamiento y restauración	1,354.4	1,358.6	1,360.8	1,362.9	4.2	6.4	8.5
Servicios de edición	49.1	49.2	49.3	49.3	0.1	0.2	0.2
Servicios cinematográficos y similares	50.6	50.7	50.7	50.7	0.1	0.1	0.1
Servicios de telecomunicaciones	74.7	74.9	75.0	75.1	0.2	0.3	0.4
Servicios de programación y relacionados	239.4	239.8	240.0	240.2	0.4	0.6	0.8
Servicios financieros	242.5	242.9	243.1	243.3	0.4	0.6	0.8
Servicios de seguros	50.4	50.5	50.6	50.6	0.1	0.2	0.2
Auxiliares a los servicios financieros y s.	99.7	99.9	100.1	100.2	0.2	0.4	0.5

Servicios inmobiliarios	246.2	246.8	247.1	247.4	0.6	0.9	1.2
Servicios jurídicos y contables	480.8	481.1	481.3	481.4	0.3	0.5	0.6
Servicios arquitectura e ingeniería	300.8	301.0	301.2	301.3	0.2	0.4	0.5
Servicios de investigación y desarrollo	145.6	145.7	145.8	145.9	0.1	0.2	0.3
Publicidad y de estudio de mercado	182.2	182.2	182.2	182.3	0.0	0.0	0.1
Otros servicios profes, científicos y técns.	61.6	61.7	61.7	61.8	0.1	0.1	0.2
Servicios de alquiler	76.9	77.0	77.0	77.0	0.1	0.1	0.1
Servicios relacionados con el empleo	172.2	172.4	172.5	172.6	0.2	0.3	0.4
Servicios de agencias de viajes	37.7	37.8	37.9	37.9	0.1	0.2	0.2
Servicios de seguridad e investigación ...	1,102.5	1,103.9	1,104.7	1,105.4	1.4	2.2	2.9
Servicios de AAPP y defensa;	1,147.6	1,147.7	1,147.8	1,147.9	0.1	0.2	0.3
Servicios de educación	1,269.3	1,270.0	1,270.4	1,270.7	0.7	1.1	1.4
Servicios de atención sanitaria	916.8	917.4	917.7	918.0	0.6	0.9	1.2
Servicios sociales	423.1	423.5	423.7	423.9	0.4	0.6	0.8
Servicios artísticos y otros	323.7	324.3	324.6	324.9	0.6	0.9	1.2
Servicios deportivos, recreativos ...	247.4	247.8	248.0	248.2	0.4	0.6	0.8
Servicios prestados por asociaciones	115.7	115.7	115.8	115.8	0.0	0.1	0.1
Reparación de artículos de uso doméstico	52.6	52.7	52.8	52.8	0.1	0.2	0.2
Otros servicios personales	371.9	373.0	373.5	374.0	1.1	1.6	2.1
Servicios de los hogares	1,206.4	1,210.2	1,212.1	1,214.0	3.8	5.7	7.6
TOTAL	20,338.8	20,358.0	20,367.9	20,377.6	19.2	29.1	38.8

Fuente: Elaboración propia

El sector que, en mayor medida, contribuye negativamente a la reducción de las emisiones al medio es el sector eléctrico, donde el aumento alcanza las 1.172,5 kt de CO_{2eq}, fruto de la mayor demanda de energía eléctrica para atender al nuevo parque automovilístico.

Otro sector que ve incrementar su nivel de emisiones, muy alejado de los principales sectores afectados, es la Agricultura y ganadería, con un aumento de 314,2 kt de CO_{2eq}. También merecen ser destacados, aunque con un menor nivel de emisiones, Otros minerales no metálicos, Alimentación, bebidas y tabaco, Productos químicos y Transporte aéreo.

CONCLUSIONES

Mediante un modelo Input-Output multisectorial medioambientalmente extendido se han calculado los impactos sobre el output, el empleo, el VAB y las emisiones de GEI de la penetración del coche eléctrico en España. Aunque el compromiso internacional suscrito por España establece una penetración de este tipo de vehículos del 20 % del parque total para 2030, el bajo nivel de penetración actual aconseja considerar escenarios menos ambiciosos. Este artículo ha considerado tres escenarios de penetración; 10 %, 15 % y 20 %.

Los resultados muestran un impacto mayoritariamente negativo sobre el output total que no com-

pensa el aumento en alguno de los sectores como el eléctrico que llega a aumentar en un 1,9 % en el escenario de mayor penetración. El impacto sobre el empleo neto es positivo y para el caso del escenario 3, la implantación del vehículo eléctrico supondría la creación de 38.800, a pesar de la destrucción de empleo registrada en los sectores del Comercio y reparación de vehículos, Fabricación de vehículos, el sector Refino de petróleo y la Industria extractiva. El impacto sobre el VAB es ligeramente positivo especialmente en los sectores de Servicios inmobiliarios, Energía eléctrica y Servicios de alojamiento y restauración.

Finalmente, los resultados descartan un efecto «backfire» o detonador sobre las emisiones de GEI de tal forma que la disminución de las mismas puede llegar a las 8.400 kt de CO_{2eq}.

Los resultados de esta investigación deben tomarse, no obstante con cautela debido a varias limitaciones. En primer lugar la TIO utilizada corresponde al año 2010 (última disponible). Algunos supuestos como no considerar el reemplazo del mercado interior por el exterior en los sectores directamente afectados resulta restrictivo. Futuras investigaciones podrían desarrollarse con tablas IO actualizadas convertidas en matrices de contabilidad social. También sería de interés la comparación de resultados derivados del uso de modelo IO medioambientalmente extendido con los derivados de modelos de equilibrio general dinámicos.

TABLA 7
EFFECTO SOBRE EL VALOR AÑADIDO BRUTO A PRECIOS BÁSICOS (MILL. DE EUROS. SEPARACIÓN DE MILES EN , Y DECIMALES CON .)

	Inicial	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Dif Esc 1	Dif Esc 2	Dif Esc 3
Agricultura, ganadería y la caza	22,090.2	22,174.9	22,218.6	22,261.4	84.7	128.4	171.2
Silvicultura	986.8	989.2	990.5	991.7	2.4	3.7	4.9
Pesca	983.4	986.9	988.7	990.4	3.5	5.3	7.0
Industrias extractivas	3,266.8	3,214.0	3,187.7	3,161.3	-52.8	-79.1	-105.5
Alimentación bebidas y tabaco	23,511.7	23,593.4	23,635.1	23,676.3	81.7	123.4	164.6
Textil	4,357.8	4,371.0	4,377.7	4,384.4	13.2	19.9	26.6
Madera y corcho y productos de madera	1,821.0	1,824.4	1,826.1	1,827.9	3.4	5.1	6.9
Papel y productos del papel	3,018.1	3,026.8	3,031.3	3,035.7	8.7	13.2	17.6
Impresión y de reproducción	3,952.8	3,958.4	3,961.2	3,964.0	5.6	8.4	11.2
Coque y productos de refino de petróleo	411.9	396.1	388.2	380.3	-15.8	-23.7	-31.6
Productos químicos	7,383.1	7,393.8	7,399.6	7,405.0	10.7	16.5	21.9
Productos farmacéuticos	2,960.8	2,967.4	2,970.8	2,974.2	6.6	10.0	13.4
Productos de caucho y plásticos	5,017.9	5,014.6	5,012.8	5,011.0	-3.3	-5.1	-6.9
Otros productos minerales no metálicos	5,850.9	5,858.0	5,861.8	5,865.5	7.1	10.9	14.6
Prod. metalurgia y productos metálicos	5,810.6	5,813.0	5,814.1	5,815.3	2.4	3.5	4.7
Productos metálicos	8,339.7	8,342.1	8,343.1	8,344.3	2.4	3.4	4.6
Prod informáticos, electrónicos y ópticos	1,870.8	1,874.4	1,876.3	1,878.2	3.6	5.5	7.4
Equipo eléctrico	4,044.4	4,050.3	4,053.4	4,056.3	5.9	9.0	11.9
Maquinaria y equipo n.c.o.p.	5,151.8	5,155.0	5,156.9	5,158.5	3.2	5.1	6.7
Vehículos de motor, rem. y semirrem.	7,473.4	7,346.8	7,278.0	7,212.8	-126.6	-195.4	-260.6
Otro material de transporte	3,037.4	3,043.6	3,046.8	3,050.0	6.2	9.4	12.6
Muebles; otros productos manufacturados	4,378.2	4,388.2	4,393.3	4,398.4	10.0	15.1	20.2
Reparación e instalación de maquinaria	9,726.7	9,734.8	9,739.0	9,743.1	8.1	12.3	16.4
Energía eléctrica, gas, vapor y aire acond	24,614.2	24,853.3	24,973.0	25,092.5	239.1	358.8	478.3
Agua; tratamiento y distribución	3,773.5	3,781.2	3,785.1	3,789.0	7.7	11.6	15.5
Gestión de residuos	5,369.6	5,373.3	5,375.2	5,377.0	3.7	5.6	7.4
Construcciones y trabajos de construcción	88,117.8	88,234.9	88,296.6	88,356.2	117.1	178.8	238.4
Comercio y reparación de vehículos	14,339.3	13,853.3	13,610.0	13,366.8	-486.0	-729.3	-972.5
Servicios de comercio al por mayor	48,443.8	48,545.5	48,597.9	48,649.2	101.7	154.1	205.4
Servicios de comercio al por menor	48,631.9	48,757.0	48,820.1	48,882.9	125.1	188.2	251.0
Servicios de transporte terrestre	22,752.6	22,789.8	22,809.0	22,827.8	37.2	56.4	75.2
Servicios de transporte marítimo	924.7	925.7	926.2	926.7	1.0	1.5	2.0
Servicios de transporte aéreo	1,990.3	1,994.8	1,997.2	1,999.5	4.5	6.9	9.2
Servicios auxiliares del transporte	18,720.0	18,734.6	18,742.4	18,749.8	14.6	22.4	29.8
Servicios de correos y mensajería	2,500.6	2,505.5	2,508.0	2,510.5	4.9	7.4	9.9
Servicios de alojamiento y restauración	61,814.2	62,007.8	62,105.2	62,202.3	193.6	291.0	388.1
Servicios de edición	3,227.2	3,233.9	3,237.3	3,240.6	6.7	10.1	13.4
Servicios cinematográficos y similares	4,418.9	4,425.4	4,428.7	4,432.0	6.5	9.8	13.1
Servicios de telecomunicaciones	18,437.3	18,481.2	18,503.4	18,525.4	43.9	66.1	88.1
Servicios de programación y relacionados	14,186.7	14,210.8	14,223.6	14,235.9	24.1	36.9	49.2
Servicios financieros	28,846.1	28,892.6	28,916.3	28,939.7	46.5	70.2	93.6
Servicios de seguros	6,993.4	7,010.5	7,019.1	7,027.7	17.1	25.7	34.3

Auxiliares a los servicios financieros y s.	6,934.9	6,951.2	6,959.5	6,967.7	16.3	24.6	32.8
Servicios inmobiliarios	122,187.7	122,478.3	122,624.3	122,769.8	290.6	436.6	582.1
Servicios jurídicos y contables	18,204.6	18,216.5	18,222.8	18,228.9	11.9	18.2	24.3
Servicios arquitectura e ingeniería	13,363.8	13,374.8	13,380.6	13,386.2	11.0	16.8	22.4
Servicios de investigación y desarrollo	13,270.2	13,283.7	13,291.0	13,297.9	13.5	20.8	27.7
Publicidad y de estudio de mercado	6,995.2	6,996.3	6,997.0	6,997.6	1.1	1.8	2.4
Otros servicios profes, científicos y técnicos.	6,375.4	6,383.8	6,388.1	6,392.3	8.4	12.7	16.9
Servicios de alquiler	7,190.9	7,196.9	7,199.9	7,202.9	6.0	9.0	12.0
Servicios relacionados con el empleo	3,039.5	3,043.5	3,045.4	3,047.4	4.0	5.9	7.9
Servicios de agencias de viajes	2,490.3	2,497.8	2,501.5	2,505.3	7.5	11.2	15.0
Servicios de seguridad e investigación ...	27,212.6	27,248.3	27,266.7	27,284.7	35.7	54.1	72.1
Servicios de AAPP y defensa;	54,133.6	54,140.0	54,143.3	54,146.4	6.4	9.7	12.8
Servicios de educación	50,659.8	50,688.2	50,702.4	50,716.6	28.4	42.6	56.8
Servicios de atención sanitaria	48,500.2	48,532.9	48,549.3	48,565.6	32.7	49.1	65.4
Servicios sociales	13,368.2	13,380.6	13,386.8	13,393.0	12.4	18.6	24.8
Servicios artísticos y otros	11,173.0	11,194.0	11,204.5	11,215.0	21.0	31.5	42.0
Servicios deportivos, recreativos ...	7,949.2	7,962.0	7,968.5	7,975.0	12.8	19.3	25.8
Servicios prestados por asociaciones	2,562.1	2,562.8	2,563.2	2,563.6	0.7	1.1	1.5
Reparación de artículos de uso doméstico	1,337.2	1,340.2	1,341.7	1,343.2	3.0	4.5	6.0
Otros servicios personales	9,121.3	9,147.6	9,160.7	9,173.8	26.3	39.4	52.5
Servicios de los hogares	10,295.0	10,327.3	10,343.4	10,359.5	32.3	48.4	64.5
TOTAL	989,913.0	991,074.5	991,666.0	992,250.1	1,161.5	1,753.0	2,337.1

Fuente: Elaboración propia

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda de la Cátedra de Economía de la Energía y Medioambiente Universidad de Sevilla-REE. Ordóñez, Cansino y Román agradecen la ayuda del grupo de investigación SEJ-132 Teoría Económica y Economía Política y del Departamento de Análisis Económico y Economía Política de la Universidad de Sevilla. Cansino y Román agradecen también la ayuda de la Universidad Autónoma de Chile (Chile).

REFERENCIAS

Arcos-Vargas, A., Maza, J.Mª y Núñez, F. (2018 a). Propuestas para el fomento de la movilidad eléctrica: Barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar. Real Academia de Ingeniería de España, Madrid.

Arcos-Vargas, A., Cansino, J. M., y Román-Collado, R. (2018 b). *Economic and environmental analysis of a residential PV system: A profitable contribution to the Paris agreement*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1024-1035.

Cansino, J. M., Sánchez-Braza, A., y Sanz-Díaz, T. (2018). *Policy Instruments to Promote Electro-Mobility in the EU28: A Comprehensive Review*. *Sustainability*, 10 (7), 1-27.

Cansino, J. M., e Yñiguez, R. (2018). *Promoting electro mobility in Spain. Public measures and main data (2007-2012)*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 325-345.

Club Español de la Energía. (2017). *Energía y ciudades*. Madrid.

Comisión de expertos sobre escenarios de transición energética. (2018). *Análisis y propuestas para la descarbonización*. Disponible en http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe_cexpertos_20180402_veditado.pdf

Comisión Nacional de los mercados y de la competencia (2017). *Informe de supervisión de transporte ferroviario de mercancías. Año 2016*. (tomado de www.cnmc.es)

Dirección General de Tráfico (2011). *Anuario estadístico General 2010*. Accesible en www.dgt.es Última consulta, julio 2018.

Edwards, R., Larivé, J.F. y Beziat, J.C. (2011). *Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*, JRC Scientific and Technical Reports, Well-to-wheels Report, versión BC.

EEA (2015). *European Environmental Agency. Report N° 7/2015. Evaluating 15 years of transport and environmental policy integration – TERM 2015*.

Electromovilidad (2018). *Comparativa coche eléctrico vs combustión*. Accesible en www.electromovilidad.net Última consulta, julio 2018.

Freire-González, J. (2017). *Evidence of direct and indirect rebound effect in households in EU-27 countries*. *Energy Policy*, 102, 270-276.

Greening, L. A., Greene, D. L., y Difiglio, C. (2000). *Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey*. *Energy policy*, 28(6-7), 389-401.

Instituto Nacional de Estadística (2017a). *Contabilidad Nacional Anual de España. Marco Input-Output*. Tablas

TABLA 8
EFFECTO SOBRE LA EMISIONES DE GEI (KT DE CO_{2EQ} - SEPARACIÓN DE MILES EN , Y DECIMALES CON .)

	Inicial	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Dif Esc 1	Dif Esc 2	Dif Esc 3
Agricultura, ganadería y la caza	40,539.6	40,695.0	40,775.3	40,853.8	155.4	235.7	314.2
Silvicultura	68.2	68.4	68.5	68.5	0.2	0.3	0.3
Pesca	2,819.2	2,829.2	2,834.3	2,839.4	10.0	15.1	20.2
Industrias extractivas	5,085.6	5,003.4	4,962.4	4,921.3	-82.2	-123.2	-164.3
Alimentación bebidas y tabaco	6,982.7	7,007.0	7,019.4	7,031.6	24.3	36.7	48.9
Textil	784.3	786.7	787.9	789.1	2.4	3.6	4.8
Madera y corcho y productos de madera	887.5	889.1	890.0	890.8	1.6	2.5	3.3
Papel y productos del papel	3,172.5	3,181.6	3,186.4	3,191.0	9.1	13.9	18.5
Impresión y de reproducción	280.4	280.8	281.0	281.2	0.4	0.6	0.8
Coque y productos de refino de petróleo	16,623.5	15,984.9	15,666.2	15,347.1	-638.6	-957.3	-1,276.4
Productos químicos	12,125.9	12,143.5	12,152.9	12,161.9	17.6	27.0	36.0
Productos farmacéuticos	164.0	164.4	164.6	164.7	0.4	0.6	0.7
Productos de caucho y plásticos	836.8	836.2	835.9	835.7	-0.6	-0.9	-1.1
Otros productos minerales no metálicos	33,585.6	33,626.5	33,648.3	33,669.1	40.9	62.7	83.5
Prod. metalurgia y productos metálicos	13,975.1	13,980.8	13,983.5	13,986.3	5.7	8.4	11.2
Productos metálicos	1,288.7	1,289.1	1,289.2	1,289.4	0.4	0.5	0.7
Prod informáticos, electrónicos y ópticos	169.4	169.7	169.9	170.1	0.3	0.5	0.7
Equipo eléctrico	754.2	755.3	755.9	756.4	1.1	1.7	2.2
Maquinaria y equipo n.c.o.p.	725.7	726.2	726.4	726.6	0.5	0.7	0.9
Vehículos de motor, rem. y semirrem.	1,669.6	1,641.3	1,625.9	1,611.4	-28.3	-43.7	-58.2
Otro material de transporte	378.0	378.8	379.2	379.6	0.8	1.2	1.6
Muebles; otros productos manufacturados	552.0	553.3	553.9	554.5	1.3	1.9	2.5
Reparación e instalación de maquinaria	135.0	135.1	135.2	135.2	0.1	0.2	0.2
Energía eléctrica, gas, vapor y aire acond	60,332.8	60,918.9	61,212.1	61,505.3	586.1	879.3	1,172.5
Agua; tratamiento y distribución	197.5	197.9	198.1	198.3	0.4	0.6	0.8
Gestión de residuos	11,886.3	11,894.4	11,898.6	11,902.7	8.1	12.3	16.4
Construcciones y trabajos de construcción	1,552.3	1,554.4	1,555.5	1,556.5	2.1	3.2	4.2
Comercio y reparación de vehículos	818.2	790.5	776.6	762.7	-27.7	-41.6	-55.5
Servicios de comercio al por mayor	3,255.3	3,262.1	3,265.7	3,269.1	6.8	10.4	13.8
Servicios de comercio al por menor	3,084.3	3,092.2	3,096.2	3,100.2	7.9	11.9	15.9
Servicios de transporte terrestre	35,553.5	35,255.5	35,107.0	34,957.6	-298.0	-446.5	-595.9
Servicios de transporte marítimo	3,465.3	3,469.1	3,471.0	3,472.9	3.8	5.7	7.6
Servicios de transporte aéreo	6,314.2	6,328.5	6,336.0	6,343.2	14.3	21.8	29.0
Servicios auxiliares del transporte	927.4	928.1	928.5	928.9	0.7	1.1	1.5
Servicios de correos y mensajería	304.8	305.4	305.7	306.0	0.6	0.9	1.2
Servicios de alojamiento y restauración	2,175.2	2,182.0	2,185.4	2,188.9	6.8	10.2	13.7
Servicios de edición	45.5	45.6	45.6	45.7	0.1	0.1	0.2
Servicios cinematográficos y similares	316.7	317.2	317.4	317.6	0.5	0.7	0.9
Servicios de telecomunicaciones	172.0	172.4	172.6	172.8	0.4	0.6	0.8
Servicios de programación y relacionados	197.7	198.0	198.2	198.4	0.3	0.5	0.7
Servicios financieros	204.2	204.5	204.7	204.9	0.3	0.5	0.7
Servicios de seguros	113.6	113.9	114.0	114.2	0.3	0.4	0.6

Auxiliares a los servicios financieros y s.	228.0	228.5	228.8	229.1	0.5	0.8	1.1
Servicios inmobiliarios	176.5	176.9	177.1	177.3	0.4	0.6	0.8
Servicios jurídicos y contables	229.7	229.9	229.9	230.0	0.2	0.2	0.3
Servicios arquitectura e ingeniería	184.9	185.1	185.1	185.2	0.2	0.2	0.3
Servicios de investigación y desarrollo	6.3	6.3	6.3	6.3	0.0	0.0	0.0
Publicidad y de estudio de mercado	76.3	76.3	76.3	76.3	0.0	0.0	0.0
Otros servicios profes, científicos y técns.	63.8	63.9	63.9	64.0	0.1	0.1	0.2
Servicios de alquiler	1,238.3	1,239.3	1,239.8	1,240.4	1.0	1.5	2.1
Servicios relacionados con el empleo	12.1	12.1	12.1	12.1	0.0	0.0	0.0
Servicios de agencias de viajes	153.9	154.4	154.6	154.8	0.5	0.7	0.9
Servicios de seguridad e investigación ...	193.4	193.7	193.8	193.9	0.3	0.4	0.5
Servicios de AAPP y defensa;	2,425.0	2,425.3	2,425.4	2,425.6	0.3	0.4	0.6
Servicios de educación	1,349.6	1,350.4	1,350.7	1,351.1	0.8	1.1	1.5
Servicios de atención sanitaria	1,529.2	1,530.2	1,530.7	1,531.3	1.0	1.5	2.1
Servicios sociales	479.4	479.8	480.1	480.3	0.4	0.7	0.9
Servicios artísticos y otros	52.9	53.0	53.0	53.1	0.1	0.1	0.2
Servicios deportivos, recreativos ...	42.8	42.9	42.9	42.9	0.1	0.1	0.1
Servicios prestados por asociaciones	163.8	163.8	163.9	163.9	0.0	0.1	0.1
Reparación de artículos de uso doméstico	15.5	15.5	15.6	15.6	0.0	0.1	0.1
Otros servicios personales	141.7	142.1	142.3	142.5	0.4	0.6	0.8
Servicios de los hogares	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	283,283.4	283,126.2	283,053.7	282,976.5	-157.2	-229.7	-306.9

Fuente: Elaboración propia

Input-Output 2010. Accesible en www.ine.es Última consulta, enero, 2018.

(2017b). Cuentas de emisiones a la atmósfera por ramas de actividad y hogares. Base 2010. Accesible en www.ine.es Última consulta, enero, 2018.

Leontief, W. (1966). *Input-Output Economics*, 2ª ed., New York, Oxford University Press.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2015). *Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (2014-2020)*. Disponible en <http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/Servicios/estrategia-impulso-vehiculo-energias-alternativas/Documents/Estrategia-Impulso-Vehiculo-Energ%C3%A1das%20Alternativas-VEA-Espa%C3%B1a-2014-2020.pdf>

OMIE (2016). *Informes mensuales 2016*. Accesible en <http://www.omel.es/files/flash/ResultadosMercado.swf> Fecha de la consulta: agosto de 2017.

Saunders, H. D. (2000). *A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes*. *Energy policy*, 28(6-7), 439-449.

Secretaría de Estado de Medio Ambiente (2018). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2016*. Comunicación al Secretariado de la Convención Marco de NNUU sobre Cambio Climático. España. Accesible en www.mapama.gob.es Último acceso, enero, 2018.

Secretaría de Estado de Energía (2012). *La energía en España 2011*, Madrid. (www.minetad.gob.es)

Sorell, S. (2007). *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. Project Report.

UNFCCC (2015). *Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action*. Disponible en <https://unfccc.int/media/521376/paris-electro-mobility-declaration.pdf>

PROTAGONISMO DE LAS MATERIAS PRIMAS MINERALES EN EL DESARROLLO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

LUIS DE LA TORRE PALACIOS

Universidad Politécnica de Madrid

ELOY ÁLVAREZ PELEGRY

Real Academia de Ingeniería

JOSÉ ANTONIO ESPÍ RODRÍGUEZ

Universidad Politécnica de Madrid

En este artículo se trata de examinar las perspectivas de oferta y demanda de aquellas materias primas minerales y de algunos metales ante el fuerte crecimiento que, a futuro y en un horizonte temporal del 2030-2040, tendrá la penetración de los vehículos eléctricos (VE). Teniendo en cuenta la naturaleza del tema a abordar el ámbito de análisis será global. Para ello, en primer lugar, se indicará qué se entiende por vehículos eléctricos y qué componentes

tienen, para centrar la atención en las baterías, ya que estas son el elemento diferencial, fundamental, frente a los vehículos de combustión interna. El análisis de las condiciones de respuesta a la importante demanda de las materias primas de donde parten los materiales del vehículo eléctrico señala diferencias muy sustanciales en sus cadenas de suministro, conteniendo sustancias de indudable calificación como críticas. No menos importantes son las consecuencias geopolíticas que amenazan a algunas de estas materias.

INTRODUCCIÓN A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ↓

Para evaluar y discutir los posibles problemas que pudieran surgir en cuanto a disponibilidad o precio de las materias primas minerales como consecuencia de la creciente penetración de los VE en el futuro, es necesario, en primer lugar, precisar de qué tipo de VE (vehículo eléctrico) se trata. En segundo lugar, es preciso conocer dónde se encuentran las materias primas minerales en es-

tos VE. En tercer lugar, es imprescindible estimar su número en un horizonte temporal determinado.

El Marco de Acción Nacional (MAN) define el vehículo eléctrico como aquel propulsado total o parcialmente por un motor eléctrico que utiliza la energía química guardada en una o varias baterías recargadas por una fuente de alimentación externa. El MAN, considera dentro de la categoría de vehículos eléctricos los eléctricos puros (BEV, *Battery Electric Vehicles*), los enchufables (PHEV, *plug-in hybrid electric vehicles*) y los eléctricos de autonomía extendida (REEV, *range extended electric vehicles*).

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se entiende por vehículos eléctricos los BEV y los PHEV. No se consideran, por tanto, los híbridos convencionales que no son recargables eléctricamente, los vehículos eléctricos de celdas de combustible (1) (FCEV) que utilizan hidrógeno, ni los REEV por su escasa penetración en el mercado en los últimos años.

Es también relevante distinguir, los segmentos de uso. El primer segmento, y el más importante, por el número de unidades que hay en la actualidad y por el crecimiento que se espera en el futuro, es el de los vehículos ligeros de pasajeros (PLDV) y el de los ligeros de carga (LCV, *Light Commercial Vehicles*). Son también relevantes los vehículos de dos y tres ruedas como las bicicletas eléctricas y finalmente los autobuses y los camiones.

El número total del parque de vehículos eléctricos en el mundo en el año 2017 fue de tres millones de unidades, teniendo China el 40% del total. En 2017, las ventas globales superaron la cifra de un millón de unidades. Además, ese mismo año se vendieron 100.000 autobuses y 30 millones de vehículos de dos ruedas; en ambos casos la mayoría en China (IEA, 2018).

Una aproximación a los componentes de los vehículos eléctricos

Una forma de ver el impacto que tendrá la penetración del VE sobre los materiales es comparar un vehículo eléctrico con uno de combustión interna. Este enfoque es el que lleva a cabo UBS en su estudio de 2018 (UBS, 2018). Para ello compara un Chevrolet Bolt con un VW Golf.

El peso total de ambos vehículos en materias primas es de unos 1600 kg y 1300 kg, respectivamente. El Bolt es un 22% más pesado que el Golf, siendo la causa fundamental de la diferencia el peso de la batería. Por otra parte, el Bolt tiene un 70% más de aluminio, un 80% más de cobre; un 75% menos de acero, un 60% menos de hierro y un 100% menos de metales preciosos (PGM, metales del grupo del platino).

Por otra parte, el Chevrolet Bolt tiene 140 kg de materiales «activos» en las baterías (níquel, cobalto, litio, manganeso y grafito) y un kilogramo (kg) de tierras raras en el motor eléctrico, en particular (neodimio y disprosio).

En el Chevy Bolt, según la misma fuente, el acero tendría un peso del orden del 39%, el hierro del 2%, el aluminio del 9%, el cobre del 5%, el caucho del 1%, el grafito del 3%, el manganeso del 2%, el cobalto del 1%, el níquel del 2%, el litio del 0,6% y en un amplio porcentaje, las tierras raras y otros componentes con el 31%.

En base a estos supuestos, UBS imagina un mundo 100% eléctrico. En este caso, la demanda mundial de materias primas se incrementaría en un 2.511% para el litio, 1.928% el cobalto, 264% el grafito, 118% el níquel, 100% las tierras raras, 21% el cobre, 135% el manganeso y 12% el aluminio. Caerían las demandas del acero (1%) y la de los PGM (metales del grupo del platino) (en un 53%). En términos económicos, se estima que tiene del orden de 580 US\$ de contenido en semiconductores, lo que supone entre 6 y 10 veces los del Golf.

Este enfoque, que busca evaluar el impacto de la electrificación del transporte sobre la demanda de

materias primas minerales, se sustenta en el supuesto básico de que la influencia de la demanda sobre las materias primas viene inducida por los materiales de las baterías.

Además, debería considerarse en la demanda de materias primas, no solo la debida a las baterías, sino también la relativa a la generación y el almacenamiento de electricidad, a las redes eléctricas, a las infraestructuras de recarga y, naturalmente, a la demanda de los VE (Glencore, 2018).

Sobre las baterías

Hoy en día existe un amplio consenso de que, de momento, las baterías de ion-litio serán la base del desarrollo de las baterías para los VE, al menos para horizontes temporales a medio plazo.

Uno de los elementos que apoya esta previsión es el desarrollo de las baterías de ion-litio en la electrónica de consumo, que ha facilitado una gran experiencia y una importante disminución de los costes unitarios.

Existen diversas químicas en las baterías que conviene señalar, en particular, por la influencia sobre el examen de la demanda de materiales, de que es objeto este artículo. Así para el cátodo o electrodo positivo se incluye litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC, por sus siglas en inglés); litio-níquel-cobalto-óxido de aluminio (NCA); litio-óxido de manganeso (LMO); y litio-fosfato de hierro (LFP). En la mayoría de los diseños actuales, el ánodo es de grafito, pero el titanato de litio (LTO) también se utiliza especialmente en vehículos pesados (Warner, J. 2015) en (IEA, 2018).

Anteriormente, la EIA (2018) ha puesto de manifiesto la relevancia del desarrollo de la electrificación del transporte sobre la demanda de materiales. La agencia señala tres cambios importantes en este sentido, a saber: el aumento del uso del cobre, el de las tierras raras en los motores eléctricos y el de los metales escasos.

Es relevante examinar la intensidad de los denominados materiales considerados de tipo estratégico o, en algunos casos críticos, según aceptación de la Unión

TABLA 1
INTENSIDAD DE METALES CRÍTICOS* EN LA QUÍMICA DE LAS PRINCIPALES BATERÍAS (kg/kWh)

	Li	Ni	Co	Mn
NCA	0,1	0,67	0,13	0,00
NMC 111	0,15	0,4	0,40	0,37
NMC 433	0,14	0,47	0,35	0,35
NMC 532	0,14	0,59	0,23	0,35
NMC 622	0,13	0,61	0,19	0,20
NMC 811	0,11	0,75	0,09	0,09
LFP	0,1	-	-	-

Fuente: ANL BatPaC en (IEA, 2018)

TABLA 2
DEMANDAS ESTIMADAS DE LITIO, NÍQUEL, COBALTO Y MANGANESO SEGÚN LOS MODELOS DE BATERÍA
CONSIDERADOS EN LA TABLA 1 (EN MILES DE TONELADAS)

Tipo	Intensidad toneladas/GWh				Previsión en base a 775 GWh en el año 2030				Previsión en base a 2000 GWh en el 2030			
	Li	Ni	Co	Mn	Li	Ni	Co	Mn	Li	Ni	Co	Mn
NCA	100	670	130	0	77,50	519,25	116,25	0	200	1.340	300	0
NMC 111	150	400	400	370	116,25	310,00	310,00	286,75	300	800	800	740
NMC 433	140	470	350	350	108,50	364,25	271,25	271,25	280	940	700	700
NMC 532	140	590	230	350	108,50	457,25	178,25	271,25	280	1.180	460	700
NMC 622	130	610	190	200	100,75	472,75	147,25	155,00	260	1.220	380	400
NMC 811	110	750	90	90	85,25	581,25	69,75	69,75	220	1.500	180	180
LFP	100	-	-	-	77,50	-	-	-	200	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Europea: litio (Li), níquel (Ni), cobalto (Co) y manganeso (Mn). Para la Unión Europea, se consideran materias primas críticas (CRM, «critical raw materials») a aquellas que combinan su gran importancia para la economía de la Unión y un alto riesgo asociado a su suministro.

Para ello, la IEA identifica la intensidad en kg/kWh, para diferentes químicas de las baterías, que se reflejan en la tabla 1.

SOBRE LA DEMANDA DE VE Y DE BATERÍAS

Sobre la demanda de baterías y materiales relacionados

El despliegue del VE tendrá dos consecuencias básicas. Por un lado, un incremento de la demanda de energía eléctrica y, por otro, de las baterías. Respecto a la primera, se pueden considerar las hipótesis de un consumo de entre 18 y 27 kWh/100 km (IEA, 2018) estima 20-27 y 18kWh/100km (Álvarez Pelegry et.al., 2017).

Igualmente, hay que considerar un kilometraje anual que se situaría entre 8.500-20.000 km/año en la horquilla más amplia de las dos fuentes anteriores.

Utilizando las cifras de vehículos a 2030, de consumos por kilómetro y de los kilómetros recorridos al año estimados para los valores inferior y superior, la demanda de electricidad mundial a 2030 presentaría valores en un rango muy amplio, desde los 168 TWh-594 TWh para 110 millones de vehículos a 348-1.231 TWh para 228 millones de vehículos del valor de «ambición» del EV130@30. Esta iniciativa es una campaña lanzada en el año 2017 que aspira al objetivo conjunto de los miembros de la Iniciativa de Vehículos Eléctricos (EVI) de alcanzar un 30% del mercado de la UE en el año 2030.

A estos consumos hay que añadirles los de los vehículos de dos y tres ruedas, así como los de camiones y autobuses. Las cifras para la (IEA, 2018) son de 404 TWh

y 928 TWh para el año 2030 en los escenarios de NPS y del EVI, ya citados.

El incremento de vehículos eléctricos y de demanda de energía eléctrica está ligado al aumento de la capacidad y a la producción de baterías.

Para el año 2030, es de esperar que se incremente el rango de autonomía de los VE, de modo que se traduzca en un aumento de la capacidad de las baterías en el rango de 70-80kWh (en la actualidad 20 kWh en China y 60 kWh en EE. UU, según la [IEA, 2018]); de manera que la capacidad anual de baterías pasaría de 68 GWh en 2017 a 775 GWh y 2250 GWh en el año 2030 para los dos citados.

Otras fuentes suponen cifras de 450 TWh de demanda de electricidad en 2030 y de 8.000 GWh de baterías en operación en vehículos ligeros en el mundo (IRENA, 2017). Teniendo en cuenta las cifras del parque de vehículos y de ventas, *grosso modo*, esto supondría una capacidad de producción del orden de 2.000 GWh dicho año.

Para no fatigar al lector con más disquisiciones se puede asumir las cifras de 775 GWh y 2000 GWh para estimar las demandas de materiales para las baterías.

Teniendo en cuenta estas cifras, resultan las demandas estimadas para el litio, níquel, cobalto, y manganeso en miles de toneladas para el año 2030 según diferentes tipos de baterías que se recogen en la tabla siguiente.

Para la IEA (2018), la estimación «central sobre la química de las baterías para 2030» es de 50% de NMC 811, 40% de NMC 622 y 10% de NCA. De acuerdo con esto, en el escenario NPS (*New Policy Scenario*), la demanda de cobalto sería de 101.000 toneladas y 91.000 toneladas de litio; cantidades que, naturalmente, son muy superiores en el escenario EV30@30 donde las cifras se sitúan en 291.000 y 263.000 toneladas, respectivamente.

Las demandas de níquel y cobalto, para los años 2025 y 2030, suponiendo en esos años unas ventas de vehículos eléctricos de 10 millones y 30 millones de unidades respectivamente, serían de 299.000 y 985.000 toneladas para el níquel y de 80.000 y 259.000 toneladas para el cobalto (Glencore, 2018). Glencore también estima el incremento de demanda de cobre que sería del orden de 1 y 2 millones de toneladas, respectivamente.

El examen de las cifras en la tabla anterior permite situar estas estimaciones, tanto en relación con la demanda de vehículos como con la química de las baterías. Así, modificaciones en la química del cátodo afectarán en mayor medida a la demanda de Co y Li, principalmente.

EL SUMINISTRO DE LOS METALES QUE COMPONEN LOS ACUMULADORES DE ENERGÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Sobre los materiales que componen el vehículo eléctrico

Desde el punto de vista del suministro de los materiales que componen las partes fundamentales del vehículo eléctrico, se aborda en este apartado la problemática de la disposición de las materias primas que lo componen relacionadas con las baterías, ante el importante aumento de la demanda que se avecina y que se han señalado en el apartado anterior.

Por ello, estimamos que resulta necesario dividir estos materiales en dos grupos, aquellos que componen la estructura del vehículo, el sistema de generación y distribución eléctrica y sus accesorios no fundamentales, y los que forman parte de los sistemas de acumulación eléctrica y de los motores eléctricos. Los primeros poseen, en principio, unas cadenas productivas flexibles ante la demanda, mientras que los segundos requerirán muy importantes esfuerzos de adaptación de la industria involucrada en su producción, además de una continua transformación, a fin de responder adecuadamente ante procesos de demanda fuera de una tendencia natural de crecimiento.

En el segundo grupo coexisten minerales y metales relativamente escasos (cobalto, tierras raras) con otros que no lo son tanto (grafito, litio, níquel, manganeso), pero que viven momentos de expectación ante una demanda cuya dimensión todavía es objeto de polémica. A continuación, se aborda el origen y problemática de suministro de los materiales naturales que se encuentran involucrados en las baterías eléctricas.

En este apartado se abordan las características que generales relacionadas con su aparición en los mercados, desde su origen a su decadencia o desaparición, de los elementos naturales que van a configurar los sistemas de acumulación de energía en el vehículo eléctrico. Posteriormente, en el Apartado 4, se abordan las peculiaridades de las cadenas de suministro de cada metal o mineral.

El grafito

Participación del grafito en el vehículo eléctrico. Hoy por hoy, resulta el componente con mayor participación en muchas de las baterías del coche eléctrico y, sobre todo, en los acumuladores de ion-litio. Se necesitan entre 20 y 30 veces más grafito que litio para fabricar este tipo de baterías.

Las condiciones del stock natural. El grafito natural es el producto de la recristalización metamórfica de la materia orgánica contenida en las rocas. Cuando este proceso se produce sobre capas de carbón, o sobre rocas que contienen hidrocarburos líquidos, se generan yacimientos que también pueden tener origen volcánico o hidrotermal. El grafito natural es relativamente abundante en la naturaleza, y está constituido mayoritariamente por carbono en un 80% – 90%, presentando impurezas inorgánicas de distinta naturaleza, que en el proceso de concentración se eliminan mediante sistemas de flotación selectiva o por tratamientos químicos. Las propiedades y composición del grafito vienen determinados por su localización geológica. Por ello no es de extrañar que, en principio, los recursos de grafito parezcan inmensos.

Existen tres tipos distintos de grafito natural que se producen en diferentes tipos de depósitos minerales:

- Grafito en escamas. Es la forma menos común de grafito. Presenta un rango de carbono del 85-98%. Su precio es alrededor de 4 veces más alto que el grafito amorfo y es utilizado en muchas aplicaciones tradicionales. Además, resulta muy deseable para aplicaciones del grafito como material de ánodo de las baterías de ion-litio.
- Grafito amorfo. Constituye la forma más abundante de grafito. Su contenido es comparativamente bajo de carbono de 70%-80%. No posee cristalinidad visible y su pureza es la más baja. No es de calidad adecuada para su uso en la mayoría de las aplicaciones de acumulación eléctrica.
- Grafito cristalino alto (veta cristalina). Solo se extrae de Sri Lanka. Su contenido de carbono es del 90%-99%. La escasez y el alto costo restringen la viabilidad para la mayoría de las aplicaciones.

Además, existe el grafito sintético que es un producto fabricado mediante tratamiento a alta temperatura de materiales de carbono amorfo. La materia prima utilizada para ello, es el coque de petróleo calcinado y el alquitrán de hulla. Esto hace que sea muy costoso de producir, hasta 10 veces el coste del grafito natural.

La concentración de la producción. En 2017 China fue el productor de grafito más importante del mundo con 780.000 t de mineral. Según el Servicio Geológico de los EE. UU., esta producción representó el 65% de la extracción mundial y el 35% del consumo. A pesar del dominio absoluto de China en el mercado del grafito, sin embargo, no se espera que el dominio de la nación asiática continúe para siempre. La India es el segundo productor mundial, con 170.000 toneladas de

grafito. El tercero es Brasil con 95.000 toneladas. Canadá, con una producción minera de 30.000 t ocupa el lugar del cuarto productor. Hoy por hoy, existe una evidente concentración de la producción, que se refleja y cuantifica más adelante y, sobre todo, aparece la figura china como elemento de preocupación.

Posibilidades de su sustitución. Los nuevos usos de la tecnología en pilas de combustible, baterías y las aplicaciones como «composites» ligeros de alta resistencia pueden aumentar sustancialmente la demanda mundial de grafito, ya que de momento no existen sustitutos.

Los nuevos recursos. En realidad, el grafito es un mineral muy abundante en la naturaleza y no se encuentra suficientemente investigado, sobre todo, en sus calidades de mayor valor. De ahí que la cifra de los 270 millones de toneladas indicadas por el USGS (2018) se ven muy escasas comparándolas con otras que nos hablan de cifras que se acercan a los mil millones de toneladas. Sin embargo, las variedades de tamaño grande de escama, son muy demandadas por sus aplicaciones en productos de calidad, incluso para la fabricación del grafeno. Por ello, se piensa que, a corto plazo, la exploración del grafito en ambientes geológicos todavía no estudiados, debe dar sus frutos. Además, el grafito artificial siempre puede ser una alternativa en los productos de alta gama, a pesar de que hoy su coste de producción parezca prohibitivo.

El litio ↓

Participación del litio en el vehículo eléctrico. Las baterías de reciente creación ion-litio se encuentran formadas por un electrolito de sal de litio y electrodos de grafito y óxido de cobalto. El uso de nuevos materiales tales como el litio ha permitido conseguir altas energías específicas, una alta eficiencia, la eliminación del efecto memoria y la ausencia de mantenimiento. Además, disponen del doble de densidad energética que las baterías níquel-cadmio, con un tamaño del orden de un tercio más pequeñas. Pero también tienen desventajas, la principal es su alto coste de producción, aunque poco a poco éste se va reduciendo. Son frágiles, pueden explotar por el sobrecalentamiento y deben ser almacenadas con mucho cuidado.

Las condiciones del stock natural. El litio es un elemento relativamente raro que ocupa el puesto 27 por su abundancia en la corteza terrestre y, aunque se encuentra en muchas rocas y algunas salmueras, sus concentraciones suelen ser muy bajas. Las salmueras de litio de alta concentración proceden, tanto de las aguas geotermales como de la lixiviación superficial de las cenizas volcánicas, arcillas o de otras rocas. Las salmueras pueden ser geotérmicas (explotadas desde hace ya tiempo), de campos petrolíferos (con enormes posibilidades y relativamente bien estudiadas) y de arcillas heceterolíticas (de futuro prometedor y enormemente abundantes). Aproximadamente, la mitad de la producción actual de litio procede de yacimientos convencionales de roca dura, mientras que

la otra mitad deriva de la extracción del litio disuelto en salmueras.

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (2017), las reservas mundiales de litio (recursos minerales que pueden explotarse económicamente) procedentes de las estimaciones sobre minerales de litio sólidos, salmueras y minerales en arcillas (heceterolíticas) pueden llegar a los 14 millones de toneladas. Si añadimos los minerales de baja ley y salmueras, además de las arcillas con litio, en total se puede hablar de unos 40 millones de toneladas (USGS, 2014).

La concentración de la producción. Los principales países productores de carbonato de litio son: Chile, Argentina, Canadá, Australia, China, y Estados Unidos. El litio en muy importantes cantidades ha sido también identificado en las salmueras de Bolivia, China e Israel. Se estima que China y Europa son los mayores consumidores de litio en el mundo, con un 29% y el 28% del total, respectivamente. En la actualidad, la fuente de producción de litio y su demanda se encuentran relativamente equilibradas. Sin embargo, se avecina un déficit en el suministro de litio, que demandará nuevos países en el mercado.

En realidad, no existen abultadas diferencias en las posibilidades de producción de los países involucrados en el suministro. Además, en un futuro inmediato, las fuentes de suministro del litio se diversificarán todavía más, al incorporarse litio procedente de salmueras de sondeos petrolíferos, arcillas anómalas en litio y otras más. Además, hoy, las diferencias en los costes de producción entre el mineral duro explotado con métodos convencionales y el litio extraído por bombeo en las salmueras, son muy reducidas.

Los nuevos recursos. Se piensa que vendrán nuevos actores del lado de la oferta de litio, a medida que aumente la demanda. Los inversores estratégicos ya se están posicionando en los tipos de fuentes de litio que todavía no se explotan, como son las arcillas heceterolíticas y las salmueras de campos petroleros, dos tipos de fuentes que se ubicarían por delante de las pegmatitas con espodumena y otros minerales de litio.

El cobalto ↓

Participación del cobalto en el vehículo eléctrico. En una batería de ion-litio, las diferentes químicas del cátodo tienen un impacto en la demanda de las materias primas que la componen. Por ejemplo, las baterías LCO (lithium cobalt oxide) solo contienen cobalto y litio en porcentajes (muy orientativos) en peso de 7% y 60% respectivamente, mientras que una NMC (níquel-manganeso-cobalto), tiene aproximadamente 7% de litio, 20% de níquel, 19% de manganeso y 22% de cobalto en relación con el peso total. Aunque depende del tipo de batería, una cifra orientativa señala que ya que cada batería contiene aproximadamente 15 kilogramos de sustancias químicas de cobalto. Últimamente se observa una creciente conciencia de que existen diferentes tecnologías de cátodos en las baterías ion-li-

tio que pueden permitir avanzar hacia una química de menos cobalto y poder reemplazarlo con níquel.

Las condiciones del stock natural. El metal cobalto se asemeja al hierro y al níquel, tanto en estado libre como combinado. Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0.001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre, en comparación con el 0.02% del níquel. El cobalto y sus aleaciones son resistentes al desgaste y a la corrosión, aun a temperaturas elevadas. Es importante tener en cuenta que en una batería de ion-litio no existe realmente metal de cobalto. Son los productos químicos de cobalto los que aparecen en estas baterías, siendo el sulfato de cobalto una de las materias primas preferidas para los fabricantes de cátodos.

En la naturaleza, el cobalto forma parte de una serie de depósitos minerales que se caracterizan porque:

No existen concentraciones de incuestionable envergadura. Además, las tipologías de yacimientos, aunque extensas en su conjunto, tan solo aparecen no más de cinco con interés económico. Los Sediment Hosted de cobre (SH), yacimientos incluidos específicamente en estratos o episodios sedimentarios, forman, sin lugar a dudas, el modelo genético de mayor interés, contando con más de la mitad de la producción mundial. Por ello, no debe de extrañar la concentración geográfica de las producciones de cobalto, centrándose en el interior de África. En el resto de los casos se encuentran asociados a otros metales de los cuales depende en su extracción económica. Los nódulos marinos, aunque no significan un recurso de aprovechamiento inmediato, no cabe duda que jugarán un importante papel en un futuro bastante próximo.

La concentración de la producción. Los depósitos de cobalto se pueden encontrar en todo el mundo y son más prominentes en el cinturón de cobre africano (la República Democrática del Congo y Zambia), con más del 60% de la producción mundial de cobalto de un solo país.

En 2016, aproximadamente el 60% del cobalto extraído fue como un subproducto del cobre, el 38% como subproducto del níquel y el 2% restante de las minas primarias de cobalto. Así, los cambios en la producción mundial de cobre y níquel son los principales determinantes de los cambios en la producción de cobalto.

Los nuevos recursos. De manera contundente, tan solo se puede pensar en el contenido de cobalto en los nódulos marinos abisales como fuente alternativa a los yacimientos tradicionales. Las reservas de cobalto se cifran en 7,2 millones de toneladas con unos recursos totales de 25 millones de toneladas. Sin embargo, alrededor de 120 millones de toneladas de cobalto se encuentran en forma de nódulos de manganeso en fondos abisales en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. No obstante, todavía existen barreras tanto legales y medioambientales como tecnológicas para llevar a cabo una auténtica producción de estos recursos.

El níquel

Participación del níquel en el vehículo eléctrico. Las baterías de iones de litio originales introducidas por Sony en 1991 usaban un polvo de cátodo de litio-cobalto o LCO, que era aproximadamente el 60% de cobalto en peso. Si bien en las LCO ha seguido siendo la química preferida para productos electrónicos personales durante casi 30 años, nunca fue vista como una química habilitante para vehículos eléctricos, ya que el cobalto es escaso y costoso y las celdas LCO tienen un registro de seguridad poco espectacular.

En 1999, se introdujeron dos compuestos químicos catódicos ricos en níquel. En primer lugar, la química de níquel-cobalto-manganeso, o NCM/NMC, que ha utilizado proporciones iguales de níquel, cobalto y manganeso para reducir el contenido de cobalto del 60% al 20%. Además, la química de níquel-cobalto-aluminio, o NCA, que utiliza principalmente níquel con pequeñas cantidades de cobalto y aluminio para reducir el contenido de cobalto desde el 60% al 9%. Desde 1999, los fabricantes de baterías han continuado sus esfuerzos para reducir el contenido de cobalto, sin embargo, el ritmo del progreso ha sido muy moderado.

Las condiciones del stock natural. El níquel es un elemento metálico de origen natural, lustroso y de color blanco plateado. Es el quinto elemento más común en la tierra y aparece de manera extensiva en la corteza terrestre. Sin embargo, la mayor parte del níquel se encuentra inaccesible en el centro de la tierra. Las características clave del metal níquel son: alto punto de fusión, resiste la corrosión y la oxidación, es muy dúctil, se alea fácilmente, es magnético a temperatura ambiente, se puede depositar mediante galvanoplastia y posee propiedades catalíticas.

Como reflejo de estas características, el níquel se utiliza ampliamente en más de 300.000 productos para aplicaciones de consumo, industriales, militares, de transporte, aeroespaciales, marinas y arquitectónicas. Su mayor uso (alrededor del 65%) es la aleación, especialmente con cromo y otros metales para producir aceros inoxidables y resistentes al calor. En muchas de estas aplicaciones, no hay sustituto para el níquel sin reducir el rendimiento o aumentar los costos.

Los recursos minerales de níquel consisten en minerales de sulfuros primarios (el 45%) con un contenido promedio de níquel de 0,58% Ni y menas lateríticas (el 55%) con un contenido promedio de 1,32% Ni. Solo el 42% de la producción mundial procede de minerales de tipo laterítico, mientras que el 58% restante proviene de minerales sulfurados. Se estima que en los minerales lateríticos se incluyen el 72% de los recursos minerales mundiales, mientras que en los minerales sulfurados incluyen al 28% de todos los recursos minerales mundiales.

La concentración de la producción. Los cinco principales países productores de níquel en 2017, según los datos más recientes del Servicio Geológico de los

EE. UU. son: Indonesia, con una producción minera: 400.000 t de níquel metal, Filipinas, con 230.000 t de níquel, Canadá, que produjo 210.000 t de níquel, Nueva Caledonia con 210.000 t Ni, Australia con una producción minera de 190.000 t Ni. El resto de los productores suman 860.00 toneladas de níquel metal.

Como se puede apreciar por el *Índice de Herfindahl-Hirschman*, no aparece concentración en la producción, aunque hay países como Canadá, Australia y Nueva Caledonia que arrastran una posición destacada desde hace muchos años.

Los nuevos recursos. Durante las últimas dos décadas, los fabricantes de baterías de ion-litio han buscado afanosamente formulaciones de cátodos avanzados que reemplazasen parcialmente el costoso cobalto mediante el uso del níquel, mucho más barato. En general, aumentar el contenido de níquel en una formulación de cátodo mejora la densidad de energía de la batería, pero reduce la estabilidad, lo que significa que hay una compensación entre costo y seguridad.

El níquel ha sido ampliamente explorado en todo el mundo desde hace muchos años, debido al valor de sus concentrados. Por ello goza de una buena información acerca de sus posibilidades productivas y del origen de sus manifestaciones económicas. El níquel participa con el cobalto y el cobre en la composición de los nódulos marinos que en un futuro podrían ser una alternativa a los recursos actuales.

El manganeso

Participación del manganeso en el vehículo eléctrico. El manganeso es un elemento esencial para la industria moderna. Su uso principal es en la fabricación de acero. Aunque la cantidad de manganeso consumida para hacer una tonelada de acero es pequeña (0,6% a 0,9%) es un componente irremplazable en su producción.

Las condiciones del stock natural. El manganeso es elemento relativamente abundante en la corteza terrestre, ocupando el puesto 12, con concentraciones variables, pero acercándose al 0,15%. Los minerales de manganeso de la más alta calidad contienen del 40% al 45% de manganeso. Los procesos dominantes en la formación de los principales depósitos del mundo tienen lugar en medios marinos.

La concentración de la producción. En principio no debería existir una escasez global de recursos minerales de manganeso, aunque existen factores que limitan su producción desde un punto de vista estrictamente económico. Así, el uso generalizado en aceros para la construcción hace que su demanda sea intensa, alrededor de los 17 millones de toneladas. Es ahí, en la gran producción en donde este metal se puede volver escaso. La concentración de su producción se deriva de la necesidad de conseguir proyectos mineros de gran envergadura de producción.

TABLA 3
ÍNDICE DE HERFINDAHL-HIRSCHMAN DE LAS CINCO SUSTANCIAS ANALIZADAS EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

	Índice de Herfindahl-Hirschman
Tierras Raras	7.016
Grafito natural	4.492
Litio	3.122
Cobalto	3.119
Manganeso	1.688
Níquel	976

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de producción, por países, del USGS 2017

Tomando las referencias del Servicio Geológico Norteamericano (W.F. Cannon *et al.*, 2017), el distrito de manganeso de Kalahari en Sudáfrica contiene el 70 por ciento de los recursos identificados en el mundo y alrededor del 25 por ciento de sus reservas. Sudáfrica, Brasil y Ucrania juntos representaron casi el 65 por ciento de las reservas en 2013. En el año 2017 la producción mundial se elevó a 17 millones de toneladas y los cinco principales productores fueron los siguientes: 1º. África del Sur con 5,3 Mt, 2º. China con 2,5 Mt, 3º. Australia con 2,2Mt, 4º. Gabón con 1,6 y 5º. Brasil con 1,2 Mt. (Kay Amanda, 2018).

Consideraciones sobre la concentración de la producción: el Índice de Herfindahl-Hirschman.

El Índice de Herfindahl-Hirschman (IHH) es un parámetro, empleado en economía, que informa sobre la concentración económica de un mercado. Un índice elevado expresa un mercado muy concentrado y poco competitivo. El índice se calcula elevando al cuadrado la cuota de mercado que cada país posee y sumando esas cantidades. Así, el monopolio perfecto, referido a países productores, produciría un índice de 10.000.

Para homogeneizar los resultados lo más posibles se ha tomado en el cálculo de las cinco sustancias la misma fuente de información, las estadísticas suministradas por el USGS norteamericano referido al año 2017 (Tabla 3). En la Tabla 4 se señalan en % los cinco principales países productores.

Siguiendo la Tabla 4 de los metales considerados, las tierras raras ocupan un destacado primer lugar que, aunque ya de sobra resulta conocido, en 2017 señala un descenso todavía poco importante respecto a años pasado, en donde formaba casi un monopolio perfecto. El grafito denota una importante concentración en su producción, sobresaliendo la presencia de China. Esta esta posición no resulta tan dramática como en el caso anterior, ya que todos los verdaderos analistas reconocen oportunidades en otros países. Además, llama la atención la igualdad del índice para

TABLA 4
PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE MATERIAS PRIMAS MINERALES EXPRESADOS EN %

Países productores de TIERRAS RARAS	% de la mundial 2017	Países productores de GRAFITO	% de la mundial 2017	Países productores de LITIO	% de la mundial 2017
China	83	China	65	Australia	41
Australia	11	India	14	Chile	34
Rusia	2	Brasil	7	Argentina	16
Thailandia	< 1	Turquía	3	China	5
Malasia	< 1	Méjico	2	Zimbabwe	2
Resto	2	Resto	9	Resto	2

Países productores de COBALTO	% de la mundial 2017	Países productores de MANGANESO	% de la mundial 2017	Países productores de NIQUEL	% de la mundial 2017
R. D. Congo	54	Sudáfrica	29	Filipinas	22
Canadá	6	China	19	Rusia	11
China	6	Australia	15	Canadá	11
Rusia	5	Gabón	12	Australia	9
Australia	4	Brasil	7	N. Caledonia	9
Resto	25	Resto	25	Resto	38

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de producción, por países, del USGS 2017

el litio y el cobalto, que es de todo coyuntural, ya que ambos se encuentran en un dramático proceso de ajuste a la demanda que se avecina y que, sin duda, dejará al cobalto en una posición más aislada. Esto es el resultado de que la distribución geográfica de las oportunidades de producción no resulta en nada innovadora. El manganeso y níquel se mantiene en última posición, cuestión explicada por la madurez de su producción, relacionada por su amplia demanda en el sector metalúrgico.

LA FORMACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO Y LOS PROBLEMAS DEL ABASTECIMIENTO SEGURO ↓

Conceptos ↓

La estructura de la cadena de suministro de materiales que necesita un sector industrial, resulta muchas veces bastante compleja y, sobre todo, muy específica del sector que se trate. Resumiendo mucho, si consideramos la parte inicial de un ciclo de vida de un producto industrial, todo comienza con la relación del suministrador con la naturaleza, de dónde se obtienen las materias primas, en este caso minerales. También ahí empiezan los problemas cuando la demanda de un bien mineral se produce con un volumen y exigencia temporal desmesurada. El conocimiento del stock natural de materias primas es siempre complejo y lleno de incertidumbres, por ello, la rápida puesta en marcha de nuevos suministros resulta crucial ante variaciones bruscas de la demanda.

Se comprende muy bien que en la naturaleza, las concentraciones de metales necesitan tiempo para ser descubiertas y ser puestas en producción. No son

extraños los periodos de maduración de los proyectos superiores a los 12 años y, aunque existen muchas cifras, el entorno de ocho años resulta muy frecuente. El agotamiento de las concentraciones minerales debe provocar su sustitución de manera eficiente y, cuando esto ocurre a nivel de una tipología o manera de encontrarse en la naturaleza, la tecnología debe acudir en su ayuda, incluso antes de las fases de agotamiento.

A fin de ayudar a la comprensión de estos fenómenos, se ha optado por presentar esquemas muy resumidos de las cadenas de valor (ciclo de producción) en la Figura 1, y de suministro, Figura 2. Ambas, en casi todo son semejantes. No puede extrañar, ya que, en estas fases primeras, los eslabones de la cadena de valor se encuentran marcados por los productos resultantes de cada etapa. Sobre ellas se superpondrán los materiales básicos que presentan posibles problemas de abastecimiento a la fabricación del vehículo eléctrico.

La «cadena de valor» del proceso de producción de materias primas minerales comienza en la *Etapa 1* del ciclo de vida de cada metal. Es la fase de exploración de nuevos recursos con criterios de selectividad respecto a las calidades buscadas, que se relacionan con las exigencias del mercado o, en todo caso, con las economías de producción. La *Etapa 2* es la fase de la actividad de explotación de la materia prima mineral. Las dimensiones y calidades están relacionadas, tanto por las cualidades y calidades del yacimiento, como por la demanda. La selectividad en la explotación se encuentra regulada por las riquezas o leyes límites que son el reflejo de la demanda y de los costes de producción.

FIGURA 1
CADENA DE VALOR EN OPERACIONES MINERAS MÁS USUALES



Fuente: elaboración propia

FIGURA 2
CADENA DE SUMINISTROS HACIA LA INDUSTRIA ESPECIALIZADA



Fuente: elaboración propia

En la *Etapa 3*, la concentración y/o preparación del mineral extraído, se realiza también en el lugar de la explotación minera y, muchas veces, resulta el proceso que exige un mayor esfuerzo tecnológico y de costes de operación, ya que debe liberar los granos de mineral a fin de poder concentrarlos para producir productos de la mayor riqueza posible. Estos saldrán del lugar de la explotación hacia la metalurgia o el refino.

En la *Etapa 4*, se realiza, en general, la extracción del metal del mineral que lo contiene y requiere de un complejo industrial de importancia, en ubicaciones diferentes fuera del lugar donde radica la explotación minera, además de un fuerte consumo de energía. En

algún caso, se puede considerar parte de la *Etapa 3*, al menos de manera primaria, ya que un metal impuro puede surgir del proceso hidrometalúrgico asociado a esta etapa. Solo en estos casos.

Por fin, en la *Etapa 5*, se pueden incluir las diversas transformaciones de carácter secundario que preparan, en el caso de los metales, el material bruto en lingotes o planchas, para las transformaciones industriales que configuran los productos finales o los componentes de cadenas más complejas. En otros casos, tal como ocurre con el litio o el grafito, en esta etapa no se realiza la producción del metal, sino una transformación química hacia el componente definitivo.

TABLA 5
POSIBLE «CRITICIDAD» EN LAS FASES DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOS METALES DEL VEHÍCULO ANTE UNA DEMANDA BRUSCA DE LAS BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y LAS LEYES O CONCENTRACIONES DE METAL EN CADA FASE

	Grafito	Litio	Cobalto	Níquel	Manganeso	Neodimio
Fase 1	80%-90% C	> 1% Li ₂ O - 500 ppm Li ₂ O	> 0.1% Co	> 0.4% Ni	> 4% Mn	> 0.1% de Tierras Raras en conjunto
Fase 2	80%-90% C	> 1% Li ₂ O - 500 ppm Li ₂ O	> 0.1% Co	> 0.4% Ni	> 4% Mn	> 0.1% de Tierras Raras en conjunto
Fase 3	>90% C	> 5% Li ₂ O -	> 2% Co	5%-12% Ni	> 70% Mn	> 40% de Tierras Raras en conjunto
Fase 4	>95% C	Li como Carbonato	Variable como prod. químicos	Variable como prod. químicos	Variable como prod. químicos	> 85 % Hidróxido Neodimio
Fase 5	>95% C	Li como Carbonato	Muy alta	Muy alta	Muy alta	> 95 % Hidróxido Neodimio

Fuente: elaboración propia

Aplicación a los componentes de los acumuladores de energía eléctrica

La Tabla 5 señala los metales y minerales componentes del vehículo eléctrico que presentan rasgos de incertidumbre en sus cadenas de suministro ante una previsible demanda con carácter extraordinario. Se han identificado dos niveles caracterizados por la densidad en la carga de gris. Además, acompañando a cada fase, se presentan las concentraciones de metal más frecuentes en cada etapa del ciclo de vida y de suministro.

El grafito

En este caso, la cadena de suministro no se dirige hacia la producción de componente puro, que ya lo es, el carbono, sino a su preparación física para su incorporación a las etapas de fabricación de los componentes de la batería. Por ello, la calidad del yacimiento (Etapa 1) resulta fundamental, ya que las calidades de mineral superiores permiten productos finales más exigentes, tal como ocurre con los componentes de los nuevos acumuladores eléctricos. El grafito es muy abundante en la naturaleza. Algunos organismos aceptan hasta 900 millones de toneladas recursos reconocidos, sin embargo, aquellos de mejor calidad, referidos al tamaño de escama, son muy escasos y fervientemente buscados.

El litio

Este metal tampoco es utilizado de manera elemental o aislada, sino en su aspecto de materia química en las etapas finales de su cadena de suministro. El litio puede proceder de minerales sólidos (espodumena, petalita y otros) que lo contienen, con una relativamente baja concentración (generalmente no más de un 4% Li₂O) en la Etapa 1 o 2, mientras que en su proceso de concentración (Etapa 3) puede llegar hasta alrededor de un 10% Li₂O. En la Etapa 4, su transformación

es química y busca el producto carbonato de litio que es el que se comercializa en las primeras fases de su incorporación en las baterías ion-litio.

Además, desde hace años, las salmueras naturales, bien profundas o superficiales (los salares andinos) son una fuente alternativa a los minerales sólidos, y hoy, con los minerales sólidos, se reparten la procedencia del litio mundial. La ventaja operativa se refiere a que el litio se encuentra disuelto y la Etapa 1 o 2 del suministro, casi se superpone con la Etapa 3 de concentración, mientras que las restantes del ciclo ya son semejantes.

En la cadena de suministro del litio, metal en principio muy abundante en la naturaleza, la Etapa 1 cada vez se enriquece con el descubrimiento de nuevas posibilidades de ocurrencia (nuevas fuentes de suministro) y, por ello, no podemos imaginarnos su escasez. Sin embargo, al trabajar con concentraciones de metal muy bajas, en un sentido económico, podemos considerar que no todas las procedencias y calidades son admisibles para la Etapa 3 del proceso. El precio puede hacer variar estas condiciones, pero también la economía de la batería se puede resentir de las altas cotizaciones actuales de este metal. La Etapa 5 del proceso también necesita un verdadero análisis, a causa de la existencia de una verdadera concentración en la fabricación del producto final en China (alrededor del 60%)

El cobalto

La concentración de productores en su Etapa 1 es una característica muy notable del cobalto, además de presentar en sus yacimientos, una producción compartida con el cobre y el níquel. Su Etapa 3 (el proceso de concentración) resulta muy común con otros metales y no manifiesta una problemática específica, a excepción de las dificultades de ampliar el tamaño de las instalaciones existentes que necesitaría la adecuación de la producción a la demanda. No existen

grandes yacimientos de cobalto en el mundo (Etapa 1) y la explotación alternativa de los nódulos marinos todavía se encuentra en fase experimental, además de requerir una fuerte investigación en los sistemas de recogida y transformación de los mismos (Etapa 2 y 3). También China posee un acusado protagonismo en la Etapa 4 de la cadena de suministro del cobalto.

El níquel. Este metal presenta una definición muy acusada en el origen de sus recursos (Etapa 1) en dos conjuntos muy bien definidos. Aproximadamente la mitad de su producción procede de yacimientos en los que el níquel posee una relativa alta concentración y éste se presenta en forma de sulfuro. Además, la mitad de su procedencia procede de su forma oxidada, con riquezas de metal muy bajas. Sin embargo, hacia el futuro, son los yacimientos de níquel oxidado los que suministrarán la mayor parte del níquel, ya que presentan mayores posibilidades de incremento de su producción. La Etapa 3 también resulta bastante diferente en ambos casos y el consumo eléctrico sobre unidad de metal producida, también es distinta. En su metalurgia, Etapa 4, todavía se diferencia más y se trabaja en reducir el consumo eléctrico de los minerales oxidados o lateríticos.

El manganeso

El manganeso es un metal relativamente abundante en la naturaleza y forma depósitos minerales de todas las categorías (Etapa 1). Su extracción y procesado en principio no significan procesos diferentes a los demás minerales, a excepción de algunos casos que utilizan procesos hidrometalúrgicos o químicos (Etapas 3 y 4). El producto final del proceso minero y comienzo del metalúrgico (Etapa 5), para el suministro a la industria de los acumuladores puede contener rigideces ante una fuerte demanda de productos químicos, tal como reflejan sus precios actuales.

Consecuencias sobre el suministro seguro de las materias primas minerales para las baterías del vehículo eléctrico

Considerando con preferencia las condiciones del abastecimiento actual y sus previsiones a medio plazo de los componentes minerales (o de sus metales) del vehículo eléctrico y las circunstancias que pueden afectar al suministro seguro de la industria de las baterías eléctricas, se plantean las siguientes consideraciones para cada uno de los componentes:

El grafito

La existencia de una adecuada cadena de suministro. En el mundo actual, el grafito se considera un material clave y estratégico en la economía de la tecnología ecológica que incluye avances en almacenamiento de energía, vehículos eléctricos, energía fotovoltaica y electrónica. El grafito también es la fuente de grafito. A medida que la economía de la tecnología verde crece, se espera que la demanda de grafito supere

la oferta en la próxima década. Se piensa que, en un solo el mercado de los vehículos eléctricos, la demanda estimada para 2020 requeriría más de lo que se produce hoy en todo el mundo. Con la demanda de grafito de escama grande en crecimiento, se estima que se necesitarán 25 nuevas explotaciones de grafito en todo el mundo para cubrir las necesidades del año 2020.

Los mercados emergentes como India y China han estado frenando el suministro de grafito para el consumo interno, donde el ritmo de la industrialización ha superado con creces los promedios mundiales. China todavía controla ahora más del 65% de la producción mundial de grafito, aunque recientemente parte de esa producción se ha visto reducida. Además de cerrar minas antiguas y otras más pequeñas debido a violaciones ambientales. Este país también está consumiendo más grafito, retirándose un poco del mercado internacional para exportar los productos terminados.

Por otra parte, se cree que los recursos mundiales reconocidos de grafito pueden superar los 900 millones de toneladas. Es decir que, aunque existe una aparente brecha entre la oferta y la demanda, no corresponde al esfuerzo de investigación la culpa de ello, sino más bien a la falta de adecuación motivada por multitud de causas, siempre con la presencia de China en el centro de la polémica. No obstante, en el caso del grafito, la adecuación de la cadena de suministro ante la avalancha de demanda de productos de calidad motivada por las nuevas tecnologías energéticas, a corto plazo, no debería ser un problema insuperable, sobre todo contando con la posibilidad de la fabricación de grafito artificial de calidad.

Los factores políticos. Los países de Asia y Pacífico representan el mercado de más rápido crecimiento para el grafito, que es impulsado principalmente por los mercados chino e indio. Factores tales como el bajo costo de la mano de obra y los recursos naturales de grafito, proporcionan un crecimiento sostenible del mercado (especialmente en China) incluso en condiciones de poca demanda. Con una sólida posición en el mercado del grafito, se espera que China tenga un crecimiento sostenido respaldado por sus inversiones en el extranjero, pero también este país hace poco tiempo comenzó a proteger sus necesidades internas y controlar las exportaciones.

El litio

La existencia de una adecuada cadena de suministro. Según Goldman Sachs (Investing News, 2017), la demanda global de litio aumentó un 26% en 2016 y se prevé que crezca un 39% en 2018. Teniendo en cuenta que además de su inclusión en las baterías de vehículos eléctricos y dispositivos móviles este metal se emplea en la fabricación de grasas lubricantes, y otros usos, se puede plantear el dilema de si habrá litio para todos durante las próximas décadas. La disponibilidad actual de este elemento no es un factor que limite la producción a gran escala de coches eléctricos ya que

de momento existen reconocidas 40 millones de toneladas. Lo que sí puede desacelerar el ritmo de fabricación de las baterías para estos automóviles son los cuellos de botella en la cadena de distribución del litio.

También existe una duda generalizada sobre las posibilidades de una adecuación rápida de la producción mundial del litio a la fuerte demanda. Tal es la opinión de que el abastecimiento se está ralentizando debido a la complejidad de construir estanques de evaporación en regiones andinas de América del Sur que, además de su elevado coste, también plantea problemas de abastecimiento de agua y otros inconvenientes de índole ambiental.

Muchos analistas piensan que hay metal de litio suficiente en la corteza de la Tierra para sustentar la fabricación de vehículos eléctricos en los volúmenes requeridos, basándose únicamente en las necesidades de baterías de litio. Se piensa que los recursos disponibles de litio son muy abundantes, alejados de toda valoración precisa.

Se espera que 26 plantas de baterías comiencen la producción o amplíen su capacidad para el año 2022. En 2014, tan solo había tres megafactorías de baterías en proceso. La capacidad planificada combinada de estas plantas es de 344 GWh. Para poner esto en perspectiva, la demanda total de baterías de ion-litio en 2017 se estima en 100 GWh, pero la industria necesita ampliarse. De hecho, se calcula que la demanda de baterías podría situarse entre 775 GWh y 2000 GWh, en el año 2030, según las estimaciones reflejadas en la Tabla 2. Ello llevaría a unas demandas de litio entre 77.500 y 300.000 toneladas.

La adecuación de la cadena de suministro del litio a la demanda ahora previsible, pronostica una dislocación de los mercados cuando se manejan las cifras de producción de los coches eléctricos a partir del año 2050 (si bien aquí nos movemos con análisis y supuestos en el horizonte del año 2030), por el increíble esfuerzo de producción que significaría la cobertura de la demanda. Visto así parece catastrófico, pero sin duda alguna el escenario no será tan dramático. De esta manera podemos contemplar el primer paso de la adecuación con un aumento de producción hasta el año 2030 motivado por los altos precios actuales y el interés de los inversores en nuevos proyectos. Más adelante la adecuación de los precios vendrá provocada por la reducción del consumo en las baterías y el aumento de su eficacia. Siempre ha ocurrido así.

Los factores políticos. China es el consumidor de litio más importante del mundo debido a su rápido desarrollo económico, a su gran población y a la creciente demanda de vehículos eléctricos, impulsadas por la búsqueda de soluciones a los problemas de contaminación atmosférica, en especial en ciertas ciudades. El consumo de China fue de 86.700 toneladas de carbonato de litio en 2015, lo que representa el 50% del total mundial. El recurso de litio de China depende en gran medida de las importaciones. El 70% del concentrado de espodumena se importa tan solo de

Australia. Las proyecciones de crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos aseguran la dependencia de China de sus importaciones de litio y, por ello, hasta en la misma China existen voces que pronostican problemas de seguridad en el suministro.

El cobalto

La existencia de una adecuada cadena de suministro. En el año 2020 la expectativa del consumo en baterías representará el 59% de toda la demanda de cobalto, indicando un aumento del 58% en la demanda de baterías con respecto a los niveles de 2016 (Darton Commodities, 2016). Se espera que este crecimiento proceda del aumento de la demanda de vehículos eléctricos.

El segmento de la batería recargable se ha convertido en el más importante uso final de cobalto y de crecimiento más rápido. CRU estima que en 2017 habrá un déficit mundial de 4.000 t para productos químicos de cobalto refinado y más de 1000 t para el metal cobalto y espera que el déficit de cobalto metal se reduzca en el mediano plazo (2017-2021), mientras que el déficit químico refinado de cobalto se mantendrá en niveles altos.

Alrededor del 97% de la producción mundial de cobalto es un subproducto secundario de la extracción de cobre y níquel, lo que deja al suministro de cobalto expuesto a las fluctuaciones del mercado del cobre y el níquel. Si la demanda de cobre se detiene, la producción de cobalto podría caer junto con ellos. La suspensión de la producción de Glencore en sus minas de cobre y cobalto Katanga y Mopani en la República Democrática del Congo (RDC) y Zambia en 2015 es un buen ejemplo.

Entonces, aunque una gran proporción del suministro de cobalto existente sigue siendo incierta y es difícil obtener nueva capacidad debido a la escasez de recursos primarios de cobalto, el riesgo para la cadena de suministro de la batería de ion-litio permanece, y es probable que los precios continúen al alza.

Los factores políticos. China controla la mayor parte del cobalto refinado del mundo y depende de la República Democrática del Congo en más del 90% de su suministro de cobalto. En palabras del especialista Rawles (2018) «Lo importante es darse cuenta de que China produjo el 80 por ciento de los productos químicos de cobalto del mundo y que gran parte de su materia prima procede de concentrados de la República Democrática del Congo». Cualquier cambio en el país productor puede tener un impacto real en los precios de los productos químicos de cobalto.

El níquel

La existencia de una adecuada cadena de suministro. El níquel se diferencia de las anteriores materias primas por poseer una consolidada cadena de suministro. En níquel está presente en los aceros inoxi-

dables que constituyen una importante parte del flujo de materia industrial, sobre todo en productos y aplicaciones de aceros de calidad. Hay que considerar que la producción total mundial de níquel metal alcanza las 2,1 millones de toneladas (USGS, 2018) y todavía no se han incorporado las previsible cantidades dedicadas al vehículo eléctrico. Además, ya se ha mencionado que el aumento desmesurado de los precios del cobalto ya ha despertado el interés en su sustitución por otro metal muy afín como es el níquel. Incluso, en la naturaleza, también se produce en algunos tipos de yacimientos minerales la presencia de ambos metales.

No obstante, también, la incorporación del coche eléctrico podría llegar a suponer demandas de este metal, en el año 2030 en el amplio rango de 310.000 toneladas a 1,5 millones de toneladas, lo que supone cifras muy significativas en relación con los niveles de producción actual.

Los factores políticos. También, en el caso del níquel, este metal se encuentra, en principio, alejado de los peligros de acciones de cartelización, a juzgar por los valores del índice IHH de la tabla 3. Su producción resulta algo diversificada. Además, como caso algo insólito, la presencia china no resulta motivo de preocupación debido a la escasa magnitud de su producción.

El manganeso

La existencia de una adecuada cadena de suministro. La industria minera, en principio, es decir, en las primeras etapas del su ciclo, no diferencia entre el destino del producto final, la industria del acero y la fabricación de productos químicos. Sin embargo, tanto sus concentrados, como, en ciertos casos, los precipitados procedentes de la lixiviación en planta del manganeso, sí se encuentran orientados hacia los productos químicos finales. Productos derivados de ellos pueden llegar a constituir elementos de los acumuladores eléctricos.

Por todo ello, también como idea muy global, las cadenas de suministro podrían hacer frente a fuertes incrementos de la demanda, sobre todo cuando no importase tanto alguna diferencia en las cotizaciones derivadas de esa situación.

Los factores políticos. Para algunos importantes países, como los EEUU, el manganeso resulta un metal crítico para su industria siderúrgica. El hecho es que, aunque más moderada que otros metales de carácter estratégico, la producción de manganeso se encuentra relativamente concentrada. Sin embargo, estamos tratando del suministro de manganeso como productos químicos para la fabricación de baterías eléctricas, no de la industria del acero de construcción. En ese sentido, para esta industria, a pesar de que la presencia china es muy importante, no parece que se puedan ejercer presiones sobre el suministro de este metal.

CONCLUSIONES

El suministro adecuado y seguro de las materias primas minerales, resulta crucial para la industria actual y futura, a fin de llevar a cabo con éxito la progresiva e intensa penetración de los vehículos eléctricos, que ya ha comenzado a tomar posiciones. De la comprensión de la problemática que se espera surja en los próximos años, en relación con la posibilidad de hacer viable una transición en el transporte en el contexto de una evolución energética, la viabilidad de cadenas de suministros eficientes y seguras es clave para atender los crecimientos de las demandas de materias primas minerales para satisfacer el previsible incremento de vehículos eléctricos a nivel global.

La necesidad del almacenamiento de energía lleva siendo un objetivo deseado desde hace muchas décadas. Sin embargo, deberá ser ahora, con una opinión social más decidida y con un sector automovilístico que comienza a aceptar el reto, cuando la tecnología necesitará emplearse a fondo para lograrlo de una forma competitiva que satisfaga las necesidades de los consumidores.

En la problemática analizada para la satisfacción de los incrementos en las demandas de materias primas y metales para los baterías de los vehículos eléctricos, se señalan tres puntos clave que deberían de ser tenidos en cuenta:

1. *La incertidumbre ante una demanda no del todo definida* en dos aspectos fundamentales. El primero en cuanto a la cuantificación de la demanda en la que se observan previsiones que difieren muy notablemente entre los valores inferiores y superiores. El segundo en cuanto a la pendiente o el gradiente del crecimiento, lo que pone de relieve que la velocidad del cambio en la demanda resulta clave, pudiendo motivar una falta de sincronía entre las restricciones por motivos técnicos y su solución, así como originar una acusada variación en los precios motivada por la amenaza de una presunta escasez.

En cuanto a *las restricciones por motivos técnicos*, de las cinco fases de la cadena de suministro, se han identificado fases críticas en el grafito en la fase 1 de exploración, en el litio en la fase 3 de preparación o concentración, en el cobalto en prácticamente todas las fases, en el níquel en la fase 4 de metalurgia de concentrados, en el manganeso en las fases de preparación de concentrados y metalurgia, y en el neodimio en las fases primera y última.

En cuanto se refiere a *los precios* puede afectar de una forma más clara a minerales como el litio, donde existe incertidumbre sobre la aparición de cuellos de botella coyunturales en los próximos años, o el cobalto, que ha visto casi cuadruplicar su precio en tres años por la amenaza de su escasez en el mercado. Así pues, los precios serán las señales económicas para el desarrollo de

nuevas producciones, en los que la capacidad física y logística supondrán tiempos de ajuste en los que los precios serán elevados.

Sin embargo, en aquellas materias primas que se presentan con evidente generosidad en el stock natural, se confía en la adaptación paulatina de su cadena de suministro en el medio plazo. En aquellos como el cobalto que, a medio plazo, no presentan garantías de abastecimiento, tal como ha ocurrido otras veces, los avances tecnológicos en la búsqueda de sustitutos ha sido la solución más frecuente.

La búsqueda de bienes sustitutivos, como la mayor proporción de níquel para disminuir la del cobalto en las baterías, actuarán también, afectando a las cadenas de suministro. Así pues, si bien las incertidumbres en las estimaciones de la demanda afectarán de forma más clara al litio y al cobalto, es importante señalar el papel de los precios como variable

2. *Los horizontes temporales de las previsiones.* La respuesta ante una demanda que, en general, crecerá claramente en el horizonte 2030, no solo tiene amplias divergencias en la cuantificación de las demandas en ese horizonte sino que también es prácticamente imposible definir o estimar con una fiabilidad razonable en horizontes a más largo plazo. Esto resulta importantísimo, en relación con la velocidad de respuesta de la industria minera y de sus transformaciones. Los nuevos descubrimientos de recursos minerales y el desarrollo de los proyectos de explotación gozan de necesidades temporales hoy por hoy, ineludibles. En esta velocidad está la clave de la veracidad de los modelos. Para algunos metales, especialmente el cobalto, no existe una razonable respuesta a una demanda tan rápida como la que se presume después de los años veinte de este siglo.
3. *El peligro de la utilización geopolítica de las debilidades de la cadena de suministro.* La posición, en ocasiones muchas veces dominante de China en diferentes puntos de la cadena de suministro de casi todas las materias primas minerales de carácter reducido que necesita el vehículo eléctrico del futuro, convierte esta circunstancia en, al menos, preocupante. Llama poderosamente la atención como el gigante asiático ha tomado una posición preferente, bien en la producción de las materias primas o en las primeras transformaciones de los minerales de producción escasa y casi siempre estratégicos. Esto ocurre en todas las materias primas hoy consideradas con calificación de estratégicas y algunas veces críticas (CRM). No hay que olvidar que China es el país con una mayor demanda futura de vehículos eléctricos. También, la concentración, al menos momentánea, de la producción en muy pocas manos (tierras raras, grafito, litio, cobalto, con mayores índices LHH) y la inestabilidad política o social (cobalto) es otro fac-

tor de inseguridad que muchas veces lo acusan los propios mercados.

NOTAS

- [1] En el año 2017 el número de este tipo de vehículos fue de 7.200 unidades, algo más de la mitad en EEUU, 2.300 en Japón y 1.200 en Europa, fundamentalmente en Alemania. En cuanto a las técnicas básicas y al uso del hidrógeno en el transporte, para más información puede verse (Álvarez Pelegry et al. 2017).

REFERENCIAS

- Álvarez Pelegry, E. y Menendez Sanchez, J. (2017) «Energías alternativas para el transporte de pasajeros. El caso de la CAPV: análisis y recomendaciones para un transporte limpio y sostenible. Cuadernos Orkestra
- Andrew Miller. 2015. «Flake graphite market trends and pricing patterns», Industrial Minerals INDATA indmin.com/graphiteanalysis
- Bloomberg. 2018. *New Energy Outlook 2018*. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
- Cannon W.F., Kimball B.E., and Corathers L.A. 2017. «Manganese». Professional Paper 1802-L. U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/pp/1802/l/pp1802l.pdf>
- CRU. 2018. CRU International Limited. *Cobalt Analysis*. <https://www.crugroup.com/analysis/technology-metals/>
- Darton Commodities Limited. 2018. dartoncommodities.co.uk
- Glencore. 2018. «The EV revolution and its impacts on raw materials» <https://www.iea.org/media/Workshops/2018/Session3Glencore.pdf>
- IEA. 2018. «Global EV Outlook 2018: towards cross-modal electrification». www.iea.org
- Investing News. 2017. «3 Takeaways from Goldman Sachs on Lithium Investing» The Lithium Spot. November 16th, 2017. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/goldman-sachs-lithium-investing/>
- IRENA. 2018. «Electric Vehicles Technology Brief» www.irena.org
- Kay Amanda. 2018. «10 Top Manganese-producing Countries». Investing News Network. April 18th, 2018. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing>
- Rawles C. 2018. «Cobalt Critical to Lithium-ion Battery Chemical Mix». Investing News Network. February 27th.
- UBS. 2018. «Coche Eléctrico. Descripción en ciernes». Wealth management. Powered by
- USGS. 2017. *Mineral Commodity Summaries*. [minerals.usgs.gov](http://minerals.usgs.gov/minerals/). <https://minerals.usgs.gov/minerals/.../>
- USGS. 2018. *Mineral Commodity Summaries. Graphite (Natural)*. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/graphite/>
- USGS. 2014. «Mineral Commodity Summaries». [minerals.usgs.gov](http://minerals.usgs.gov/minerals/)
- Warner, J. 2015. «The handbook of lithium-ion battery pack design». Amsterdam, Oxford Woltham». Elsevier Science

IMPACTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA: DISRUPCIÓN ECONÓMICA EN CIERNES

ROBERTO SCHOLTES RUIZ

UBS

Se han publicado numerosos estudios sobre distintos escenarios de evolución del vehículo eléctrico, incidiendo habitualmente en la disponibilidad de infraestructuras de recarga o en los incentivos públicos como factores esenciales para su éxito. Menor énfasis se ha hecho hasta ahora en el impacto de esta disrupción en la estructura industrial y en los agregados macroeconómicos.

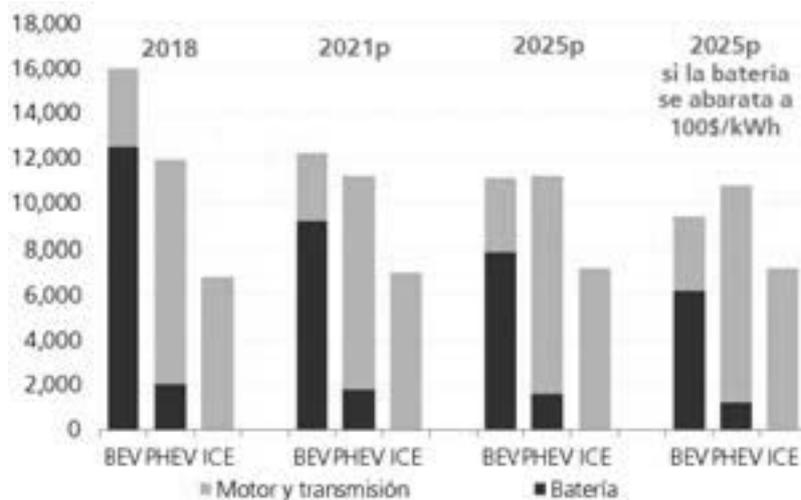
Este artículo, basado en los innovadores análisis de UBS (que incluyen el desmantelamiento de modelos eléctricos y el análisis detallado de sus componentes), expone los motivos que le llevan a prever un rápido y rotundo éxito de esta tecnología, que podría superar en Europa una cuota del 30% en las ventas ya en 2025. La rápida reducción de los costes de las baterías y de su capacidad de carga y autonomía y las economías de escala en la fabricación hacen que el vehículo eléctrico sea ya competitivo frente al tradicional en Europa y China aunque los incentivos fiscales sean retirados. Por otro lado, no se identifican obstáculos relevantes (en disponibilidad de materias primas, baterías o capacidad de recarga) para su crecimiento exponencial a medio plazo.

La disrupción tecnológica combinada del vehículo eléctrico, del coche compartido y de la conducción autónoma provocará un cambio radical en la estructura de la industria automovilística en la próxima década. El impacto más negativo en Europa estará causado por el hecho

de que Asia liderará abrumadoramente la fabricación de baterías y de componentes electrónicos, que suponen más de la mitad del coste de un coche eléctrico de gama media. Esto implica una enorme transferencia de valor añadido –hasta ahora en manos de las marcas y suministradores de componentes- desde las economías europeas a las asiáticas.

El artículo esboza los motivos por lo que la industria automovilística española es especialmente vulnerable a las nuevas dinámicas competitivas y caída de barreras de entrada que conllevan las revoluciones tecnológicas en curso, que podrían propiciar una integración vertical de los conglomerados asiáticos que dominarán la producción de baterías y la irrupción en el mercado de nuevas marcas. Plantea un escenario tentativo de las potenciales consecuencias económicas en España de la disrupción del coche eléctrico, que podrían causar la pérdida de más de un punto porcentual del PIB, de dos puntos de producción industrial y de decenas de miles de empleos.

GRÁFICO 1
COSTE DE FABRICACIÓN DE LA BATERÍA Y SISTEMA DE PROPULSIÓN (USD)



Fuente: UBS Evidence Lab

UNA TECNOLOGÍA YA COMPETITIVA A CORTO PLAZO

UBS, la entidad financiera suiza líder mundial en gestión de patrimonios, se embarcó en 2017 en un proyecto pionero de análisis sobre la revolución que supone la irrupción de los vehículos eléctricos. La adquisición y desmenuzamiento de tres modelos eléctricos puros – BEV en su terminología inglesa- destinados al segmento masivo (Chevrolet Bolt, Tesla Model 3 y BMW i3) ha permitido a decenas de analistas y de expertos externos en materias diversas realizar un estudio exhaustivo de la tecnología que sustenta el vehículo eléctrico, sus costes actuales y previstos de fabricación y la composición y origen exactos de cada pieza.

Las principales conclusiones de dicho análisis pueden resumirse en:

- **Costes de fabricación en rápido descenso.** Las mejoras tecnológicas y en los procesos de producción hacen que el coste total directo de fabricación sea ya alrededor de un 15% menor a las estimaciones que se manejaban en el sector. Es más, el abaratamiento de las baterías y la entrada en funcionamiento de potentes economías de escala llevan a los expertos de UBS a estimar una reducción adicional de costes de un 20% adicional tan solo hasta 2025.
- **La nueva generación de baterías augura la paridad de costes hacia 2025.** La tecnología actual utilizada en la batería del Chevy Bolt (NMC111, por el peso relativo aproximado de níquel, manganeso y cobalto) supone un coste de unos 205 USD/kWh, mientras el Tesla Model 3 se sitúa ya en 178 USD/kWh. Las mejoras previstas en la química de las células, en su densidad energética, las economías de escala y la migración hacia la generación NMC811 hacen probable una rebaja hasta los 130 USD/kWh, aunque numerosos expertos ven

posible que mejoras adicionales (como las baterías de estado sólido) puedan reducir el coste hasta los 100 USD/kWh. Incluso en el escenario más conservador, el vehículo eléctrico puro alcanzaría hacia 2025 la paridad de costes con los híbridos enchufables (PHEV) y con los no enchufables (HEV) y apenas se situaría un 15% por encima de los coches de combustión interna (ICE).

- **El vehículo eléctrico puro se convertirá en la tecnología dominante.** La rápida reducción de los costes de fabricación, la simplicidad y bajo coste de mantenimiento y el gran desarrollo de las infraestructuras de recarga harán que el BEV se imponga con claridad al resto de tecnologías. En consecuencia, los híbridos –incluidos los enchufables- irán perdiendo progresivamente cuota de mercado y alternativas como los motores con hidrógeno o gas natural no llegarán a alcanzar la masa crítica y las economías de escala para acabar resultando competitivas.
- **Ya se ha alcanzado la paridad en el coste total para el propietario en Europa.** El coste de fabricación o el precio de venta del vehículo no son tan decisivos para el éxito de una tecnología como el denominado “coste total de propiedad”. En el caso que nos ocupa, este concepto incorpora la depreciación del vehículo, el precio del combustible y los gastos de mantenimiento. Bajo este prisma, los expertos de UBS estiman que la paridad de coste total respecto al coche tradicional ya se alcanzó en 2018 en Europa y se alcanzará posiblemente en China en 2020. Sin embargo, en EE.UU., dado el menor precio del combustible, dicha paridad podría no alcanzarse hasta el final de la próxima década. Este factor, que no hará sino mejorar con el tiempo, augura un crecimiento exponencial de la demanda de BEV y PHEV,

aunque se decantará progresivamente en favor de los BEV.

- **Una tecnología rentable para los fabricantes a medio plazo.** UBS estima que las fuertes inversiones iniciales y las pérdidas incurridas en las ventas de los primeros modelos eléctricos erosionarán los márgenes de los fabricantes en unos 100 puntos básicos a corto plazo. Pero las rápidas mejoras tecnológicas y las economías de escala permitirán que el margen medio obtenido en los vehículos eléctricos se sitúe a la par de los de combustión interna hacia 2022-25. Esto genera un gran incentivo para que los fabricantes se lancen a la producción masiva de BEV y PHEV y faciliten su irrupción como tecnología dominante hacia 2030.

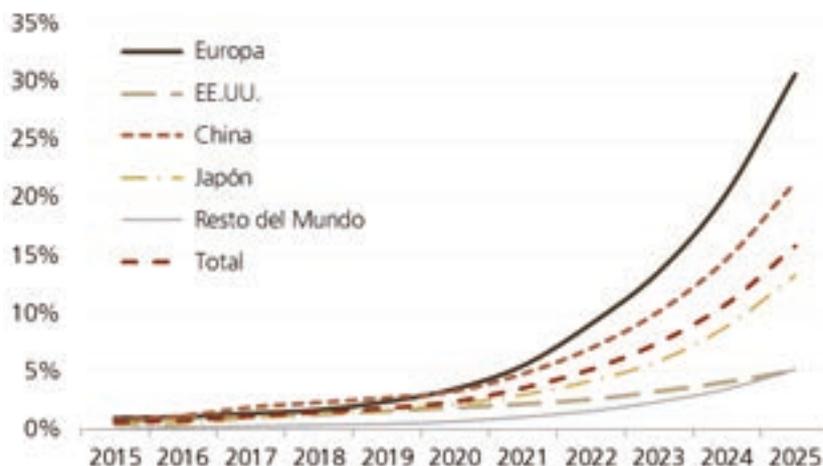
UN BOOM SIN OBSTÁCULOS RELEVANTES ↓

Las perspectivas del vehículo eléctrico se han enfrentado al escepticismo de muchos comentaristas y potenciales usuarios, que argumentaban que esa tecnología se enfrenta a numerosas e insuperables barreras y "cuellos de botella" que, en última instancia, limitarán severamente su penetración. No es esta la opinión de los expertos de UBS, que han analizado cada uno de los potenciales impedimentos para el éxito del BEV y han llegado a unas conclusiones contundentes:

- **El aumento de la autonomía es suficiente.** La mayoría de los modelos eléctricos puros que se lanzarán hasta 2021 ya tiene una autonomía efectiva superior a los 400 km, suficiente para abrir el mercado al tráfico interurbano. Una encuesta a más de 10.000 conductores de Norteamérica, Europa y Asia realizada por el banco suizo puso de manifiesto que un tercio de los mismos no había realizado ningún trayecto en coche de más de 500 km en el último año y que apenas un 18% viajó tres o más veces a un destino tan lejano. Además, es probable que la mejora en las baterías acabe instalando el estándar del mercado en 500-600 km hacia 2025, con lo que solo una pequeña porción de los conductores no contemplaría en BEV como una alternativa.
- **Gran mejora en la durabilidad de las baterías.** Una crítica habitual ha sido la pérdida de capacidad de carga (y por tanto de autonomía y de valor residual del vehículo) de las baterías con su uso. Si bien era así en las primeras generaciones de BEV, la evidencia actual es abrumadora en sentido contrario. El seguimiento en tiempo real que Tesla realiza de sus coches en circulación muestra que la pérdida media de capacidad de recarga es incluso menor al 10% tras 250.000 km, con una tasa de declive muy constante y moderada. Este es un elemento crucial en la estimación del "coste total de propiedad" y, por ende, en la competitividad y éxito de esta tecnología.

- **Enormes proyectos de fabricación de baterías.** Los planes de construcción de fábricas de baterías anunciados y financiados hasta el momento, tan solo en EE.UU. y Asia, son más que suficientes para satisfacer el crecimiento exponencial de la demanda detallado en la próxima sección. En concreto, los proyectos de BYD, CATL, BMZ y Tjanjin Lishen (China), LG Chem y Samsung SDI (Corea del Sur) y Panasonic/Tesla (EE.UU.) suman una probable capacidad instalada de 250 GWh ya en 2021, a los que se sumarán una miríada de proyectos menores (también abrumadoramente en Asia) que auguran que se evitarán los "cuellos de botella" en el boom de los BEV.
- **Crecimiento paralelo y suficiente de los puntos de recarga.** UBS estima que en 2025 en Europa circularán unos 19 millones de vehículos eléctricos (sumando BEV y PHEV). Al margen de los conectores en viviendas unifamiliares, es perfectamente viable instalar unos 4,5 millones de puntos de recarga lenta en aparcamientos, centros de trabajo y espacios comerciales hasta esa fecha (con un coste estimado de 11.000 millones de euros). Pero lo que resulta más sorprendente del análisis de la entidad financiera, basado en la teoría de redes neuronales e informáticas, es que bastarían tan solo unos 57.000 puntos de recarga rápida (básicamente en "electronileras" en las grandes vías interurbanas) para satisfacer la demanda de recarga ocasional de vehículos que estén realizando trayectos largos, con un coste inferior a los 2.000 millones y fácilmente asumible por las grandes compañías eléctricas y petroleras.
- **Un boom probable incluso sin ayudas públicas.** Las proyecciones incluidas en este artículo se basan en una eliminación gradual pero relativamente rápida de los subsidios e incentivos públicos, en paralelo a la reducción de los costes de producción, lo que permitiría que los precios de venta final bajen ligeramente en los próximos años. La evidencia estadística muestra que la adopción del vehículo eléctrico está más correlacionada con la infraestructura pública de recarga, la tipología del tráfico y el coste del combustible que con los incentivos fiscales. Esto lleva a las autoridades a girar progresivamente su estrategia para propiciar el boom, facilitando su uso —en especial en zonas urbanas— pero haciendo menor énfasis en la fiscalidad y en el precio final de venta.
- **Efecto casi inapreciable en el mercado eléctrico.** El mercado eléctrico europeo adolece de un exceso de capacidad de generación, exacerbado por el fuerte crecimiento de las energías renovables, mientras la demanda decrece en alrededor de un 1% anual. Los 19 millones de vehículos eléctricos en circulación previstos en 2025 solo incrementarían el consumo de electricidad en un 2%, muy por debajo de toda la nueva capacidad que entrará en el sistema hasta entonces. El problema, por tanto, parece

GRÁFICO 2
CUOTA DE MERCADO PREVISTA (DE BEV + PHEV) EN LAS VENTAS DE COCHES NUEVOS



Fuente: UBS Evidence Lab

que se circunscribirá a incentivar las recargas por la noche –cuando el sistema suele contar con un exceso de energía– con la generalización de la diferenciación de precios por franjas horarias.

- **Amplia disponibilidad de materias primas.** Es cierto que el escenario de probable boom del vehículo eléctrico disparará el consumo de materiales como el litio y el cobalto (más que cuadruplicándolo en la hipótesis central de UBS) y, en menor medida, de grafito, níquel, cobre y algunas tierras raras. No obstante, debe tenerse en cuenta que el aumento de demanda será progresivo y que las mejoras tecnológicas –en particular la migración de las baterías de la generación NMC111 a NMC811– reducirán la dependencia del cobalto, que actualmente supone más del 60% del coste de la batería y alrededor del 25% de los costes totales directos de fabricación, para quedar debajo del 5% del total. Mucho menos preocupante aún parece la disponibilidad de litio, que pese a multiplicar su demanda, cuenta con amplias reservas y enormes proyectos de extracción y refino, no tan solo en los salares sudamericanos sino en las minas australianas, que se erigirán en la gran fuente de suministro global.
- **Modesto impacto sobre la demanda de hidrocarburos.** Se ha llegado a aducir que el éxito del vehículo eléctrico traerá aparejado un abrupto descenso del consumo de hidrocarburos y, en consecuencia, un desplome de su precio, lo que evitaría que el BEV alcanzara la paridad en “coste total de propiedad” y un aumento sustancial de su cuota de mercado. Sin embargo, el gran crecimiento del parque automovilístico mundial –por las economías emergentes– aumentará la demanda en unos 7 millones de barriles al día entre 2015 y 2025 (de un total de casi 100 mbd). A pesar de que dispare su penetración en las ventas

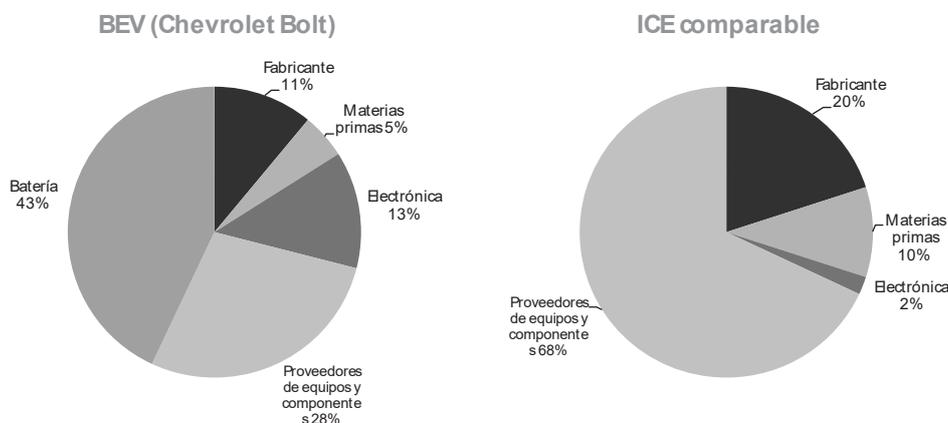
de nuevos vehículos, los BEV+PHEV apenas supondrán alrededor del 5% del parque global en 2025, lo que reduciría el consumo de combustibles en 1,2 mbd, que es una tercera parte del ahorro que introducirán hasta entonces la mejora en la eficiencia de los motores de combustión interna. En conclusión, UBS y otras fuentes sitúan el máximo histórico irreversible de demanda de hidrocarburos alrededor de 2030, con un precio del barril de crudo Brent que podría oscilar alrededor de los 70\$ a medio plazo, manteniendo así el incentivo económico para el éxito del vehículo eléctrico.

EL VEHÍCULO ELÉCTRICO DISPARARÁ SU CUOTA DE MERCADO ↓

Todas las consideraciones anteriores llevan a UBS a prever una adopción masiva del vehículo eléctrico en la próxima década. Incluyendo coches y vehículos comerciales ligeros, tanto eléctricos puros como híbridos enchufables, estima que se pasará de los 3,1 millones de unidades vendidas en 2021 en todo el mundo (lo que supondría una cuota del 3,1%) a unos 16,5 millones en 2025 (15,8%). Estas cifras se explican fundamentalmente por Europa (con casi 6,5 millones de nuevos vehículos eléctricos entrando en el mercado, lo que implicaría una cuota superior al 30%) y China (7,1 millones y una cuota del 21,3%). El menor precio de los carburantes y las mayores distancias medias recorridas harían que en EE.UU. se estén vendiendo casi un millón de unidades ese año (solo un 5,1% del total nacional) y 1,5 millones en el resto del mundo.

Estas proyecciones ya incorporan el impacto combinado del enorme crecimiento de las plataformas de coche compartido en todo el mundo desarrollado y buena parte de los países emergentes así

GRÁFICO 3
DESGLOSE DEL CONTENIDO DE PRODUCCIÓN



Fuente: UBS Evidence Lab

como la introducción progresiva de la conducción autónoma, que en conjunto podrían restar entre dos y cuatro puntos porcentuales al incremento de las ventas anuales de nuevos vehículos y causar un progresivo declive del parque automovilístico global conforme las regulaciones ambientales vayan forzando el achatarramiento de los modelos obsoletos.

En el caso concreto de España, no observándose diferencias sustanciales en los hábitos de conducción, precios de los combustibles y fiscalidad del transporte, cabe esperar una dinámica similar. Así, en 2025 se podrían estar vendiendo unas 400.000 unidades de BEV y PHEV respecto a unas ventas totales de 1,2 millones anuales. Mientras que la proporción de híbridos no enchufables (HEV) también superará posiblemente el 20% para entonces, no es probable que tecnologías como el gas natural, el gas licuado o el hidrógeno superen unas pocas decenas de miles de unidades vendidas cada año, destinadas fundamentalmente a los canales del taxi y de reparto urbano de mercancías.

A pesar de esas espectaculares cifras de ventas anuales, el efecto sobre el conjunto del parque automovilístico será mucho más modesto y progresivo. Para 2025, la suma de BEV y PHEV apenas superaría el 5% de los coches y vehículos comerciales ligeros en circulación en todo el mundo, aunque en Europa la cifra se aproximaría al 10%, a expensas de la reducción del parque total por el boom del coche compartido. En paralelo, parece inevitable un declive de la cuota de mercado de los vehículos con motores diésel y que los BEV acaben desplazando a los PHEV, al quedarse estos últimos como la tecnología de mayor coste de fabricación y mantenimiento por tener integrados tanto un sistema completo de propulsión eléctrica como un motor de combustión interna.

UN CAMBIO RADICAL EN LA ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA ↓

La irrupción masiva del vehículo eléctrico está comenzando a cambiar la estructura sectorial, como consecuencia de la distinta composición y aportación a la cadena de valor añadido en la fabricación, venta y posventa. Como puede observarse en el gráfico 3, la batería supone el 43% del coste de producción del Chevrolet Bolt, la electrónica ligada al sistema de propulsión el 13%, el resto de materias primas un 5% mientras los proveedores de componentes aportan un 28% y el fabricante (en este caso el grupo General Motors) tan solo un 11%. Esto contrasta en un coche de combustión interna (ICE) de gama equivalente, con la aportación del 68% de los suministradores de componentes, el 10% de otras materias primas, tan solo el 2% de la electrónica de control y un 20% del fabricante.

Aunque el coste de la batería se abaratará sustancialmente en la próxima década, seguirá suponiendo alrededor de un tercio en 2025, en tanto que aumenta el contenido en semiconductores y otros componentes electrónicos, que ya se multiplica por más de 7 veces entre el ICE y el BEV actual y probablemente vaya aumentando conforme se desarrollan las capacidades en conducción asistida y autónoma y se añaden elementos de información y entretenimiento (*infotainment* en la jerga tecnológica).

Un elemento clave para entender el cambio en la estructura de la industria automovilística es que, con la excepción de Tesla, el resto de marcas están optando por no fabricar las baterías y sistemas de propulsión sino subcontratar su producción. Esto es especialmente relevante ya que, nuevamente con la excepción de las «gigafactorías» de Tesla/Panasonic en EE.UU., la inmensa mayoría de los fabricantes de baterías radican en China y Corea del Sur, algunas de ellas como parte de grandes conglomerados industriales como los grupos Samsung, LG o SK.

Pero la revolución del vehículo eléctrico tendrá también una gran incidencia sobre el segmento de concesionarios y talleres. Sirva como referencia que un VW Golf cuenta con unas 167 partes móviles o sometidas a desgaste, frente a las solo 35 del Chevy Bolt, lo que reduce radicalmente el riesgo de averías en los BEV y abarata el coste anual medio de mantenimiento desde los 600 USD a los 255 USD. Este cambio es crucial en el modelo de negocio de los concesionarios y talleres que, en la media europea, tan solo obtienen de las reparaciones, revisiones y venta de repuestos alrededor del 13% de su facturación pero que les supone aproximadamente el 43% de su margen bruto agregado.

A esto habría que añadir el estrecho margen con el que operan los concesionarios en la venta de vehículos nuevos, generando beneficios proporcionalmente muy superiores en la financiación y aseguramiento y en la venta de vehículos usados. La obsolescencia de modelos antiguos y el acusado declive del diésel aumentan el riesgo de una caída de las ventas de segunda mano, de los valores residuales y de pérdidas en los negocios de *leasing* y *renting*, mientras que el posible abaratamiento de las pólizas de seguro de los coches autónomos también mermaría su rentabilidad.

NUEVAS DINÁMICAS COMPETITIVAS CON MENORES BARRERAS DE ENTRADA ↓

La revolución del vehículo eléctrico cambiará drásticamente la cadena de valor añadido y la aportación de los distintos participantes en el sector. Así, mientras que en un utilitario de gama media, los suministradores de componentes y el fabricante suman el 88% del coste total directo de producción, apenas aportan el 40% en el caso del Chevy Bolt y menos aún en el Model 3 de Tesla.

Pero probablemente uno de los hallazgos más sorprendentes de UBS en el desmantelamiento y estudio en detalle del Bolt es que el grupo LG no solo suministra la batería (43% del coste total) sino también la gran mayoría de los componentes electrónicos, elevando su aportación por encima del 55%.

Esto introduce **cambios radicales en la dinámica competitiva sectorial**, entre los que podemos destacar:

- Dominio asiático abrumador en la fabricación de baterías y motores que desplaza el centro de gravedad del sector a ese continente y causa una gran dependencia y vulnerabilidad de la industria automovilística europea.
- Capacidad de integración vertical, que hace posible que los grandes conglomerados industriales chinos o surcoreanos vayan añadiendo cada vez más componentes, enviando por barcos los núcleos de los vehículos eléctricos (batería, motor, convertidor e inversores de corriente, caja de cambios y sistemas de refrigeración) ya ensamblados. Por otro lado, fabricantes asiáticos como BYD o Hyundai están iniciando un proceso de integra-

ción en sentido inverso, asumiendo la fabricación de baterías o de componentes específicos del BEV.

- Capacidad de crecimiento de la producción de baterías y componentes electrónicos de los conglomerados asiáticos que les proporciona su gran tamaño y músculo financiero, en contraste con el atomizado sector de los fabricantes de componentes o con la competencia feroz y baja rentabilidad de la mayoría de grandes marcas europeas.
- Pérdida de ventaja competitiva y de barreras de entrada derivadas de la compleja tecnología destinada actualmente a la reducción de las emisiones y la mejora de eficiencia de los motores de combustión que han ido desarrollando los fabricantes para cumplir con una regulación ambiental cada vez más exigente.
- Baterías y componentes electrónicos como nuevas ventajas competitivas ya que las bases de la tecnología del motor eléctrico son ya conocidas desde el siglo XIX y su potencia y prestaciones dependen fundamentalmente de la capacidad de carga y entrega de energía de la batería y su control electrónico.
- Potencial irrupción de nuevas marcas al simplificarse notablemente la fabricación del BEV respecto al ICE. La capacidad de adquirir las mismas baterías que los fabricantes a los suministradores asiáticos hace que empresas ajenas al sector – quizás del tecnológico como Waymo/Google – puedan irrumpir como meros ensambladores, incorporar factores diferenciales en la interconectividad, *infotainment* y conducción autónoma y ganar rápidamente cuota de mercado.
- Infotainment y conectividad como elementos clave en la propuesta de valor frente a la tradicional imagen de marca y factores relacionados con la conducción como diferenciadores. Esto podría alterar las percepciones de los consumidores, las cuotas de mercados, precios de venta y márgenes de los fabricantes.
- Probable declive estructural en las cifras de ventas como consecuencia del boom del coche compartido, que podría acelerarse conforme se avance en la conducción autónoma. Algunos escenarios agresivos, como el planteado por la consultora PwC, apuntan a una reducción del parque de automóviles en Europa en más de una cuarta parte (de 280 a 200 millones de vehículos en circulación) hasta 2030 y algo menor en el caso de EE.UU. De ser así, el sector no solo se enfrentaría a un cambio en el equilibrio de fuerzas competitivas sino a la necesidad de afrontar una importante reestructuración para menguar su tamaño y adaptarlo al menor nivel de demanda.
- Tratados comerciales con Japón y Corea que reducirán los aranceles y barreras no arancelarias

para la importación de vehículos fabricados en dos de los países que lideran la fabricación de baterías y de coches híbridos y eléctricos, mermando la posición competitiva de los productores europeos en el mercado doméstico.

- Inexorable concentración e integración vertical en el sector de proveedores de componentes para adaptar sus carteras de pedidos al cambio de la cadena de valor que introduce el vehículo eléctrico, incorporar nuevas capacidades en sistemas electrónicos, conducción asistida y autónoma y ganar competitividad ante los conglomerados industriales y tecnológicos asiáticos.

Con cerca de la mitad del coste total directo de producción de los vehículos eléctricos proveniente de empresas hasta ahora ajenas al sector de automoción, la aportación por vehículo de los fabricantes de componentes se reduce en un 38% y el de las marcas en un 17% al pasar de un ICE de gama media a un BEV similar como el Chevy Bolt. En agregado para Europa, UBS estima que la facturación por ventas de partes y componentes tradicionales decrecerá apenas un 5% entre 2016 y 2025, aunque el margen bruto podría caer alrededor del 20%, en especial por el declive del diésel. Sin embargo, se producirá en paralelo un fuerte crecimiento en la electrónica relacionada con la conectividad, conducción asistida, interfaces coche-conductor e iluminación, que disparará las cifras de negocio de las compañías presentes en este segmento aunque podría también atraer a nuevos competidores.

ESPAÑA: UNA ESTRUCTURA INDUSTRIAL VULNERABLE ▼

Las cifras proporcionadas por las asociaciones de fabricantes de automóviles y de componentes (ANFAC y SERNAUTO respectivamente) muestran que el conjunto del sector facturó en 2017 unos 101.000 millones de euros (64% por las marcas y 36% por los proveedores de partes y componentes), lo que supuso un 8,6% del PIB y un 13,5% de la producción industrial. Se trata de un sector vital para la balanza exterior española ya que suma casi un 20% de las exportaciones (tres cuartas partes en vehículos terminados y el resto en componentes), generando un saldo positivo neto cercano al 1% del PIB.

Con 17 plantas de fabricación y más de un millar de suministradores de componentes, el sector automovilístico genera casi la décima parte de los puestos de trabajo del país, en este caso de forma mayoritaria entre los fabricantes de componentes (unos 224.700 empleos en 2017) respecto a los algo más de 67.000 empleados por las marcas.

También es crucial su papel en la inversión en activos fijos -con unos 4.000 millones de euros anuales- destinados a la ampliación y modernización de plantas- y en I+D, a la que destina cerca del 3% de su facturación. Estas inversiones generan además un ecosistema con las universidades, centros tecnológicos y clústeres de

automoción que son vitales para el conjunto del tejido productivo y educativo nacional.

La demostrada capacidad de adaptación del sector, que ha mejorado su flexibilidad y competitividad durante la crisis, ha permitido que España se mantenga como el segundo mayor fabricante de automóviles de Europa (y primero de vehículos industriales ligeros) y el octavo a nivel mundial, a pesar del fuerte crecimiento en algunos países emergentes. Puede afirmarse que el sector cuenta con importantes ventajas competitivas para defender su posición en el mercado global de vehículos con motores de combustión interna.

Sin embargo, la irrupción del vehículo eléctrico supone una grave amenaza para la industria automovilística europea, y en especial para la española. Entre las principales amenazas y desventajas competitivas cabe destacar:

- **Ausencia de plantas de fabricación de baterías eléctricas.** La mayoría de marcas europeas ha estado actuando de forma reactiva a la revolución eléctrica, quedándose claramente rezagadas respecto a los conglomerados asiáticos en la investigación y desarrollo de la fabricación de baterías a gran escala. Aunque se están planteando algunas factorías en el norte y este del continente, probablemente solo entren en funcionamiento cuando las plantas en China y Corea del Sur hayan adquirido gran tamaño y eficiencia y estén suministrando a las principales marcas. Sin planes específicos de instalación de grandes fábricas de baterías en España, el sector estará perdiendo incluso más del 40% del valor añadido por cada vehículo que pase a ser eléctrico.
- **Ausencia de fábricas de semiconductores.** El contenido en semiconductores y otros componentes electrónicos se multiplica por más de 7 veces entre el ICE y el BEV simplemente para la batería y el sistema de propulsión. Además, el equipamiento para la conducción asistida y autónoma y para *infotainment* irá creciendo con el tiempo, de forma que el contenido electrónico podrá fácilmente superar el 20% del coste de fabricación del BEV. Obviamente, ninguno de los líderes sectoriales involucrados en los vehículos eléctricos (STMicroelectronics, Infineon, Texas Instruments, NXP, etc.) cuenta con fábricas en España, lo que implica otra pérdida importante de contribución nacional al valor añadido del producto final.
- **Riesgo de integración vertical de los fabricantes de baterías.** Es factible que los conglomerados asiáticos que dominan el mercado de baterías opten por fabricar todo o una gran parte del núcleo del vehículo eléctrico (añadiendo y ensamblando a la batería el motor, conversor e inversores de corriente, caja de cambios, sistema de refrigeración, etc.), capturando así una parte creciente del proceso de producción.

- **Exposición de los fabricantes de componentes a elementos en declive.** El sector español tiene una posición relevante en el contexto europeo en la fabricación del chasis y cuerpo de los vehículos, de motores y transmisiones y equipamiento no electrónico, además de en la fabricación de repuestos (que suponen cerca del 15% de su facturación). Con la pérdida acelerada de cuota de mercado de los ICE, la cadena de producción pasará a estar controlada por los proveedores tecnológicos, decaerá la demanda de repuestos y es probable que se entre en una dinámica de exceso de capacidad productiva y presión sobre los márgenes en los componentes tradicionales que podría propiciar una sustancial reestructuración y concentración del sector.
- **Impacto sobre el negocio de los talleres y concesionarios.** Con muchas menos partes móviles y sometidas a desgaste, menor necesidad de líquidos y lubricantes y con revisiones e inspecciones más sencillas, la penetración explosiva del BEV podría causar una caída de la facturación de los talleres que podría llegar al 60% en un escenario extremo a largo plazo de un 100% de vehículos eléctricos en circulación.

No obstante, el sector automovilístico español cuenta también con algunas ventajas competitivas que, si son correctamente aprovechadas, podrían permitir que el impacto negativo de la irrupción del vehículo eléctrico sea algo menor que en otros países europeos:

- **Demostrada capacidad de adaptación.** Empresas y trabajadores han demostrado en las últimas décadas una notable flexibilidad para adaptar los procesos productivos y defender la competitividad. Esto posibilita que, ante la probable reordenación del sector, los fabricantes opten por considerar a España como una atractiva plataforma en la que concentrar la producción.
- **Foco primordial en automóviles de gamas baja y media y en vehículos comerciales ligeros.** Estos son los segmentos más beneficiados por el desarrollo del coche compartido y de la electrificación del transporte urbano de mercancías y es probable que ganen cuota de mercado en el parque automovilístico.
- **Fortaleza y diversificación del sector de fabricantes de componentes** que podría llevarles a ganar cuota de mercado conforme los competidores más débiles sean expulsados por el declive sectorial o los grandes líderes (Valeo, Conti, Delphi, Faurecia, Bosch, etc) opten por concentrarse en contenidos electrónicos de mayor crecimiento y valor añadido y se deshagan de sus segmentos de componentes tradicionales.

CONSECUENCIAS ECONÓMICAS POTENCIALES DE LA DISRUPCIÓN EN ESPAÑA ↓

No es sencillo prever cuál será el impacto económico y sobre el tejido industrial de un proceso tan disruptivo como el boom de los vehículos eléctricos. Cabe sin embargo esbozar un escenario tentativo, basado en este caso en las estimaciones que UBS tiene de penetración de BEV y PHEV y en los resultados de su análisis exhaustivo de los modelos eléctricos en el mercado.

Recapitulando las cifras más relevantes señaladas en secciones anteriores, se parte de los siguientes supuestos que sustentan los potenciales impactos descritos más abajo:

- La suma de BEV y PHEV representará el 30,6% de las ventas de automóviles nuevos en 2025.
- En los mismos, la batería y componentes electrónicos suponen un 56% del valor añadido, dejando la aportación de los suministradores de componentes en un 28% y de los fabricantes en un 11% (cuando en un ICE medio aportan un 68% y un 20% respectivamente), siendo las materias primas el resto.
- Se parte de la premisa de que las baterías no serán fabricadas en España sino que se deberán importar.
- Con el escaso detalle de las cifras de facturación y comercio exterior publicadas por ANFAC y SERNAUTO se puede estimar que los fabricantes de componentes destinan dos tercios de sus ventas a la producción de vehículos y el tercio restante al mercado de repuestos.
- También se puede realizar la aproximación de que actualmente las plantas de fabricación de vehículos importan algo más del 60% de las partes y componentes, obteniendo el resto de suministradores radicados en España.
- Se asume que, debido a factores cíclicos y estructurales y a la paulatina penetración del coche compartido, las cifras de ventas se mantengan básicamente estables en el horizonte de análisis.
- Además, se incorpora una pérdida de pierdan cinco puntos de cuota de los coches fabricados en el país en el valor de las ventas domésticas (respecto al aproximadamente 20% actual) por la reducción de barreras arancelarias con Japón y Corea, que harán valer sus ventajas competitivas en los vehículos eléctricos y de combustión interna.
- Finalmente se prevé que descienda hasta 2025 un 5% la venta de repuestos y líquidos, algo menos de la penetración que para entonces tendrán la suma de BEV y PHEV.

Con todas estas cifras estimativas se pueden apuntar un escenario de potencial impacto económico e

industrial en España de la irrupción del vehículo eléctrico en el horizonte relativamente inmediato del año 2025:

- Los fabricantes de vehículos radicados en España podrían perder casi tres puntos porcentuales en la aportación de valor en la cadena de producción, lo que supondría entre el 12% y el 15% en términos absolutos.
- Los fabricantes de componentes podrían llegar a perder alrededor de doce puntos en el valor añadido, que haría caer sus ventas –a precios constantes- de partes, piezas, accesorios, motores y cajas de cambio en cerca del 18%. Asumiendo que las ventas de repuestos y recambios descendieran un 5%, el impacto conjunto también rondaría entre el 12% y el 16%.
- Suponiendo un impacto lineal sobre el empleo, el sector podría perder unos 40.000 puestos de trabajo, directos e indirectos, hasta 2025.
- El superávit comercial del conjunto del sector (casi 10.000 millones de euros o el 0,8% del PIB en 2017) podría menguar en tres cuartas partes hasta 2025 por la necesidad de importar las baterías y componentes electrónicos y por la pérdida de cuota de los vehículos de producción doméstica en las ventas totales en España.
- La reducción de importaciones de petróleo por menor consumo de combustibles para el transporte apenas compensaría la décima parte del deterioro de la balanza comercial automovilística.
- En los agregados macroeconómicos, el impacto agregado sobre el PIB podría rondar 1,2 puntos porcentuales en un plazo de 7 años, inicialmente inapreciable pero que alcanzaría las tres décimas anuales al final del horizonte de estimación. Igualmente, el nivel de producción industrial podría reducirse en cerca de dos puntos.
- Aunque es imposible cuantificar el efecto, la disrupción del vehículo eléctrico probablemente obligue a una concentración y reconversión de partes del atomizado sector de fabricantes de componentes, alterando el tejido productivo a escala local, regional y nacional.
- El impacto sobre la recaudación tributaria sería moderadamente negativo, tanto por menores ingresos en IVA y/o Impuesto de Matriculación (si se mantienen incentivos fiscales) como por menor consumo de carburantes. No obstante, este efecto podría ser ampliamente compensado con la mera armonización de la imposición sobre hidrocarburos, consumo de energías fósiles y emisiones contaminantes con la media de la UE.
- Si se llega a producir una merma significativa en la facturación, rentabilidad y empleo en el sector, tampoco puede obviarse el riesgo de menor

capacidad de inversión en I+D y de caída de la actividad en el ecosistema existente con las universidades, centros tecnológicos y clústeres de automoción.

NECESIDAD DE UNA ESTRATEGIA INDUSTRIAL PARA APROVECHAR LA DISRUPCIÓN

De todo lo expuesto hasta ahora se desprende la obvia conclusión del papel crítico de las baterías tanto en el probable éxito de la tecnología como en el valor añadido en el proceso de fabricación. Esto implica que cualquier estrategia industrial para permitir capturar en España una parte relevante de la creación de valor en la revolución del vehículo eléctrico debería pasar por lograr la producción doméstica de las baterías, motor y resto del sistema de propulsión.

A la vista del brutal crecimiento de la capacidad de fabricación de baterías que se va a producir con certeza en Asia, hay un riesgo significativo que España –y Europa en general- haya perdido ya la oportunidad para liderar esta revolución, si no en términos de tecnología y diseño sí en la producción. Como ha sido apuntado con anterioridad, esto facilita la oportunidad estratégica a los grupos asiáticos para integrarse verticalmente y hacerse con una parte creciente del valor añadido del conjunto del sector.

No obstante, el ritmo de crecimiento de la demanda de baterías y motores eléctricos va a ser tan fuerte que no debe darse por perdida completamente la oportunidad. Para ello sería necesario un esfuerzo conjunto de todos los niveles de las Administraciones Públicas y de los actores más relevantes del sector (fabricantes de vehículos, suministradores de componentes, asociaciones y clústeres y, por supuesto, trabajadores y sindicatos) para propiciar la instalación en España de plantas de fabricación de esos elementos críticos. Debería ofrecerse una combinación de capital invertible, plantillas cualificadas, competitivas y flexibles, localizaciones e incentivos fiscales que animen a las marcas o a otras empresas a elegir el país como lugar idóneo para localizarla dentro de Europa.

En el caso de que los fabricantes de vehículos -como es el caso mayoritario hasta el momento- optaran por mantener externalizada la producción de baterías y motores, podría plantearse y facilitarse una agrupación de suministradores de componentes para acometer la inversión. Esta estrategia de integración vertical y diversificación se antoja clave para atenuar el impacto de la irrupción en el sector automovilístico de los conglomerados asiáticos.

Por último, también parece esencial una adaptación del sistema educativo, desde la formación profesional hasta la universitaria y posgrado. La revolución combinada que suponen el vehículo eléctrico, la conducción asistida y autónoma y las innovaciones tecnológicas van a requerir unas capacitaciones muy diferentes en toda la cadena de valor, partiendo del diseño y fabricación hasta los servicios posventa.

En conclusión, la historia de éxito del sector automovilístico español en las últimas décadas se enfrenta a una disrupción sin precedentes por su intensidad y velocidad. La capacidad de adaptación que ha dado tan buenos frutos recientemente va a ser pronto puesta a prueba. Aunque cierta pérdida de tejido productivo y empleo parece inevitable a la vista de los avances en Asia y EE.UU., la magnitud de la transformación ofrece también grandes oportunidades que pueden ser aprovechadas si el conjunto del sector y los gobernantes actúan rápida y acertadamente.

REFERENCIAS ↓

OECD/IEA (2018) «*Global EV Outlook 2018*», International Energy Agency.

Hummel P, Lesne D. *et al* (2017) «*UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead?*», UBS Investment Research.

Hummel P, Lesne D. *et al* (2017) «*Electric cars: Highway to Margin Hell?*», UBS Investment Research.

Anfac, Sernauto, KPMG (2017) «*Agenda Sectorial de la Industria de Automoción*», Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

Anfac (2018), «*Informe Anual 2017*», Anfac

Mulholland D, Bouvignies F-X *et al* (2018) «*Semis: Who's powering Tesla's Model 3?*», UBS Investment Research.

Tietge U, Mock P, Lutsey N, Campestrini A (2016) «*Comparison of leading electric vehicle policy and deployment in Europe*», The International Council on Clean Transportation.

Hummel P, Sheridan E *et al* (2018) «*Who will win the race to autonomous cars?*», UBS Investment Research.

PRIMEROS PASOS PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN ESPAÑA: EL PROYECTO ZEM2ALL

JORGE SÁNCHEZ CIFUENTES

GABRIEL TÉVAR BARTOLOMÉ

ENDESA

Es bien conocido que desde hace más de un siglo la tecnología eléctrica se está buscando paso en la industria de la automoción, y de los reiterados intentos de copar su lugar. Pero es en la primera década de este siglo cuando se dispuso de las condiciones adecuadas para un nuevo intento que esperamos pueda ser el definitivo.

RENACER DEL «NUEVO» VE, DE LOS PRIMEROS DEMOSTRADORES AL DESARROLLO REGULATORIO

Aún recuerdo en el año 2006 cuando en un encuentro de innovación con los responsables de una gran marca automovilística Europea para compartir mejores prácticas entre ambos sectores, surgió el tema del vehículo eléctrico y su respuesta fue clara, «dame la batería adecuada y yo te construyo el VE», y en aquel entonces la respuesta era correcta, el desarrollo de la tecnología de baterías de Li-Ion era incipiente, sin embargo en paralelo en otro sector, el de telecomunicación, cada vez más apostaba por teléfonos de pantalla más grande, con más funciones, y con una necesidad de tener baterías que pudieran aumentar el uso de los terminales. Introdujeron la tecnología de iones de litio con el fin de evitar el tan odiado «efecto memoria», y dado su gran crecimiento y escalas de producción consiguieron ofrecer la batería a los fabricantes de coches y en otros casos, los menos, los fabricantes de baterías se convirtieron en fabricantes de coches.

El cambio había comenzado, la pieza faltante en el puzzle del VE estaba ya disponible y las primeras esti-

maciones basadas en el caso del gran auge de la telefonía móvil y sus «smartphones» auguraban una tendencia a la baja de su precio y mejoras en su fiabilidad y su disponibilidad. No es, ni será la primera vez en que el desarrollo y aceptación en el uso de una tecnología surge por causas exógenas al sector tradicional.

A partir de aquí las administraciones y las empresas se pusieron en marcha, pero no sólo las de componentes y automoción, sino también las eléctricas. Existía otro condicionante importante como es el cambio climático y los objetivos 20-20-20. En Europa se apostaba por el hidrógeno como vector energético y fue el momento de replantear la estrategia. Desde el sector eléctrico se propuso arrancar un proyecto exploratorio para comprobar los efectos de la penetración masiva del VE en Europa. Se gestó el proyecto G4V (Grid for Vehicle), donde se analizaron las implicaciones, barreras y recomendaciones que se entregaron a la comunidad Europea. Con el objetivo de no perder este tren, Europa fomentó las ayudas a la investigación, desarrollo y demostración del VE, basado en baterías (BEV).

A estas alturas ya nadie dudaba de la necesidad de impulsar la movilidad eléctrica y, en concreto, de fomentar la electrificación del parque de turismos. El vehículo eléctrico no es considerado un fin en sí mismo o una tecnología sustitutiva del actual, sino como un instrumento para mejorar la eficiencia energética y reducir significativamente el nivel de emisiones de CO₂ del Sector Transporte, a la vez que se consigue una reducción de la dependencia energética del exterior, la reducción de emisiones en entornos urbanos densamente poblados, y la incorporación de energías renovables en el sistema eléctrico, preferentemente en las horas valle.

De hecho en un reciente estudio de Monitor Deloitte enfocado al caso español, «Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050. Recomendaciones para la transición», de marzo de 2017, logra cuantificar la necesaria contribución de la movilidad eléctrica a los objetivos medioambientales, con conclusiones tan interesantes como las siguientes:

- Para cumplir sus compromisos europeos, España debe pasar de emitir 329 MtCO₂ equivalentes en 2014 a entre 14 y 88 MtCO₂ en 2050. Para ello es necesaria la electrificación de la demanda final de energía, pasando del 26% de consumo energético final en 2013 al 65% en 2050. A la vez, el mix de generación eléctrica debe pasar del 38% renovable en 2015 al 90-100% en 2050.
- El Sector Transporte es el más emisor, con 80 MtCO₂ equivalentes, el 24% del total, y el que menos reducción de emisiones ha logrado hasta el momento. A su vez, el transporte de pasajeros por carretera es el que mayor peso tiene con 52.8 MtCO₂ (el 66% del Transporte).
- Con lo anterior, España necesita entre 4 y 6 millones de vehículos eléctricos en 2030 para lograr alcanzar los objetivos medioambientales, lo cual supondría entre el 50 y 60% de las ventas anuales de vehículos. Adicionalmente, el logro de la reducción necesaria de emisiones en 2050 requiere que, para entonces, prácticamente el 100% de los nuevos turismos sean eléctricos.

Por supuesto que además de la descarbonización del transporte se requiere de una electrificación de la demanda y de una mejora de la eficiencia en sectores de la industria, servicios y residencial, pero el potencial de reducción de emisiones de CO₂ no es comparable al del Sector Transporte. Por ello, sin renunciar en ningún momento a mejorar la eficiencia energética de electrodomésticos, procesos industriales y otros usos en la demanda, parece claro que no podemos considerar el vehículo eléctrico como un electrodoméstico más.

España también se sumó a la tendencia, el gobierno consciente de la importancia de la industria de la automoción en el país creó unos grupos de trabajo para obtener la visión y sugerencias de los principales actores, los grupos comenzaron el 20 de enero de 2010, que se dividieron en tres: «Demanda y Promoción», «In-

fraestructuras y Gestión Energética» e «Industrialización e I+D+i». Como resultado: el documento con la «Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico en España» (<http://www.mincotur.gob.es/es-es/gabinete-prensa/notasprensa/documents/estrategiaintegral-veh%C3%ADculoelctrico060410.pdf>), que pretende dar unas guías a través de cuatro líneas o ámbitos de actuación:

- El impulso a la demanda y la promoción del uso del VE.
- El fomento de su industrialización y de la I+D+i específica para el VE.
- El desarrollo de la infraestructura de carga y su gestión energética.
- Un conjunto de actuaciones horizontales que agrupan aspectos comunes a las líneas estratégicas anteriores o no específicas de alguna de ellas.

En este primer plan, se reconoce por primera vez que el VE es más que un automóvil eficiente, y que puede ayudar a incrementar la penetración de renovables y ayudar en la estabilidad del sistema, además de ser un tractor de inversiones para España. Aunque las metas eran muy ambiciosas (250.000 vehículos eléctricos circulando en 2014), supuso la colocación de España en el mapa del VE, los fabricantes nos veían como país objetivo para arrancar demostradores dada la gran apuesta expresada en el plan.

El plan 2010 – 2012 supuso, bajo la coordinación e impulso del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), la primera fase de promoción de la movilidad eléctrica en España. Dada la autonomía y los modelos existentes en esos años, el principal objetivo fueron las ciudades. Después de una invitación a las grandes ciudades, finalmente Madrid, Barcelona y Sevilla fueron seleccionadas.

COMIENZO DE LOS DEMOSTRADORES

Empresas como Endesa, apostaron por participar en el desarrollo de los tres demostradores públicos, colaborando en establecimiento de la infraestructura de recarga considerada dentro de los planes municipales. Mientras que Madrid y Barcelona. El primero objetivo era movilizar a las ciudades y concienciar de la importancia de promover el VE dentro de la ciudad. Estas ciudades no sólo aportaron el suelo público para las instalaciones y reservas de aparcamientos, sino que generaron una serie de acciones dedicadas a la promoción, como la exención parcial del impuesto de circulación o la posibilidad de reducción parcial o total en las tasas de aparcamiento en zonas restringidas.

El proyecto MOVELE, fue lanzado por primera vez en septiembre de 2009 para ayudar a la implantación del vehículo eléctrico en las ciudades españolas conjuntamente con las subvenciones otorgadas por el IDAE para la compra de los vehículos no dio el resultado esperado, aunque sí proporcionó conclusiones muy

FIGURA 1
CRONOLOGÍA DEL PROYECTO ZEM2ALL



Fuente: elaboración propia

útiles, dado que se vio como principal cliente a las empresas y que no todo solo Vehículos eléctricos inscritos eran coches del tipo turismo (M1), sino otros vehículos eléctricos como motocicletas y vehículos de servicio. A finales del 2014, se habían registrado 1.495 peticiones para vehículos «enchufables» y sólo 457 solicitudes para puntos de recarga, de los cuales sólo 183 figuraban a 31 de diciembre como activos [1]. ¿No existía oferta suficientemente atractiva?, ¿las medidas no eran suficientes?, ¿Qué había fallado?

Sin embargo, la voluntad de los actores privados, vieron la necesidad con la continuación de los demostradores y los planes de concienciación de forma paralela con las ayudas del gobierno a la compra de vehículos sostenibles.

Endesa participó en la definición y ejecución de otros proyectos internacionales, como el proyecto GreenMotion, donde se pretendía enlazar los distintos demostradores existentes a nivel Europeo y establecer mecanismos para extender las lecciones aprendidas de forma que al compartir la información no se duplicaran esfuerzos y se pudiera avanzar más rápidamente.

Para el inicio del proyecto se agregó la infraestructura existente en las ciudades participantes: 1.239 puntos de recarga de uso público y 433 vehículos eléctricos asociados a dichos puntos. A cada uno de ellos se le dotó de mecanismos para la recogida de información y su distribución en las diez regiones de demostración participantes. Dentro de los objetivos del proyecto cabe señalar cuatro importantes como:

1. Fijar las bases para la **interoperabilidad** de las regiones y por tanto establecer los estándares de facto para el roaming de la carga pública, dise-

ñando y demostrando la viabilidad de un sistema de movilidad eléctrica normalizado e interoperable en todas las regiones. Dentro del proyecto se diseñó y construyó una arquitectura ICT (Information and communication technologies) que garantiza la comunicación y conexión adecuada permitiendo el acceso abierto a las infraestructuras de recarga de todos los conductores y a los operadores del servicio donde pueden ofrecer sus productos a todos los participantes en este mercado incluidos a los servicios de valor añadido como la reserva de un punto de recarga o los sistemas sencillos de pago mediante móvil.

2. **Gestión energética eficiente**, permitiendo la creación de servicios complementarios que permitan ofrecer flexibilidad al sistema y optimizar los costes de integración en la red de infraestructura de recarga, costes que se pueden reducir significativamente con estrategias de recarga inteligente mediante el control del tiempo de recarga y la potencia conjuntamente la disponibilidad de energía renovables (solar y eólica).
3. **Aceptación social**, vector fundamental en la penetración de nuevas tecnologías y conscientes de ello, se creó un mecanismo de coordinación entre los actores fundamentales en los tres ejes: político, la industria y los servicios permitiendo que la información adquirida en el proyecto pudiera llegar de forma simultánea a reguladores, empresas de automoción y eléctricas y nuevos entrantes del mercado de servicios de movilidad.
4. **Aportaciones de los usuarios**, al final el protagonista es el conductor, se permitió y fomentó el intercambio de experiencias, donde los usuarios iniciales, (*early adopters*), son usuarios muy activos

y dispuestos a compartir sus vivencias en redes sociales, conferencias, ... Estas experiencias permiten dar confianza a otros usuarios y aumentar el boca a boca de los beneficios de la electromovilidad.

Otro de los demostradores dignos de mención en este periodo fue ZEM2ALL, (*Zero Emission Mobility to All*). Véase la figura 1. Proyecto que surge por iniciativa del gobierno japonés y su agencia para el desarrollo energético NEDO (*New energy and industrial technology Development Organization*), quienes abrieron una licitación para la demostración de nuevos servicios y modelos de desarrollo de la movilidad eléctrica.

Endesa, participa junto con Mitsubishi Corporation, quienes ya estaban trabajando en el desarrollo de la tecnología V2G y presentan una propuesta que finalmente gana la licitación para su desarrollo en Málaga. La ciudad es seleccionada fundamentalmente por dos fortalezas, la primera es el gran apoyo de la administración local a la innovación y segunda la existencia de otro gran demostrador liderado por Endesa de redes inteligentes (Smartcity Málaga), que ofrece ya la infraestructura necesaria para el piloto de movilidad.

Tras la selección de la propuesta se comienza una fase de diseño de detalle donde se unen al consorcio Mitsubishi Heavy Industries e Hitachi por parte japonesa y por parte española Telefónica y Ayesa. La vertebración del proyecto se realiza mediante la adscripción al convenio bilateral Hispano Japonés de desarrollo JSIP (Japan Spain Innovation Program) gestionado por las agencias NEDO y CDTI.

Igualmente se firman los acuerdos correspondientes con Málaga como ciudad que alberga el demostrador y que también con su gran carácter innovador se compromete a impulsar la movilidad eléctrica con medidas adicionales a las que se desarrollen en el ZEM2ALL.

Finalmente el proyecto se aprueba en su formato final en el 2011 con la aprobación por parte de NEDO de la propuesta final de detalle, y por parte de CDTI de la propuesta española.

El proyecto propone una flota de 200 coches eléctricos, y 23 puntos de carga rápida (de 50kW de potencia, que permiten la recarga de la batería en 30 minutos) en 9 localizaciones distintas de la ciudad de Málaga y extensiones en Fuengirola y Marbella.

Esto representaba la mayor red de carga rápida con clientes reales de Europa y el proyecto proponía que tuvieran un coste similar al equivalente a los servicios existentes, ya fuera de movilidad o de energía. La razón era simple, lo que no se paga no se valora de igual forma y el proyecto tuvo desde el principio el objetivo de obtener resultados reales extrapolables.

Durante el año 2012 se vendieron en España, 484 turismos enchufables de los que sólo con baterías fueron 437 (ver tabla 1). El proyecto se ZEM2ALL se enfrentó al reto de vender en este entorno 160 VE del modelo

iMiEV de Mitsubishi en este periodo, vehículos que se entregarían entre los últimos meses del 2012 y primeros del 2013.

El éxito de ventas del proyecto residió en varios factores:

1. El precio estaba equiparado a un coche de gasolina equivalente, aunque sólo se comercializaba en renting y esta opción penalizaba las compras de particulares
2. Se realizó una fuerte campaña de comunicación personalizada en la ciudad de Málaga, acompañada de demostraciones y asesoramiento al cliente.
3. Se diversificó a los clientes, obteniendo al final una distribución similar entre particulares, PYMES y grandes empresas, con el fin de entender los distintos usos y requerimientos de los tres sectores.
4. El vehículo se ofreció con un punto de carga vinculada de 3kW con mecanismos de seguridad eléctrica, con coste diferenciado, pero en una única oferta comercial, lo que facilitó la decisión al cliente y le resolvió la duda de dónde cargar y del funcionamiento de la carga vinculada. Ya que en aquel momento existían muchas dudas sobre cómo se instalaban los puntos de recarga, llegando se a instalar 220 puntos de recarga convencional en distintas localizaciones privadas.
5. Además del coche, el proyecto proporcionaba una serie de servicios que fueron muy valorados por los conductores finales, como la infraestructura de carga rápida, un call – center especializado para asesorar a los participantes del proyecto y la entrega de la información en un teléfono inteligente que se entregaba con el coche.

De esta forma, se completó en un periodo de 6 meses en una sola ciudad un tercio de las ventas de todos los vehículos eléctricos que se vendieron en 2012 en toda España.

El número de personas que querían adherirse al movimiento ZEM2ALL fue subiendo con el boca a boca y con la buena experiencia de los participantes, aunque algunas de las peticiones si tuvo que ser rechazada por la falta de viabilidad de la instalación de la carga en edificios comunitarios. Además, hubo usuarios que después de usar el VE durante un tiempo, al creerlo conveniente pidieron la ampliación del número de vehículos y los incorporaron a sus flotas por otros mecanismos externos al proyecto.

Las 9 localizaciones donde se ubicaron los cargadores rápidos (las potencias de los diferentes puntos alcanzan 15, 30, 33, 45 y 50 kW en corriente continua), se eligieron en función de la facilidad de acceso y permitir una distribución adecuada en función del tráfico de la ciudad. Igualmente que con la carga vinculada, en el 2013 había muchas dudas sobre la idoneidad de la infraestructura de la carga rápida y fue necesario un

TABLA 1
MATRICULACIONES POR MODELO

Marca	Modelo	Tipo de vehículo	Unidades matriculadas por modelos				
			2013	2012	2011	2010	TOTAL
BMW	i3	BEV	27				27
CHEVROLET	Volt	E-REV	2	14	1		17
CITRÖEN	C-Zero	BEV	3	58	85		146
FORD	Focus Electrico	BEV	5	0	0	0	5
MERCEDES	Clase A E-Cell	BEV	0	6	17		23
MITSUBISHI	iMiev	BEV	142	31	23	2	198
NISSAN	Leaf	BEV	263	154	59	24	500
OPEL	Ampera	E-REV	6	33	1		40
PORCHE	Panamera S E-Hybrid	E-REV	14				14
PEUGEOT	iOn	BEV	6	73	125	1	205
RENAULT	Fluence Z.E. + ZOE	BEV	307	77	23		407
SMART	ForTwo ED	BEV	57	5	10	3	75
TAZZARI	Zero	BEV	0	3	8		11
TESLA	Roadster	BEV	1	0	2		3
TOYOTA	Prius Plug-in	E-REV	51				51
THINK	City	BEV	0	30	23	39	92
			884	484	377	69	1814
		BEV	811	437	375	69	1692
		E-REV	73	47	2	0	122

BEV: Battery electric vehicle

E-REV: Extended range electric vehicle

Fuente: elaboración propia

periodo de formación y promoción de la carga rápida. Entre estas acciones, en una primera fase se dejó y se realizaron periodos de formación con los clientes para enseñarles el funcionamiento de la carga rápida, informar de la seguridad de la misma con las personas y con el propio coche.

La infraestructura de comunicaciones desplegada para el proyecto fue otro de los puntos fuertes y que todos los actores estaban interesados en probar, se trababa igualmente de la mayor infraestructura de comunicaciones m2m (Machine to Machine) desplegada a la fecha para recoger la telemetría de vehículos eléctricos en un uso real. Para ello se instalaron unidades de adquisición de datos en cada vehículo que recogían los datos de uso del vehículo en función del conductor que lo manejaba. Esta información se procesaba en una plataforma desarrollada para tal fin y que permitía obtener el comportamiento de la movilidad eléctrica y de su sensibilidad frente a acciones de fidelización, o promoción en los precios de recarga. Igualmente los datos de telemetría, aportaban la información necesaria para conocer la forma de conducir de un eléctrico, su consumo, incidencias, etc que fue base para la elaboración de las conclusiones del proyecto:

Otro aspecto incluido en ZEM2ALL, en este caso quizás el punto más innovador, supuso el desarrollo conjunto de la tecnología V2G (Vehicle To Grid), donde se permite poder extraer la energía del vehículo cuando esté aparcado para su distribución en la red eléctrica. Endesa desarrolló la infraestructura de carga específica y

se validó la interfaz de carga basada en la propuesta de carga en corriente continua con un protocolo de comunicaciones ampliando el ya existente en el estándar de la carga rápida.

El desarrollo compatible con Nissan y Mitsubishi, acabó convirtiéndose en el estándar aceptado por la asociación de carga rápida CHAdeMO y hoy en día se está ofreciendo de serie en los vehículos eléctricos de ambas marcas.

Un vehículo particular, está aparcado prácticamente el 90% de su vida útil, por lo que el poder disponer de la energía disponible en su batería podría ofrecer la tan deseada capacidad de almacenamiento que se necesita para poder gestionar las fuentes de generación intermitentes como son la solar y la eólica. Por lo que el VE con una interfaz de carga bidireccional puede permitir una mayor penetración de renovables en los niveles bajos de tensión de la red eléctrica contribuyendo aún más al cumplimiento de los objetivos medioambientales.

Para las empresas participantes del proyecto la información obtenida de la telemetría, permitió avanzar en los algoritmos de demanda de energía en una ciudad con gran penetración de vehículos eléctricos, avanzar en servicios de movilidad compartidos e incluso en información del comportamiento de los conductores necesaria para poder adaptar las ofertas comerciales de seguros de automóvil como de servicios energéticos.

Al finalizar el periodo de prueba, se recorrieron más de 4,6 millones de kilómetros 100% «eléctricos» con más de 100.000 recargas y evitado a la atmósfera 330Tn de CO₂, el consumo equivalente a 50 hogares en un año. Pero todo ello con alto grado de satisfacción del conductor, dado que el 85% de los participantes decidieron quedarse con el vehículo una vez finalizado el proyecto; el 91% piensa que ha ahorrado dinero todos los meses con su uso y en general dan una nota de 8,38 sobre diez a su experiencia en su participación en el proyecto ZEM2ALL.

Como el proyecto tenía el objetivo de aprender de las necesidades del cliente de la movilidad eléctrica, se hicieron dos encuestas a los participantes en el periodo del mismo. Estas encuestas reflejaron información que apuntan al uso futuro de la movilidad eléctrica y que podemos agrupar en dos grandes apartados.

Uso de la carga vinculada / pública ↓

Por los datos recogidos, el conductor recarga mayoritariamente el vehículo en la instalación vinculada bien sea su casa para el particular o el lugar de trabajo para las flotas profesionales. La satisfacción con el punto de recarga y la experiencia de recargar en la casa es positiva y declaran que el uso es más sencillo del que esperaban al inicio, por lo poco a poco se fue perdiendo el miedo de que el VE no estuviera cargado a la mañana siguiente.

Las horas en las que se inicia la carga y el tiempo medio de carga varía dependiendo del uso y del segmento del participante, los particulares lo realizan fundamentalmente durante la tarde y tienen un promedio de carga mayor debido, fundamentalmente, a su uso durante los fines de semana además lo hacen cuando la batería está de media en el 50% y el 70% de los conductores cargan su vehículo cada dos días.

El uso de la infraestructura de carga rápida, fue variando a lo largo del tiempo, primero se dejó su acceso libre y gratuito, posteriormente se comenzó a cobrar su uso a partir de la séptima carga y en la fase final se facturaba por el uso desde la primera carga. Evidentemente el uso de los mismos al principio fue mayor, pero es sorprendente que más del 60% de los conductores nunca realizaron una carga rápida aun siendo gratis y al final del proyecto sólo el 5% de los conductores lo hicieron de forma regular.

Estos datos apuntan a dos conclusiones, la primera es que al ser el uso fundamentalmente urbano los vehículos usados en el proyecto ofrecían una autonomía suficiente como para el uso deseado y la segunda es que el vehículo eléctrico estaba suficiente tiempo aparcado como para recargarlo sin problemas.

Conclusiones que por otra parte fueron corroboradas por los datos obtenidos de la telemetría, ya que los conductores particulares realizaron una media de 48km por día, lo que implica que es menos de la mitad de la autonomía del VE, el 76% de los vehículos se

han usado a diario, con medias superiores a los diez mil kilómetros año y más de la mitad de los trayectos (56%) han tenido como origen o destino el lugar donde está instalada la carga vinculada. Todo esto hizo que la necesidad de carga se situara cada dos días en el 70% de los vehículos del proyecto.

A esto cabe añadir, que en las interacciones con los participantes declararon que estaban contentos de tener a su disposición de una red de cargadores rápidos a su disposición y que además fue uno de los parámetros básicos que sirvieron en su elección por la movilidad eléctrica, pero igualmente declaraban que no los usaban. Es decir la carga rápida se veía desde la percepción de muchos participantes como un seguro ante la posibilidad de requerir una mayor autonomía. Se podría realizar un símil con los servicios de ayuda en carretera, todos consideramos necesarios su existencia, pero nadie quiere usarlos.

Estas informaciones de uso y percepción de la carga son de aplicación a los ámbitos urbanos y periurbanos y tiene que ser tenido en consideración en los modelos de negocio de los gestores de recarga y por los Ayuntamientos y administraciones a la hora de realizar sus planes de promoción y despliegue.

Uso del vehículo eléctrico como solución diaria para la movilidad en las ciudades ↓

En los primeros contactos con los participantes surgían habitualmente las mismas dudas: ¿El vehículo eléctrico es un coche normal para uso cotidiano?, ¿su autonomía es suficiente?, ¿Qué hago si me quedo sin batería?,... Preguntas que representaban la primera barrera a superar. Barrera que normalmente se superaba con una prueba del vehículo y con una adecuada formación sobre la infraestructura de carga.

Sin embargo el uso del VE si tiene algunas diferencias en su uso con respecto al tradicional dado que es necesario manejar una cierta previsión de nuestros desplazamientos y es una buena práctica el enchufarlo cada vez que está sin usar. Así, aunque tiene poca autonomía comparándolo con el tradicional, siempre salimos con el «depósito» lleno.

En las encuestas realizadas, los participantes, declaran que al final de la demo el hecho de no pasar por la gasolinera representa una de las ventajas del uso, tanto por su ahorro como por lo que representa en comodidad al no tener que desplazarse a la estación de servicio con el tiempo que conlleva en un entorno puramente urbano como en el ZEM2ALL.

Igualmente el propio vehículo se destacó como el segundo punto mejor valorado dentro de las encuestas, siendo las características más valoradas la ausencia de ruido, el confort, la imagen que proyecta y la aceleración, mientras que en la comparación con el tradicional destacan el menos consumo del VE, su comodidad y el silencio durante la conducción.

Un gran porcentaje de los conductores modificaron sus hábitos de uso del vehículo para poder aprovechar la regeneración en las frenadas, lo que implicó una conducción más preventiva y de menor consumo energético con el tiempo. Este factor, podría derivar en condiciones ventajosas para los tomados de seguros de VE, dado que al conducir de una forma menos agresiva el desgaste y el número de incidentes es menor en este tipo de conductores.

Paulatinamente, se detectó un incremento significativo en el tiempo de uso del vehículo eléctrico y los kilómetros realizados a lo largo del periodo de demostración, dado que la confianza de «no quedarse sin batería» aumentaba con el uso y con la gran disponibilidad de cargadores rápidos a su alcance. Se llegó a superar la media de uso de vehículos convencionales situándose en 45km de recorrido medio diario, superando en 10 kilómetros la media nacional.

En definitiva, los datos demostraron que la oferta de servicio 360º incluyendo la recarga, la movilidad, la información, el soporte, ... facilitan la introducción de la movilidad eléctrica y la experiencia global fue de las mejores obtenidas en un proyecto similar, dado que en las dos encuestas realizadas a los usuarios, el proyecto ha obtenido una alta valoración en dichas encuestas de satisfacción: el 94% está satisfecho o muy satisfecho y un 97% de los encuestados dice haber igualado o superado sus expectativas iniciales.

¿POR QUÉ DEBE INTERVENIR LA REGULACIÓN? ↓

En los primeros demostradores, se pudo demostrar que la tecnología es adecuada al uso demandado por el mercado. La eficiencia, la reducción de costes, la mejora de calidad, las nuevas prestaciones, etc., son aspectos que generalmente hacen que un producto entre en el mercado y se desarrolle de forma natural. Sin embargo, se puede justificar la intervención del Regulador cuando el interés es común, medioambiental en este caso, y se necesita impulsar su desarrollo.

Efectivamente, este es el caso del vehículo eléctrico donde los objetivos medioambientales comentados, junto con el hecho de que el vehículo eléctrico inicialmente competiría en clara inferioridad de condiciones con los vehículos convencionales, para los que ya existe una economía de escala en la logística y la producción, y para los que el acopio de combustible está perfectamente extendido y asegurado en redes de estaciones de servicio, justifican que las autoridades comunitarias y los reguladores se planteen la necesidad de intervenir para impulsar la movilidad eléctrica.

¿SOBRE QUÉ ASPECTOS PUEDE INTERVENIR LA REGULACIÓN PARA IMPULSAR LA MOVILIDAD ELÉCTRICA? ↓

Hay multitud de aspectos que pueden requerir la atención del Regulador y llevarle a establecer distintos tipos de medidas. Por simplificar estas medidas las podemos clasificar en tres categorías: (a) las relacionadas

con la adquisición y uso del vehículo, (b) las relacionadas con las necesarias infraestructuras de recarga, (c) y las relacionadas con el uso de la energía eléctrica.

Entre las primeras (a) podemos incluir las ayudas a la compra de vehículos, las ventajas fiscales, el aparcamiento gratuito en zonas reguladas, las restricciones al tráfico de vehículos contaminantes en el centro de las ciudades, la reducción de peajes en autopistas, etc. Es de destacar que aquellos países en los que más éxito ha tenido hasta ahora el desarrollo de la movilidad eléctrica, como por ejemplo es el caso de Noruega, son los que han establecido mayores incentivos para los usuarios, generalmente mediante la exención de tasas o impuestos en la compra con relación a los vehículos convencionales.

Entre las segundas (b) podemos considerar la necesidad normativa de seguridad, los reglamentos técnicos de instalaciones eléctricas, la normalización de equipos de recarga y relacionados, pero también todas aquellas medidas dirigidas a promover el desarrollo de infraestructuras de recarga, tanto recarga privada (generalmente en domicilio o centros de trabajo) como recarga pública.

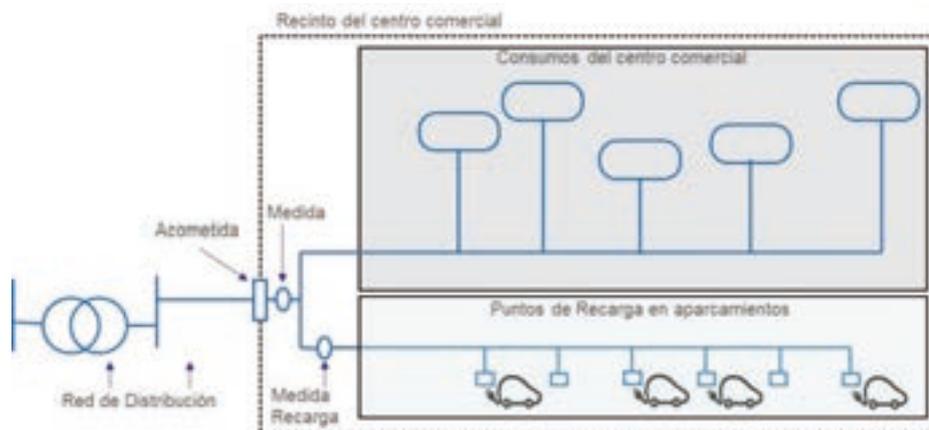
Entre las terceras (c) cabe plantearse de nuevo si el coche eléctrico debemos considerarlo como un electrodoméstico más o si, por el contrario, se requiere algún tipo de regulación relativa al consumo o suministro de energía eléctrica para la recarga de los vehículos.

Como veremos, este tipo de medidas (c), al igual que algunas de las mencionadas en el punto (b), deben tener necesariamente su encaje en el marco normativo del sector eléctrico. De estas medidas se va a hablar en los próximos apartados.

¿CÓMO INICIA SU ANDADURA LA REGULACIÓN EN ESPAÑA? EL GESTOR DE CARGAS ↓

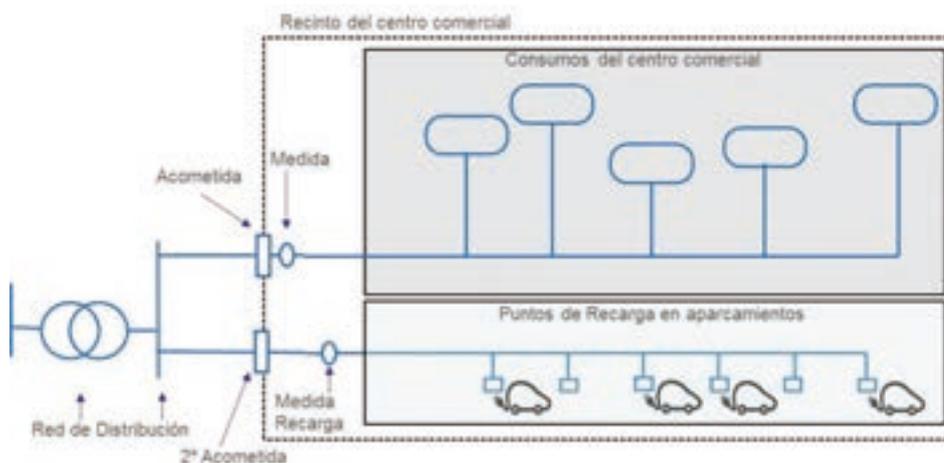
En España, al igual que ha ocurrido con otros aspectos como la implantación de los contadores inteligentes, se empieza a desarrollar la regulación relacionada con el vehículo eléctrico antes que en otros países de nuestro entorno. Aunque la Directiva 2009/33/CE de la UE, relativa a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes, se aprueba en abril de 2009, ya en julio de 2008 el ministro de Industria, Turismo y Comercio, Miguel Sebastián, había anunciado un objetivo de un 1,000,000 de vehículos eléctricos e híbridos enchufables en 2014. Aunque fue en 2010 cuando se elabora el documento «Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico en España», con la participación del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el IDAE, la Fundación Instituto Tecnológico para la Sostenibilidad del Automóvil (FITSA), así como multitud de agentes de los sectores del automóvil, constructores, ingenierías, empresas energéticas, etc., el cual ya incluye una revisión a la baja del objetivo hasta los 250,000 vehículos eléctricos en 2014.

FIGURA 2
EJEMPLO DE INFRAESTRUCTURA DE RECARGA DE UN CENTRO COMERCIAL QUE SE HABILITA COMO GESTOR DE CARGAS



Fuente: elaboración propia

FIGURA 3
EJEMPLO DE INFRAESTRUCTURA DE RECARGA DE UN CENTRO COMERCIAL QUE ACUERDA CEDER A UN GESTOR DE CARGAS TERCERO EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE SERVICIO DE RECARGA



Fuente: elaboración propia

Con esta perspectiva, algo optimista, en abril de 2010 se publica el Real Decreto-ley 6/2010 de medidas para el impulso de la recuperación económica y el empleo, que entre otras cosas modifica la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico para añadir un nuevo sujeto al sistema eléctrico, la figura del Gestor de Cargas, así como una nueva actividad libre, no regulada, la de Servicios de recarga energética:

- El Gestor de Cargas del sistema se define como una sociedad mercantil, al igual que otros de los actores principales del sector eléctrico, que, siendo consumidor, puede revender energía eléctrica para ofrecer servicios de recarga energética. Es importante destacar que, dentro de la regulación eléctrica española, esta es la única excepción en la que se

permite la reventa de energía eléctrica, de un consumidor a otro, al usuario del vehículo eléctrico.

- En cuanto a los Servicios de recarga energética se la atribuye la función principal de entrega de energía eléctrica a través de servicios de carga de vehículos y de baterías de almacenamiento, pero no de cualquier manera, sino imponiendo unas condiciones que deben entenderse desde la expectativa de que en pocos años se iba a producir una fuerte entrada del vehículo eléctrico: por una parte se exige una carga de forma eficiente, y por otra se apunta a una carga a coste mínimo para el propio usuario y para el sistema eléctrico, mediante la futura integración con los sistemas que se desarrollen para facilitar la integración de la generación renovable.

Poco después, en mayo de 2011, se publica el Real Decreto 647/2011 por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética. En este real decreto se desarrolla los requerimientos que debe cumplir un Gestor de Cargas, así como sus derechos y obligaciones. Entre los requerimientos más destacables figuran la obligación de que la sociedad mercantil incluya en su objeto social la acreditación como gestor de cargas, la adscripción a un centro de control del gestor de la red que les permita recibir consignas y participar en servicios de gestión activa de la demanda, ser consumidor y disponer del correspondiente contrato de suministro de energía eléctrica para cada uno de los puntos de conexión a las redes con destino a su propio uso y para la reventa de energía eléctrica para la recarga, y otros requerimientos propios de las empresas comercializadoras.

No cabe duda de que, tal y como se recoge en el mismo documento de «Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico en España», se estaba pensando en un escenario con una presencia relevante del coche eléctrico, y en la necesidad de asegurar que la misma se produciría de manera acorde a los objetivos medioambientales y de eficiencia, esto es, realizando una recarga inteligente preferiblemente en horas valle, con generación renovable, y aprovechado al máximo los márgenes de capacidad disponible de las infraestructuras energéticas ya existentes, tanto de capacidad instalada de generación como de redes de transporte y distribución.

Con este marco normativo si, por ejemplo, un centro comercial quisiera ofrecer servicio de recarga a los clientes que visitan sus tiendas, tendría dos formas de hacerlo:

- a. Habilitándose como Gestor de Cargas: para ello debe cumplir los requisitos que impone la normativa, entre ellos modificar su objeto social, construir la instalación de recarga que formaría parte de su red interior, e instalar un equipo de medida que permita registrar la energía vendida para la recarga, todo ello aprovechando la acometida eléctrica de la que ya disponía previamente (ver Figura 2).
- b. Llegando a un acuerdo comercial con un Gestor de Cargas tercero ya habilitado, el cual deberá contratar un nuevo suministro en el mismo emplazamiento a los efectos de constituirse como consumidor en el mismo, para lo que necesitará costear una nueva acometida independiente (ver Figura 3). En este caso el centro comercial no necesita constituirse como Gestor de Cargas ni cumplir con los requerimientos exigidos, ya que eso lo hará el Gestor de Cargas tercero.

Podría quedar la duda de si se requiere de un Gestor de Cargas para la prestación del servicio de recarga en edificios de viviendas, donde varios usuarios pudieran requerir de la recarga en diferentes plazas de aparcamiento compartiendo una misma infraestructura o incluso desde un único suministro perteneciente a la

comunidad de propietarios. Si bien la normativa no hace referencia expresa a este caso, la CNMC, en su Informe 25/2010 solicitado por la Secretaría de Estado de Energía sobre la Propuesta de Real Decreto por el que se regula la actividad de Gestor de Cargas, de septiembre de 2010, aclara que no es necesaria la figura del Gestor de Cargas en estos casos (1) ya que el propio suministro del garaje podría considerarse como un consumo cualquiera, suministrado a través de cualquier comercializador. Para ello la comunidad tendría que realizar la inversión en la infraestructura necesaria que permitiera la recarga de cada vehículo en sus plazas, de tal forma que posteriormente, fuera posible repartir el consumo del garaje entre los propietarios. Este reparto no debería considerarse una «reventa» sino una asignación de la factura de electricidad en función de una serie de parámetros diferentes a la cuota de propiedad.

DIFICULTADES, EVOLUCIÓN Y DESAPARICIÓN DE LA FIGURA DEL GESTOR DE CARGAS ↓

La normativa descrita no parecía inicialmente pensada para pequeños comercios, hoteles, restaurantes, hospitales, instituciones públicas o negocios de pequeños autónomos. Con el tiempo la práctica ha demostrado que los requerimientos exigidos para este tipo de establecimientos han resultado ser disuasorios.

Así por ejemplo, para un pequeño hotel con unas pocas plazas de aparcamiento disponibles para sus clientes, parece tener poco sentido la obligación de adscripción a un centro de control para poder participar en servicios de gestión activa de la demanda en el sistema eléctrico, máxime cuando ese tipo de mercados todavía no se ha desarrollado. También pueden resultar engorrosas otras obligaciones como la de informar al ministerio anualmente de la energía vendida para recarga, o modificar su objeto social.

En estos casos, en los que los usuarios de vehículo eléctrico son a su vez clientes del hotel o del centro comercial, ¿es necesario constituirse en Gestor de Cargas si el propietario del hotel decide «regalar» la energía de recarga a sus clientes, de la misma forma que hace con la recarga de móviles, tablets, ordenadores u otros dispositivos? Conviene no olvidar que el Gestor de Cargas es el único caso en el que se permite la «reventa» de energía eléctrica pero, ¿es reventa lo que se acaba de describir?

En otros casos, como el de los hospitales, instituciones públicas u otro tipo de actividades que no sean desarrolladas por sociedades mercantiles, directamente no es posible que se constituyan como Gestores de Cargas, ya que el primer requisito que establece la Ley del Sector Eléctrico al definir la figura del Gestor de Cargas es precisamente que sea una sociedad mercantil. Para estas situaciones, en caso de querer ofrecer el servicio de recarga en su emplazamiento, sólo queda la posibilidad de llegar a acuerdos con Gestores de Cargas terceros que deberían construir una segunda acometida, con el sobrecoste resultante.

Todas estas dificultades e incertidumbres han contribuido a que no se haya producido un gran desarrollo de infraestructuras de recarga en establecimientos y negocios de estas características, lo cual ha llevado al Regulador a plantearse determinadas medidas que pudieran resolver estas cuestiones:

- En noviembre de 2015 el Real Decreto 1074/2015, por el que se modifican distintas disposiciones en el sector eléctrico, limita la obligación de adscripción a un centro de control a aquellos puntos de recarga con potencia contratada superior a 5 MW en la península, y 0.5 MW en el caso de islas y territorios no peninsulares. Este ajuste prácticamente supone eliminar esta obligación.
- En noviembre de 2017 el Regulador sometió a procedimiento de información pública y de alegaciones un Proyecto de Real Decreto que modifica el RD 647/2011 de Gestor de Cargas.
 - Entre otras simplificaciones, el Proyecto eliminaba la obligación de que el objeto social mencione expresamente la capacidad de vender y comprar energía, limitaba la obligación de medir de forma diferenciada la energía vendida para recarga, y también permitía la contratación de un Gestor de Cargas Representante que pudiera hacerse cargo de la mayoría de obligaciones.
 - Sin embargo el Proyecto seguía sin dar respuesta a la problemática de entidades que no fueran sociedad mercantil, o a la obligación de construir una segunda acometida en el caso de Gestores de Cargas terceros.

Cuando se empezó a escribir este capítulo, todavía se esperaba la publicación de un Real Decreto que modificaría el RD 647/2011 de Gestor de Cargas y, mientras tanto, se venían produciendo diferentes iniciativas y propuestas, muchas de ellas en el contexto de la transición energética en la que nos encontramos, que iban desde la eliminación de la figura del Gestor de Cargas (2), hasta la consideración de algunos de los ajustes y mejoras que se han comentado, en concreto, la no consideración como reventa de la energía recargada cuando no hay contraprestación económica, o la posibilidad de contemplar nuevos suministros conectados en redes interiores de consumidores ya existentes al objeto de evitar el sobre coste de segundas acometidas.

Finalmente, el Consejo de Ministros de 5 de octubre de 2018 aprobó el Real Decreto-ley 15/2018 de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. Entre otras medidas, este RDL deroga el RD 647/2011 de Gestor de Cargas y elimina así dicha figura. Adicionalmente modifica la Ley 24/2014 del Sector Eléctrico para permitir que los servicios de recarga puedan ser prestados por cualquier consumidor de energía eléctrica, directamente o a través de un tercero, de forma gratuita u onerosa, siempre y cuando cumpla unos requisitos que se establecerán regla-

mentariamente y que, dada la experiencia, se espera que sean mínimos. A partir de ahora nos referiremos a estos consumidores que ofrecen los servicios de recarga a terceros usuarios de vehículo eléctrico como Operadores de Recarga. Con esta medida, sin duda, se resuelve gran parte de las dificultades comentadas en los párrafos precedentes.

DESPLIEGUE DE INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA. TIPOS Y EVOLUCIÓN ↓

Aunque podrían darse diferentes clasificaciones, a efectos del análisis que aquí se pretende, conviene distinguir entre dos tipos de recarga, la pública y la privada:

- La recarga pública es la que se realizaría en centros comerciales, estacionamientos públicos, vía pública, autopistas, etc., donde el usuario final no es el propietario de la instalación, donde por tanto se requiere del acceso de terceros a esas instalaciones, donde generalmente se requiere de una contraprestación económica por la recarga y donde, por tanto, existe prestación del servicio de recarga a terceros usuarios de vehículo eléctrico.
- La recarga privada es la que se realizaría en el domicilio, en el lugar de trabajo (3), por ejemplo, donde el usuario final es el mismo propietario de la instalación, donde el acceso a la recarga es privado, y donde, por tanto, no es necesario que exista una prestación de servicios de recarga ni que el titular de la instalación deba cumplir los requisitos que se acaben exigiendo a los consumidores que prestan estos servicios. A este tipo de instalación se le ha venido en denominar también infraestructura vinculada, por venir asociada a la adquisición del vehículo eléctrico y estar situada en el aparcamiento del propietario del mismo.

En el marco regulatorio español el despliegue de infraestructuras de recarga privada correría a cargo de los propios usuarios, mientras que el desarrollo de las infraestructuras de recarga pública correspondería a Operadores de Recarga, generalmente empresas o autónomos, que siendo consumidores de energía eléctrica cumplan determinados requisitos reglamentarios para prestar los servicios de recarga. Es por tanto de la iniciativa privada de la que depende el que se dediquen recursos al desarrollo de infraestructuras de recarga.

Ambos tipos de instalaciones de recarga son necesarios. Por una parte, parece evidente que en la medida que disponga de una plaza de aparcamiento, en propiedad o arrendada, cualquier usuario va a necesitar de un punto de recarga en la misma para la recarga de su vehículo en los periodos de estacionamiento de larga duración. Por otra parte, con relación a la recarga pública, conviene repasar algunas de las conclusiones a las que llega el ya comentado informe

de Monitor Deloitte después de haber analizado aportaciones y opiniones de diferentes expertos del sector:

- «La infraestructura de acceso público (vía pública y electrolineras) es imprescindible para garantizar el despliegue masivo del vehículo eléctrico. Permite a los usuarios que aparcen en la vía pública asegurar la recarga de sus vehículos eléctricos para sus trayectos diarios y, además, posibilita la recarga de ocasión o emergencia para todos los propietarios de coche eléctrico».
- «En España, entre un 30 y un 35% de las plazas de aparcamiento... se localizan en vivienda del usuario o parkings privados. En otros países de la UE, como en Francia, este porcentaje es superior al 50%».
- Necesaria «para disminuir el efecto denominado 'range anxiety', que produce en los conductores de vehículo eléctrico la preocupación o incertidumbre de quedarse sin batería en un lugar lejano a una estación de recarga».

Por desgracia, pasado el tiempo, se ha podido comprobar que las expectativas y objetivos planteados en 2008-09 no se han cumplido como era deseable. Efectivamente:

- Según conclusiones extraídas del Informe Especial «Previsiones en el Mercado de Automóviles Eléctricos» del Observatorio Sectorial DBK, el parque de automóviles eléctricos a finales de 2017 en España rondaba las 23,000 unidades, previéndose del orden de 115,000 unidades para el año 2020, cifras estas muy lejanas a las 250,000 unidades previstas para 2014 en el documento «Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico en España» de 2010.
- De la misma forma, aunque este mismo documento se planteaba un objetivo para el año 2014 de 62,000 puntos de recarga en domicilios particulares, 263,000 puntos en aparcamientos de flotas, 12,150 en aparcamientos públicos, 6,200 en vías públicas y 160 estaciones de recarga rápida, en su informe sobre el Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el RD 647/2011 de gestor de Cargas, de marzo 2018, la CNMC reconoce que sólo dispone en sus registros de 54 gestores de cargas habilitados en toda España, con 251 puntos de recarga a febrero de 2018. En ese mismo informe la CNMC hace referencia al documento de Marco de Acción Nacional(4), en el que se indica que en 2016 existían aproximadamente 4,500 puntos de recarga distribuidos por 1,650 localizaciones de toda España, lo cual induce a la CNMC a concluir que hay un gran número de puntos de recarga gratuitos asociados al sector terciario no dados de alta como gestores de cargas.

Evidentemente la razón de que no se hayan cumplido los objetivos iniciales no está en la figura ya eliminada del Gestor de Cargas. Más bien al contrario, el hecho de que no haya habido un crecimiento del parque

de coches eléctricos como el que se pensaba en un principio ha dificultado, entre otras cosas, el desarrollo de la actividad de servicio de recarga y sus posibles modelos de negocio.

INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA PÚBLICA. BARRERAS Y PROPUESTAS ↓

Ya se ha mencionado cómo todos los requerimientos exigidos para poder habilitarse como Gestor de Cargas, junto con algunas incertidumbres relacionadas con los ajustes o evolución esperada de la normativa relativa a esta figura, han contribuido hasta ahora a que no se haya producido un gran desarrollo de infraestructuras de recarga en establecimientos y negocios del sector servicios. Sin embargo, conviene también analizar las razones que hasta el momento parecen haber dificultado el desarrollo de puntos de recarga en la vía pública o «electrolineras».

Nos referimos en este caso a estaciones de recarga localizadas en calles, carreteras o autopistas, para las que se requiere de un Operador de Recarga, hasta hace muy poco el Gestor de Cargas, cuya actividad principal en ese emplazamiento es ofrecer el servicio de recarga a terceros, y que generalmente van a ser de recarga semi-rápida (calles) o rápida y súper-rápida (algunas calles, carreteras y autopistas). En estos casos, donde en general no hay una infraestructura eléctrica previa, el Operador de Recarga debe seguir los pasos que se indica a continuación para poner en marcha una estación de recarga. Se va a suponer, a modo de ejemplo, una estación de recarga rápida de una potencia $P=50$ kW:

1. Solicitar un nuevo suministro a la empresa de distribución eléctrica de la zona por una potencia de $P=50$ kW, para lo cual es de aplicación la normativa relacionada con el régimen de acometidas, de la misma forma que se aplicaría a cualquier otro tipo de consumo. Según el marco regulatorio vigente actualmente en España, caben dos posibilidades
 - a. Ubicación de la estación de recarga en suelo urbanizado: en este caso, al tratarse de un nuevo suministro en baja tensión, en zona urbana consolidada, y con potencia igual o inferior a 100 kW, la infraestructura de distribución que sea necesario realizar correrá a cuenta de la empresa de distribución (5). El Operador de Recarga, además del poste de recarga de su propiedad, debe compensar a la empresa de distribución con el pago de un baremo de extensión equivalente a 17 €/kW, esto es, 850 € en este caso particular.
 - b. Ubicación de la estación de recarga en suelo no-urbanizado: en este caso, no existiendo una dotación de infraestructura eléctrica adecuada en la zona, le corresponde al Operador de Recarga costear toda la infraestructura eléctrica necesaria para conectarse a la red

de distribución ya existente. Según datos del ya mencionado estudio de Monitor Deloitte, el coste de esta infraestructura, sin contar con el poste de recarga, puede rondar los 80,000 - 100,000 €, dependiendo de la distancia a la red de distribución existente, el margen de capacidad de ésta, si la instalación debe ser aérea o subterránea, etc.

2. Una vez construida y legalizada la infraestructura necesaria, ya sea por parte de la distribuidora o por parte del Gestor de Cargas, este último deberá contratar una tarifa de acceso a la red y el suministro de energía eléctrica. A partir de este momento, habiéndose habilitado como Gestor de Cargas, puede empezar a ofrecer el servicio de recarga a los usuarios de vehículo eléctrico que lo demanden.

Con la estructura tarifaria actual, independientemente del número de vehículos que requieran del servicio de recarga, el Operador de Recarga va a tener que asumir del orden de 4,280 €/año por el término de potencia de la tarifa de acceso (ejemplo de P=50kW). Este coste, sumado al de la infraestructura que se ha explicado, más otros costes fijos por seguros, alquiler de suelo, etc., hacen que se necesite realizar más de 13 recargas al día (6) para poder rentabilizar mínimamente la estación de recarga.

La conclusión es clara: siendo una actividad de libre iniciativa y no habiendo una masa crítica suficientemente importante de coches eléctricos circulando, la construcción y explotación de electrolinerías no resulta rentable aunque, como se ha visto, es totalmente necesaria.

Es por ello que en la actualidad se vienen barajando diferentes propuestas de ajuste normativo que pueden reducir las barreras existentes para el desarrollo de las infraestructuras de recarga en la vía pública:

- Reducción de los costes de la infraestructura. Dado el marco regulatorio de partida, se plantean dos iniciativas complementarias y que deben ir en el orden que se expone a continuación:
 1. Asimilar el régimen de acometidas que se aplica a los Operador de Recarga para la recarga en vía pública al correspondiente al de los nuevos suministros en suelo urbanizado. De esta forma todos los puntos de recarga en vía pública, independientemente de su localización, deberían asumir el coste del baremo de extensión, tal y como se ha explicado en puntos anteriores. Siguiendo con el ejemplo de la estación de recarga rápida de potencia P= 50 kW, el coste de infraestructura para el Operador de Recarga sería siempre de 850 €, sin incluir el poste de recarga, aunque la estación de recarga se ubique en una zona alejada de cualquier población pero al lado de una autovía.

2. Para las infraestructuras de recarga en la vía pública que hayan sido planificadas por las administraciones por considerarlas indispensables para garantizar la movilidad eléctrica en las principales vías de comunicación del país, pero que a pesar de aplicar la propuesta anterior y después de un procedimiento de concurrencia no resulten del interés de los Operador de Recarga, esto es, que no alcancen unos mínimos de rentabilidad con el parque actual de vehículos eléctricos, se propone que las administraciones puedan requerir su desarrollo a los distribuidores de la zona. En estos casos el Operador de Recarga sólo debería asumir el coste del poste de recarga. Hay que decir que, en fechas muy recientes, una iniciativa similar ha sido recogida en el ya mencionado Real Decreto-ley 15/2018 de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. Efectivamente, este RDL prevé que las distribuidoras podrán ser titulares de último recurso de infraestructuras para recarga de vehículos eléctricos si tras un procedimiento de concurrencia no hay interés privado en desarrollar esas infraestructuras (7).

- Variabilizar el término de potencia de las tarifas de acceso que existen en la actualidad. Para ello, sin necesidad de modificar sustancialmente el marco regulatorio actual, bastaría con incluir la recarga en la vía pública dentro de los supuestos que en la normativa española conducen a la modalidad de «contratación eventual». Esta modalidad, prevista para usos en periodos de menos de doce meses y con un fin concreto, transitorio y esporádico, tales como los provisionales de obra, ferias, etc., supondría que el Operador de Recarga sólo pagaría el término de potencia de la tarifa de acceso por las horas en las que se estuviera prestando el servicio de recarga a algún usuario de vehículo eléctrico, aunque con un recargo según lo previsto en la normativa. En el caso del ejemplo del punto de recarga rápida de potencia P= 50 kW, el coste por el término de potencia de la tarifa de acceso pasaría de 11,7 €/día (del orden de 4,280 €/año), haya o no haya coches eléctricos recargando, a 0.6 €/recarga (8).

No cabe duda que otro esquema tarifario, más ajustado a los nuevos requerimientos impuestos por la llegada de recursos distribuidos tales como la generación dispersa renovable, la flexibilidad de la demanda, etc., que contemple unas tarifas dinámicas basadas en la información horaria aportada por los contadores inteligentes recientemente implantados, resolvería buena parte del problema que se ha descrito.

INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA PRIVADA. BARRERAS Y PROPUESTAS

Como ya se ha mencionado, en viviendas no era necesaria la figura del Gestor de Cargas para ofrecer el servicio. Es el usuario final el titular del punto de recarga

TABLA 2
EJEMPLO DE INFRAESTRUCTURA DE RECARGA DE UN CENTRO COMERCIAL QUE SE HABILITA COMO GESTOR DE CARGAS

Nº Viv.	Garajes con Recarga	SPL	Pot. Prev. Viviendas (kW)	FS viv	Pot. Prev. Garajes (kW)	FS _{tot}	Pot. Prev. Total (kW)	%
40	0	--	142,6	0,62	--	--	142,60	0%
40	4	No	142,6	0,62	14,72	1,00	157,32	10%
40	4	Sí	142,6	0,62	4,41	0,30	147,01	3%
40	20	No	142,6	0,62	73,60	1,00	216,20	52%
40	20	Sí	142,6	0,62	22,08	0,30	164,68	16%

Fuente: elaboración propia

en su domicilio o en su plaza de aparcamiento, ya sea de manera individual o a través de la comunidad de propietarios en el caso de un inmueble de varias viviendas.

Lo relevante en este caso es la normativa técnica que determina el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas interiores en viviendas, así como el dimensionamiento de la acometida que se conecta a la red de distribución. Esta normativa se concreta en las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) incluidas en el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. En concreto, las normas que más tienen que ver con la recarga privada son la ITC-BT-52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», y la ITC-BT-10 «Previsión de cargas para suministros en baja tensión», ambas publicadas o revisadas en diciembre de 2014:

- La ITC-BT-52 establece las dotaciones mínimas obligatorias para la recarga de vehículos eléctricos en edificios y estacionamientos de nueva construcción. Aunque, entre otras cosas, esta ITC define múltiples configuraciones o esquemas posibles de infraestructuras de recarga dentro de edificios de viviendas, probablemente resulta poco ambiciosa al prever canalizaciones (9) sólo para el 15% de plazas de aparcamiento, cuando lo que finalmente ha establecido la Directiva (UE) 2018/44 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, en mayo de 2018, es la obligación de prever canalizaciones para el 100% de plazas, si el edificio tiene más de 10 plazas de garaje.
- Por su parte la ITC-BT-10 complementa a la anterior instrucción técnica estableciendo las previsiones de carga que hay que tener en cuenta para dimensionar las instalaciones eléctricas de los edificios. En concreto, para el caso de edificios de viviendas, esta ITC prevé:

- Puntos de recarga de 3.68 kW, es decir, recarga normal para los períodos habituales de estacionamiento en domicilio.
- Previsión de cargas suponiendo un mínimo del 10% de plazas de aparcamiento construidas.
- Aplicación de un factor de simultaneidad (FS) en función de si se instala o no un dispositivo denominado Sistema de Protección de la Línea general de alimentación o acometida del edificio (SPL), que no es más que un racionalizador que permite diferir o modular la alimentación de las estaciones de recarga del inmueble en el caso de que el consumo total del edificio se aproxime al límite de la acometida general del mismo, evitando de esta forma un cero total del edificio:
 - Si se instala SPL, se considera un FS=0.3 para el conjunto de puntos de recarga.
 - Si no se instala SPL, se considera un FS=1.0 para el conjunto de puntos de recarga.
- La ITC-BT-10 sólo prevé la instalación del SPL en uno de los esquemas considerados en la ITC-BT-52 y además de forma voluntaria, no obligatoria.

Con todo, además de que la norma técnica española es poco ambiciosa y se queda muy lejos de los objetivos a los que ya está apuntando la regulación europea, lleva a un sobredimensionamiento innecesario de las instalaciones eléctricas que resulta un coste excesivo para los promotores y constructores de nuevos edificios de viviendas, y que supone una barrera para el despliegue de infraestructuras de recarga privada. Para ilustrar lo anterior, lo mejor es un ejemplo:

- Tomamos como ejemplo un nuevo edificio de 40 viviendas de 5.75 kW cada una.
- Se suponen diferentes grados de electrificación de plazas de aparcamiento: 0, 4 y 20 garajes, siendo 4 el mínimo que resultaría obligatorio.

- Según al mencionado Reglamento de Baja Tensión, y en concreto la ITC-BT-10, la carga a prever para el dimensionado de las instalaciones al considerar 40 viviendas resulta:

$$FS_{40vv} = 0.62 \text{ según ITC-BT-10}$$

$$40 \times 5.75 \text{ kW} \times FS_{40vv} = 142.6 \text{ kW}$$

- En la tabla 2 se muestran las potencias adicionales a tener en cuenta debido a la electrificación de garajes, con y sin dispositivo SPL. Se observa como en el caso de electrificar la mitad de las plazas de garaje la carga total a tener en cuenta para dimensionar las instalaciones es de 216.20 kW sin SPL y de 164.68 con SPL, esto es un 52% y un 16% más de potencia que en el caso de no considerar ningún punto de recarga, respectivamente.

Este ejemplo pone de manifiesto que para la mayoría de los esquemas previstos, sin SPL, las infraestructuras de recarga en edificios van a ser dimensionadas «como si nunca fuera a haber ningún tipo de recarga inteligente (FS=1)», lo cual supone hacer incurrir a promotores y constructores en unos sobrecostes no-útiles que suponen una barrera de entrada para los mismos ya que, como es obvio, van a ser más reticentes a construir edificios con un alto grado de garajes preparados para la recarga. En el ejemplo planteado, suponiendo para simplificar que el coste a partir de un cierto rango de variación de la potencia prevista es lineal con la misma, la no consideración del SPL, el rechazar cualquier tipo de inteligencia en la recarga, supone un sobrecoste tres veces mayor para el promotor (52/16), y ello sin tener ninguna seguridad de que vayan a venderse las viviendas y, muchos menos, que los compradores o titulares de las mismas vayan a optar por adquirir un coche eléctrico y hacer uso de las infraestructuras de recarga privada del edificio.

Por tanto, no es extraño que desde algunas instituciones, grupos de empresas y asociaciones, entre las que cabe señalar a las propias asociaciones de promotores inmobiliarios, se propongan determinadas soluciones para reducir esta barrera. Una de esas propuestas apunta a que se permita realizar previsiones de cargas en todos los casos, en todos los esquemas (11), como si se fuera a instalar el dispositivo SPL, con el consiguiente ahorro de costes, y comprometiendo su instalación a partir del momento en que el número de usuarios efectivo de vehículos eléctricos en el edificio empiece a superar un umbral determinado.

CONCLUSIONES

Visto todo lo anterior, se pueden extraer algunas conclusiones:

- Si no se toman medidas adicionales para el impulso de la movilidad eléctrica va a ser muy difícil que España pueda alcanzar los objetivos de sostenibilidad y medioambientales a los que se han comprometido.

- Debe haber un incremento sustancial y sostenido en el tiempo de las ayudas a la adquisición de vehículos eléctricos. Esta medida, junto el aparcamiento gratuito en zonas reguladas, las restricciones al tráfico de vehículos contaminantes en el centro de las ciudades o la reducción de peajes en autopistas, son las que han demostrado mayor efectividad en otros países de nuestro entorno.

- Para asegurar que la introducción de la movilidad eléctrica tenga sentido y sea acorde a los objetivos medioambientales y de eficiencia, es necesario que el coche eléctrico se integre de forma adecuada en el sector eléctrico. Para ello se requiere promover la recarga inteligente preferiblemente en horas valle, con generación renovable, y aprovechado al máximo los márgenes de capacidad disponible de las infraestructuras energéticas ya existentes, tanto de capacidad instalada de generación como de redes de transporte y distribución.

- La figura del Gestor de Cargas nació en un momento en el que existía la expectativa de que en pocos años se iba a producir una fuerte entrada del vehículo eléctrico. Pasado el tiempo, y siendo aún limitado el crecimiento del parque de coches eléctricos, se ha eliminado esta figura y se abre la posibilidad de que cualquier consumidor pueda prestar los servicios de recarga, ya sea de forma gratuita u onerosa, siempre que cumpla determinados requerimientos que aún están pendientes de desarrollo. Sin duda esta medida resuelve gran parte de las dificultades habidas hasta el momento para el desarrollo del servicio de recarga.

- Se ha comprobado cómo, además de lo indicado en el punto anterior, existen barreras importantes en el marco regulatorio actual en España para el desarrollo de infraestructuras de recarga en la vía pública, siendo éstas imprescindibles para el desarrollo de la movilidad eléctrica. Se han planteado aquí dos ajustes normativos sencillos pero que pueden contribuir enormemente a reducir los costes fijos con los que se encuentra un Operador de Recarga en este tipo de instalaciones: reducir los costes de las infraestructuras eléctricas que debe costear el Operador de Recarga, y variabilizar el término de potencia de las tarifas de acceso incluyendo la recarga en vía pública dentro de los supuestos de «contratación eventual».

- Con relación a las infraestructuras de recarga privada, se ha comentado la conveniencia de permitir una flexibilización de la normativa técnica, en concreto de la ITC-BT-10 sobre previsión de cargas, para evitar que los promotores de nuevas viviendas se vean obligados a dimensionar sus instalaciones como si nunca fuera a existir ningún tipo de inteligencia en la recarga.

Finalmente, conviene no olvidar que nos encontramos ante una gran transformación del sector eléctrico, del que la movilidad eléctrica forma parte, donde

también hay que integrar nuevos recursos distribuidos tales como la generación dispersa renovable, la flexibilidad de la demanda y el almacenamiento, y donde es necesario que los ajustes que se vayan produciendo en el marco regulatorio se acompañen adecuadamente. Un elemento central de ese ajuste sin duda tiene que ser un nuevo esquema tarifario que contemple unas tarifas dinámicas basadas en la información horaria aportada por los contadores inteligentes que, a diferencia de lo que ocurre en la actualidad, permita trasladar a los agentes señales de precio muy bajas cuando exista margen de capacidad en las infraestructuras, y señales de precio altas cuando dichas infraestructuras se encuentren saturadas.

NOTAS

- [1] Que no sea obligatoria no implica que esté prohibida: un Gestor de Cargas también podría libremente ofrecer el servicio a la comunidad de propietarios.
- [2] Sin duda uno de los aspectos que condiciona más la actual regulación en España es la estructura de peajes y cargos con los que se recaudan los costes fijos del sistema, algunos correspondientes a las redes de transporte y distribución (peajes) y otros relativos a otros costes políticos incluidos en la factura eléctrica (primas a las renovables, entre otros). Aparte de las funciones de optimización de costes y eficiencia que se atribuirían al Gestor de Cargas, probablemente uno de los aspectos que hacía necesaria esta figura en el marco regulatorio actual era la posibilidad de acotar la única excepción en la que se admitía la reventa de energía eléctrica.
- [3] Se entiende que un empleado formaría parte de la empresa, que es la titular de la infraestructura de recarga, para su propio uso.
- [4] El Marco de Acción Nacional de Energías Alternativas en el Sector del Transporte fue elaborado por una comisión interministerial en 2016, coordinado por la Secretaría General de Industria y PYME, y contó con la participación de diferentes administraciones nacionales y autonómicas, diversas entidades, asociaciones y organismos relacionados con el transporte. Su objetivo era establecer unos objetivos en este ámbito y establecer las actuaciones que pudieran ayudar a alcanzarlos, dando cumplimiento así a la Directiva 2014/94/UE relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos.
- [5] Los costes incurridos por las empresas de distribución, al ser actividad regulada, siempre y cuando sean costes eficientes, acaban siendo socializados y repercutidos al conjunto de consumidores de energía eléctrica a través de los peajes de acceso.
- [6] Suponiendo un precio de referencia de 5 € / recarga sin IVA usado como referencia en el demostrador ZEM2ALL
- [7] El RDL prevé también que, si pasado el tiempo esta actividad pudiera llegar a ser de interés privado, el Gobierno podrá regular procedimientos para la transmisión de estas instalaciones por las distribuidoras a otros titulares, con compensación.

- [8] Suponiendo una recarga media de 25 minutos, y un recargo del 145% según propuesta de la CNMC en Circular 3/2014 por la que se establece la metodología para el cálculo de los peajes de transporte y distribución.
- [9] Canalizaciones para albergar cables eléctricos destinados a la alimentación de los puntos de recarga en plazas de estacionamiento.
- [10] El FS tiene en cuenta la probabilidad de que las demandas máximas de varios suministros coincidan en el mismo instante de tiempo. En consumo residencial, con los hábitos de consumo normales hasta la fecha, esta probabilidad es función del número de viviendas y viene representada en forma de tabla en la propia ITC-BT-10. Probablemente esta función pierda su aplicabilidad en la medida en que aparezcan utilizaciones domésticas muy diferentes a las actuales, esto es, el propio vehículo eléctrico, el autoconsumo, etc.
- [11] El SPL se define en la Norma UNE 0048 como un sistema formado por un medidor de corriente en la acometida general del edificio, diversos elementos de actuación sobre las estaciones de recarga, y un procesador que permite trasladar órdenes a las estaciones de recarga de diferimiento de carga, modulación, etc. según una lógica programable en cada caso, y a través de unos cables de comunicación o por otros medios inalámbricos. Con estas características, el SPL puede ser aplicable a cualquiera de los esquemas definidos en la ITC-BT-52, aunque sólo se ha previsto en uno de ellos, y de forma optativa.

REFERENCIAS

- RETOS Y OPORTUNIDADES EN LAS CIUDADES ANTE LA DIRECTIVA 2014/94 DE IMPLANTACIÓN DE UNA INFRAESTRUCTURA DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS Madrid, 25 de febrero de 2015 Isabel del Olmo Jefe Dpto de Transporte IDAE Organizado por Agencia de la Energía de la Ciudad de Madrid. <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspInf/Energia/CC/06Divulgaci%C3%B3n/6eEventos/2015JornGenera/Ficheros/01IDAE.pdf>
- Uso de los VE y la infraestructura <https://www.diaariosur.es/malaga-capital/201601/29/alcalde-anuncia-proyecto-coche-20160129115717.html>
- Conclusiones del ZEM2ALL: <https://endesavehiculoelectrico.com/descubre-la-malaga-zero-emisiones-el-embrion-del-futuro-electrico/>
- Conclusiones ZEM2ALL: <https://movilidadelectronica.com/finaliza-el-proyecto-zem2all/>

CONDUCTA EMPRESARIAL ANTE EL DECLIVE DE LA DEMANDA. LA EXPERIENCIA DE LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS DE ALIMENTACIÓN Y BEBIDAS

MARÍA ÁNGELES MONTORO SÁNCHEZ

Universidad Complutense de Madrid

CARIDAD MAYLÍN AGUILAR

Universidad Francisco de Vitoria

Todas las grandes industrias fueron, una vez, industrias en crecimiento. Pero algunos de los que cabalgaron entusiastas sobre la ola del crecimiento se encuentran ahora en la sombra del declive (Levitt, 1960). En este trabajo revisamos, a través de las actividades de empresas españolas de la industria de alimentación y bebidas, el comportamiento estratégico cuando la demanda se estanca o declina, en un contexto económico especialmente delicado,

como es el periodo posterior al *shock* de 2008. Revisitar el comportamiento en el declive es relevante ante un panorama general de estancamiento en las economías avanzadas (IMF-WEO, 2018). Además, aunque la investigación previa ha puesto de manifiesto la existencia de un número creciente de industrias en situación de declive en las economías occidentales, la gestión de esta fase del ciclo de vida ha sido escasamente tratada en la literatura de economía de la empresa desde que Harrigan (1980), Porter (1980), Harrigan y Porter (1983) sentaron los principios de diagnóstico y comportamiento, en un modelo que permanece, sin grandes modificaciones, en los manuales de referencia de estrategia empresarial en las últimas décadas.

Desde la perspectiva del empresario y directivo, el declive es un momento singular del ciclo de vida, pues las compañías han de decidir si permanecer o salir del negocio en apuros (Harrigan, 1980). La reducción del crecimiento de la demanda supone para la empresa, y para el tejido económico, una situación compleja de más difícil gestión pues la falta de prodigalidad del

entorno reduce las alternativas. En ocasiones, la salida supone la muerte de la empresa, por lo que podemos entender que no es una decisión fácil, y, en cualquier caso, no resulta cómoda para sus gestores (Baden-Fuller, 1989).

Tras la crisis financiera de 2007 y su corolario en consumo de 2008, la pérdida de crecimiento en producción industrial y en empleo (Dunn, 2012) coincide con la falta de financiación pública y privada y con la ausencia de renovación provocada por el abandono de políticas activas de innovación o productividad. Las empresas se encuentran sin recursos para afrontar la necesidad de cambiar o desaparecer, en un escenario en el que las brumas de la recesión cubren el espacio económico (Bloom, 2014:153). A pesar de la recuperación de los indicadores macroeconómicos en las economías occidentales, consumo privado y empleo han sido más lentos en la recuperación (Christensen y van Bever, 2014). En España el producto interior bruto (PIB) recupera en 2016 la magnitud en valor de 2008 (1.118,5 millones de euros) y en volumen (Contabilidad Nacional, tabla pib95-16, Instituto Nacional de Estadística – INE). El cre-

cimiento de 2017 (datos trimestrales 3T2017, INE) y las previsiones revisadas del Fondo Monetario Internacional (IMF 2018), señalan que la tasa de crecimiento de España en 2017 (3,1%) ha estado desde el tercer trimestre de 2016 por encima del 3%, en línea con la economía mundial (3,7%) y por encima de las economías avanzadas (2,3%).

Ahora bien, la recuperación no está consolidada: el IMF *Country Report* 17/24 (2017) advierte de la pervivencia de factores de riesgo en la estructura empresarial (tamaño, escasa productividad y desequilibrio en la asignación de recursos) que pueden lastrar el crecimiento (de hecho, la previsión 2018: +2,4%, es inferior en punto y medio a la prevista para la economía mundial: +3,9%; IMF 2018). La evolución del consumo de las familias muestra los motivos para esta reserva hacia la solidez de la vuelta al crecimiento. El consumo se ha situado hasta 2017 en un escenario negativo, entre otras cosas porque el empleo no se recupera. El número de ocupados muestra diferencia negativa con la cifra de empleos previa a la crisis (18.998,4 en el cuarto trimestre de 2017 frente a 20.055 en 2008, cifras en miles; INE). Respecto a la actividad industrial, el índice de producción industrial (IPI – INE) muestra una reducción dramática en la producción de bienes de consumo duradero (2017, noviembre, 98,2; 2007: 127,3 y 2008: 118,3; 2010 base 100); si bien los bienes de consumo no duradero comienzan a acercarse al nivel de 2010, la suma de ambos en el índice de bienes de consumo está aún muy por debajo de los niveles anteriores.

Por tanto, la revisión del escenario económico en estos diez últimos años nos lleva a concluir que, desde el prisma de la empresa, un *shock* económico global como el vívido desestabiliza el entorno institucional y modifica de forma importante las reglas del juego, formales e informales, de los participantes en el mercado. En este contexto, las asimetrías entre participantes aumentan (Bloom, 2014) y el peso del efecto industria en la explicación del resultado empresarial se incrementa (Karniouchina, Carson, Short y Ketchen, 2013). La pervivencia de los efectos del *shock* de 2008 en el consumo de las familias y, en consecuencia, en la actividad de las empresas españolas aumenta la relevancia del diagnóstico del entorno competitivo, tanto desde la demanda, como desde la estructura de la industria. Anticipar los rasgos de la industria y prever la posible evolución de la demanda puede contribuir a clarificar un escenario, cuanto menos, incierto.

En este trabajo exponemos los principales resultados de un extenso estudio en el ámbito de la industria de alimentación y bebidas, en el mercado doméstico español. Los objetivos del mismo han consistido en desvelar, en primer lugar, la existencia de negocios en fase de declive en una industria aparentemente estable y anticíclica, ratificando la vigencia de los indicadores académicos del modelo del ciclo de vida y del análisis estructural. Y en segundo lugar, establecer los modelos de comportamiento propuestos por la investigación académica y su comparación con la conducta estratégica implantada. La comparación muestra diferencia entre

la conducta prescrita y la realmente implantada. Tanto la investigación como la posterior discusión y enriquecimiento de conclusiones han contado con el apoyo de empresarios y expertos de la Federación de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB). Con este esfuerzo común avanzamos en el conocimiento del comportamiento ante el declive en el tejido industrial español, campo de escasas, aunque notables, aportaciones (Otero y Varela, 2008; Ruiz Navarro, 1998).

LA FASE DE DECLIVE EN EL MODELO DEL CICLO DE VIDA DE LA INDUSTRIA ↓

El modelo del ciclo de vida de la industria (CVI) incorpora el dinamismo del entorno al análisis del comportamiento y el resultado de las empresas que compiten en una determinada industria (Miles, Snow y Sharfman, 1993). La investigación académica identifica los primeros trabajos del ciclo de vida de la industria como el lado de la oferta del modelo de ciclo de vida del producto propuesto por la literatura de marketing (Levitt, 1965). Desde su primitiva formulación, la existencia de un patrón de evolución del negocio desde su nacimiento hasta su eventual madurez y muerte, ha sido contestada por la realidad de negocios e industrias que contradicen este determinismo fatalista y establecen la singularidad de cada negocio (Henderson, 1995).

El modelo inicial, que considera los cambios en la industria consecuencia de la evolución del producto y de los cambios en usos y actitudes del consumidor, se enriquece con la incorporación de la visión del impacto de la tecnología en la evolución de la industria (Klepper, 1997) y, más adelante, del efecto de la innovación disruptiva (Christensen y Raynor, 2003). Estas aportaciones iniciales forman una base teórica sólida y en continua evolución, sobre la que revisar el concepto de diseño dominante (Argyres, Bigelow y Nickerson, 2015) o aprender de la idea de «producto aumentado» de Levitt (1965) y proponer nuevas arquitecturas (Henderson y Clark, 1990) de productos y servicios, que se ajusten en mayor medida a la nueva demanda del cliente (Cusumano, Kahl y Suarez, 2015). De igual modo, la investigación empírica encuentra en las fases del CVI una fuente de explicación adicional de los resultados de empresas e industria (Karniouchina *et al.*, 2013).

La literatura identifica fases para explicar la evolución y propuestas de comportamiento que ayuden a los directivos a adaptarse y ajustar la conducta estratégica al entorno (Porter, 1991). Las características clave del atractivo de la industria, crecimiento y rentabilidad promedio del sector, están asociadas a la fase del ciclo de vida (Miles *et al.*, 1993). Los cambios en estas dos dimensiones influyen en el comportamiento de las empresas, afectando a la rivalidad y a la incertidumbre en la toma de decisiones (Harrigan y Porter, 1983). La fase de madurez se caracteriza por un descenso de precios, bien por la intensa competencia entre un número de firmas que se reduce (Klepper, 1997), bien por la caída del mercado (Cusumano *et al.*, 2015). El tránsito de madurez a declive responde a un estadio de «saturación»: el producto se convierte en un *commodity*, la deman-

FIGURA 1
MODELO DE COMPORTAMIENTO ESTRATÉGICO DE HARRIGAN Y PORTER

	La empresa posee fortaleza competitiva relativa al resto	La empresa está en debilidad competitiva relativa al resto
Estructura de la industria favorable para el declive	Permanecer por «Liderazgo» o «Nicho»	Salir tras «Cosecha» o «Desinversión rápida»
Estructura de la industria desfavorable para el declive	Permanecer por «Nicho» o Salir tras «Cosecha»	Salir por «Desinversión rápida»

Fuente: Harrigan y Porter (1983:117)

da se reduce prácticamente a reposición y la competencia se hace más hostil, apareciendo las guerras de precios al aumentar la elasticidad de la demanda al precio y perderse la lealtad del cliente (Harrigan, 1980).

Pese a que el declive aparece como el final del ciclo, con su corolario de pérdida de rentabilidad y mortandad empresarial, la evidencia empírica muestra que ciertas industrias experimentan una quinta (repunte) y sexta fase (renovación o declive) tras la madurez. Porter (1980) señala la difusión del conocimiento protegido (caducidad de patentes) como una de las causas del declive del atractivo de una industria, mientras que la creación y adquisición de nuevas patentes inicia un ciclo de renovación. Además de la innovación tecnológica, el repunte puede responder a la capacidad de «reinventar» el uso del producto (Levitt, 1960). Henderson (1995) distingue en el periodo de madurez dos situaciones: madurez innovadora (caso en el que las empresas aciertan a promover estos nuevos usos) o madurez de crecimiento (caso en el que gracias a la continua adquisición de nuevos usuarios las ventas crecen al ritmo de la población).

En este continuo de estadios intermedios entre madurez y declive, las innovaciones incrementales en el producto y su uso sostienen a la industria, sin crecimiento, pero con unos niveles absolutos de facturación y rentabilidad que justifican la permanencia. Este periodo se califica como «*long tail*» (Klepper, 1997); «*dematurity*» (Fujimoto, 2014:10); demanda estancada o petrificada («*petrified demand*» Harrigan, 1980). Si la industria no es capaz de proponer esta renovación incremental, deja de ser atractiva para su cliente y la demanda cae, provocando la aparición de la fase de declive. Mantener la rentabilidad implica mejorar la eficiencia, al reducirse los volúmenes de ventas y de producción. La competencia se agudiza y los competidores menos eficientes abandonan (McGahan, 2004). Los competidores dominantes invaden los nichos anteriormente poblados por especialistas locales (Cameron y Zammuto, 1983) y el equilibrio propio del reparto de recursos desaparece.

La fase de declive no es una etapa más del ciclo de vida, sino un momento en el que las condiciones competitivas cambian de modo tal, que las conductas recomendadas hasta el momento deben revisarse en profundidad. A esto hay que añadir que se ha trabaja-

do poco sobre las opciones estratégicas para esta fase (Parker y Helms, 1992) y que la alternativa del ciclo de vida tradicional (cosechar y salir) no es, ni única ni fácil de implementar (McGahan, 2004); existe considerable evidencia de que empresas, y directivos, sufren con la salida (Elfenbein y Knott, 2015). El estudio de las oleadas de reajustes y reestructuración cuestionan si la salida es, a medio plazo, la mejor opción para el tejido económico (Dunn, 2012) y para la empresa (Maldonado, Suárez y Vicente, 2009). Confiar en un enfoque darwinista, en el que lo que no te mata te hace más fuerte (García-Sánchez, Mesquita y Vassolo, 2014), puede redundar en una pérdida de heterogeneidad en la industria a favor de las empresas más dotadas de recursos, sustancialmente, financieros (Barniatzi, Bocos, Cavusgil y Hult, 2016).

La investigación del declive está profundamente influida por el esfuerzo de sistematización de Harrigan (1980; 1988) de sus propios hallazgos y de la investigación precedente (Hammermesh y Silk, 1979; Hall, 1980) para la construcción de un modelo de comportamiento estratégico. Ante el declive, la empresa puede decidir permanecer o salir, de acuerdo a su evaluación del entorno y al diagnóstico de su posición competitiva (Harrigan, 1980:2). La evaluación del entorno es la primera de las dimensiones del modelo. La estructura favorable supone la existencia de bolsas de demanda rentable y atractiva, y una estructura de industria hospitalaria. La posición relativa a sus competidores de la empresa es la segunda de estas dimensiones, que vendrá determinada no solo por tamaño sino por sus habilidades en marketing y ventas y sus ventajas en producción (anticipa así la explotación de capacidades distintivas de la empresa). Ahora bien, la empresa debe tener en cuenta los requerimientos estratégicos que le restan libertad en la elección de la opción (entre ellos, rechazo a la desaparición del legado en empresas familiares). Harrigan y Porter colaboran entre 1980 y 1983 en un esfuerzo de síntesis de sus aproximaciones. Los movimientos estratégicos de Harrigan (1980:44) se reformulan como estrategias puras de liderazgo y nicho por diferenciación o costes, cosecha o desinversión (Porter, 1980:321), dando lugar al modelo, ampliamente difundido, de la figura 1.

En 1988, Harrigan constata que, en las economías occidentales dos tercios de las industrias no consiguen crecimiento o decrecen, situación que equivale a haber entrado en las fases finales del ciclo de vida (madurez

FIGURA 2
COMPARATIVO TOTAL INDUSTRIA – INDUSTRIA ALIMENTARIA. 2008-2015

	Industria		Alimentación y Bebidas (10 y 11)		Tasas de variación	
	2015	2008	2015	2008	Industria	AlBeb
Personas Ocupadas	1.984.105	2.514.397	362.954	381.835	-21,09%	-4,94%
Horas Trabajadas	3.391.475	4.352.010	632.773	672.730	-22,07%	-5,94%
Cifra de negocios	582.357.232	628.903.124	108.825.980	100.317.154	-7,40%	8,48%
Compras y aprovisionamientos	383.261.370	411.244.015	76.249.101	67.621.098	-6,80%	13,36%
Gastos de personal	71.456.579	85.450.746	10.842.303	11.040.288	-16,38%	-1,79%
Valor añadido a coste de los factores (1)	133.161.727	151.098.137	19.311.546	20.261.129	-32,54%	-4,69%
Inversión en activos materiales	20.552.881	34.596.363	3.689.574	5.146.790	-40,59%	-28,31%
Inversión en activos intangibles	2.795.262	4.932.129	158.002	213.254	-43,33%	-25,91%

Resultados nacionales. Principales variables por sectores de actividad. Unidades: personas, miles euros, miles horas

El dato de 2008 corresponde al valor añadido bruto calculado por el gabinete de estudios del MAPAMA (Encuesta industrial anual de empresas, EIAE); el dato de 2015 es a coste de los factores (Estadística estructural de empresas, sector industrial, EEE. Tabla 24746)

Fuente: Estadística estructural de empresas: sector industrial. <http://www.ine.es/jaxit3/Datos.htm?f=24917> Variables de enlace entre la EIAE y la EEE. Acceso 4 febrero 2018

y declive). A pesar de ello, señala un vacío en la literatura sobre dirección estratégica respecto a la recomendación a hacer a los directivos, y una negación a reconocer el declive por su parte (Harrigan, 1988:2).

La investigación de Harrigan sobre industrias maduras y en declive abre una línea de estudios empíricos que han añadido conocimiento adicional con el estudio de diferencias entre empresas pequeñas y grandes (Chaganti, 1987) y aplicación de estrategias competitivas: superioridad de estrategias puras (Parker y Helms, 1992); diferenciación (Calori y Ardisson, 1988); nicho (Burpitt y Fowler, 2007); reconversión y vuelcos (Ruiz Navarro, 1998) y salida (Jendges, 1994).

La revisión de la literatura muestra un punto en común, que es advertir a las empresas que la fase de declive es singular, y que es preciso aplicar estrategias distintas, que han de tener en cuenta. 1.- que la fase de declive supone una limitación en las opciones. El dilema estratégico se resume en permanecer o salir, luchar o volar (Christensen y Raynor, 2003); 2.- el resultado más relevante de la conducta es el económico, pues el principal problema al que se enfrenta la empresa es la pérdida de rentabilidad (Porter, 1980); 3.- las opciones vienen determinadas por las decisiones estratégicas previas, pues el declive se prepara desde la madurez (Porter, 1980); 4.- el tiempo para la evaluación del entorno y la toma de decisiones se reduce y los directivos han de tomar decisiones firmes y comprometidas, sin espacio para una segunda oportunidad (Hall, 1980). El proceso de destrucción empresarial comienza con liderazgos débiles y falta de gobierno, que se concreta en toma de riesgo excesivo y ejecución inadecuada (Heracleous y Werres, 2016) y 5.- el entorno del negocio está afectado de turbulencia, por incertidumbre sobre el patrón de caída de la demanda y es frecuentemente hostil (Otero y Varela, 2008), pues la única manera de mantener

ventas y llenar capacidad es ganando cuota de mercado a otros (Covin y Slevin, 1989).

Tal y como hemos comentado previamente, el objetivo de la investigación en el mercado doméstico español de la industria de alimentación y bebidas ha sido diagnosticar el declive y comprender el comportamiento de las empresas. A nivel metodológico, el modelo que orienta la investigación empírica está inspirado en la aportación de Harrigan y mantiene la perspectiva del continuo del análisis estructural, a través de diagnóstico del entorno y posición competitiva de la empresa. La información de la industria de alimentación y bebidas y de sus empresas sirve de base para el análisis de la vigencia del modelo en el contexto actual.

LA INDUSTRIA DE ALIMENTACIÓN Y BEBIDAS ↓

La elección de la industria de alimentación y bebidas para esta investigación se ha basado en varias de sus características; al proveer de productos necesarios para una actividad consustancial a la propia existencia, como es la alimentación, es una industria globalmente resistente, en el que el efecto de la crisis global de demanda se ve atenuado. Los datos de la figura 2 comparan el desempeño del total de la industria y el agregado de las clases CNAE 10 y 11 (Alimentación y bebidas), en el año que hemos considerado inicial para evaluar los efectos de la crisis de demanda (2008) y el año final (2015). Cabe señalar que, entre esos efectos, las medidas aplicadas han afectado la cantidad, calidad y periodicidad de la información facilitada desde el INE, y los análisis de los gabinetes de estudios ministeriales (véase Anuario de Estadística del MAPAMA 2016). Por este motivo los datos más actualizados se van a referir a análisis de los índices de actividad y de cifra de negocios, y de la extrapolación de tendencias realizada por

FIGURA 3
CIFRA DE NEGOCIO, VA Y OCUPADOS POR SECTORES DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. AÑO 2015

	Cifra de negocio	Valor añadido	Ocupados	% Tasa de VA (1)
10 Industria de la alimentación	92.676.606	15.199.796	316.257	17,2%
101 Procesado y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	24.703.726	3.919.683	85.450	16,4%
102 Procesado y conservación de pescados, crustáceos y moluscos	4.944.360	742.106	19.034	15,6%
103 Procesado y conservación de frutas y hortalizas	9.290.406	1.616.762	32.746	17,9%
104 Fabricación de aceites y grasas vegetales y animales	12.252.370	835.063	12.019	7,4%
105 Fabricación de productos lácteos	8.905.246	1.606.792	23.941	18,9%
106 Fabricación de productos de molinería, almidones y productos amiláceos	3.460.383	446.550	5.905	12,1%
107 Fabricación de productos de panadería y pastas alimenticias	7.805.125	2.546.501	78.888	33,8%
108 Fabricación de otros productos alimenticios	11.881.023	2.681.296	46.763	23,5%
109 Fabricación de productos para la alimentación animal	9.433.966	805.042	11.512	7,9%
110 Fabricación de bebidas	16.149.373	4.111.750	46.697	26,4%
1102 Elaboración de vinos	6.471.624	1.660.294	24.413	26,6%
1107 Fabricación de bebidas no alcohólicas	4.923.930	871.077	11.330	18,8%

Resultados nacionales. Principales variables por sectores de actividad. Unidades: personas, miles euros

Fuente: Estadística industrial de empresas, <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=24716>. (1) Tasa de valor añadido, tabla 24739. Acceso 4 febrero 2018

el Centro de predicciones económicas (CEPREDE) en el informe 2016 de la FIAB.

Desde el punto de vista de la oferta, la industria alimentaria ha crecido en ventas en el periodo y ha destruido empleo en menor medida que el total de la industria. En 2017 el número de empresas en la industria es de 29.018 frente a 28.185 en 2015 (Directorio central de empresas a 1 de enero, INE). Si bien el valor añadido adolece de diferencia de cálculo entre la Estadística estructural de empresas (EEE) y la antigua Encuesta industrial anual de empresas (EIAE), el aumento del coste de compras y materiales, por encima de la evolución de la cifra de negocio, apoya la conclusión de empeoramiento del ratio sobre cifra de negocio (17,2% tasa de valor añadido de la clase 10 y 26,4% de la clase 11 en 2015, datos de la EEE, frente a 21,6% y 30,1% en 2008, datos de la EIAE elaborados por el gabinete de estudios del MAPAMA). Ahora bien, el peso de la industria (que a efectos de la contabilidad nacional se agrega a tabaco) en el VAB nacional se mantiene estable (2,90 en 2012, 2,91 en 2016) y es, incluso, creciente (2,57 en 2007; informe FIAB 2016). La conclusión de este informe es que la industria ha sacrificado márgenes por actividad (http://fiab.es/microsite/info_ec_17/fiab.html#p=6#).

En segundo lugar, el comparativo con el total de la industria española muestra que es un sector relevante: es la primera rama industrial según la Estadística industrial de empresas 2015. Supone el 18,7% de la cifra de ne-

gocio industrial y el 23,3% de la actividad manufacturera. Es la mayor en empleo (18,4% de la industria) y su aportación al PIB se sitúa en el 1,9% (Informe anual de la industria alimentaria española 2014-2015, MAPAMA). La cifra de negocio supera ampliamente al segundo sector en facturación, vehículos a motor (66,37 millones de euros en 2015). La evolución del índice de la cifra de negocios constata que desde el año 2012 la industria de alimentación supera los índices de 2007 y se sitúa en mejor posición que la manufactura; no así la industria de bebidas. A nivel de producción real, los niveles de 2008 se han recuperado en 2017; cabe indicar que la evolución de la cifra de negocios contiene un importante efecto precio (Índice de precios industriales 111,5 en 2016; FIAB 2016).

La industria es diversa. La comparación de resultados del ejercicio 2015 (véase figura 3) entre sectores CNAE muestra tamaños en facturación y número de empleados distintos. El atractivo en cuanto a rentabilidad potencial, medido por el valor añadido sobre cifra de negocio, es menor al global de la industria, a consecuencia de la escasa transformación de algunos productos; ahora bien, existen iniciativas que han conseguido mejorar la estructura de rentabilidad del sector (como ejemplo, comparar el 7,4% de la clase 104, aceites, al 33,8% de la clase 107, panadería y pastas alimenticias).

Aunque se clasifica habitualmente como una industria de ámbito local, las empresas españolas hacen de la

exportación un capítulo creciente de su actividad. En el periodo enero-noviembre de 2017 las exportaciones (28,3 millones de euros) superan a las importaciones (20,6 millones) y suponen un 11,1% del total, con un crecimiento del 9,9% sobre el mismo periodo del año anterior (DataComex, febrero 2018). La investigación empírica sobre intensidad tecnológica la califica como industria de baja intensidad, de acuerdo a la clasificación propuesta por la OCDE y escasa innovación (el gasto en innovación sobre ventas en la industria es del 0,58%, mientras que es el 1,12% para la totalidad de la industria; Encuesta sobre innovación en las empresas del INE, 2015). El número de empresas con actividad (19,4%) está ligeramente por debajo del promedio de la industria (23,4%) y, aunque el 17,2% de la cifra de negocios proviene de productos nuevos y mejorados, este ratio está por debajo del promedio de la industria (27,8%; datos de 2016). El 60% de las empresas agroalimentarias, que figuran en la base de datos del Panel de innovación tecnológica (PITEC) desarrollan simultáneamente actividades de innovación de producto y proceso (innovación tecnológica) y de otro ámbito (comercial y organizativo) (Arias, Alarcón y Botey, 2016).

Hemos descrito la industria a través de su actividad en el periodo más reciente. A continuación, exponemos el proceso seguido para determinar la posición dentro del ciclo de vida de la industria, y si ésta se puede calificar de fase de declive. El declive puede observarse desde las salidas de la industria (Harrigan, 1980) o desde el consumo (Hammermesh y Silk, 1979). En esta investigación usamos y proponemos para ulteriores trabajos el indicador de consumo, en particular el panel del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), que compila, desde 1987, el consumo en el hogar y fuera del hogar de las familias españolas. El periodo elegido para el análisis de tendencias y posterior proyección ha sido de diez años, entre 2000 y 2010.

A nivel metodológico, el uso de este panel supera algunos escollos a la hora de diagnosticar y proyectar. El primero es la necesidad de utilizar un indicador robusto que, en la medida de lo posible, evite errores en la inferencia. En este caso, el panel y su explotación señalan la diferencia de perspectiva que propone la visión global del consumo frente al consumo per cápita. El consumo de alimentos creció en España el 11,5% en cifras absolutas de volumen (2000 a 2010). Ahora bien, en este periodo la población en España aumenta el 11,9% (INE), mientras que la proyección de la población en España 2014-2020 recoge la posible disminución en dos millones de personas por el retorno de inmigrantes y emigración de ciudadanos españoles. Tomando en consideración el impacto que el cambio en las previsiones demográficas tiene en la evolución de este negocio (Harrigan, 1980:156, caída no prevista en las ventas de comida infantil por la menor fertilidad), revisamos el dato del consumo per cápita, en línea con Hammermesh y Silk (1979:162 «el hecho de que el consumo por persona -de café- haya caído aún más rápidamente sugiere que la tendencia -de caída- continuará»). El indicador del consumo per cápita ayuda a trazar la ten-

dencia más allá de la cifra global de ventas, consumo o producción.

En segundo lugar, facilita contar con datos consistentes. Disponer de un panel con casi treinta años de observaciones permite superar la ausencia del dato de consumo extra doméstico a partir de 2011 y el cambio en 2014 de censo, que lamentablemente impiden análisis interanuales en ese periodo. La solidez de las tendencias anteriores confirma la inferencia inicial del consumo per cápita de los hogares españoles, con base en el periodo 2000 a 2010, como estable o en ligero descenso, calificando a la industria como globalmente madura (Domingo, Laviña, Molero y Pardo, 2016). El dato de 2016 del consumo doméstico en volumen muestra un ligero aumento (consumo per cápita 662,6 kg/lvs frente 656,7 kg/lvs en 2015) que no consolida en el año 2017 (enero a junio, caída en el volumen de consumo, 1,9%, y en el gasto per cápita, -1,1%) (consumo en hogares, Informe del consumo de alimentos 2016; MAPAMA).

Por último, permite observar variaciones relevantes: caída del consumo no inferior al 10%, en un periodo largo, no menor de 10 años. De esta forma construimos indicadores robustos de tendencia y oscilación de la demanda (Dess y Beard, 1984). La creciente turbulencia de los mercados de consumo, marcan cambios de ciclo de duración cada vez más corta, por lo que contar con un periodo largo da mayor solidez al análisis. (Karniouchina *et al.*, 2013).

De esta forma identificamos, con datos del consumo total y per cápita, nueve grupos de alimentos y bebidas en situación de declive entre los años 2000 y 2010. El detalle se ofrece en la figura 4. Se ha controlado el efecto de la coyuntura observando la evolución por periodos temporales y comparando con el total del PIB (Hall, 1980).

ANÁLISIS DEL CONTEXTO Y LA ESTRATEGIA COMPETITIVA ANTE EL DECLIVE DE LOS NEGOCIOS DE ALIMENTACIÓN Y BEBIDAS

«En la fase de declive el crecimiento se desvanece, la intensidad competitiva se recrudece y se produce una sacudida de salidas, salvo para los competidores más fuertes. Los esfuerzos para diferenciación sustantiva fracasan con frecuencia y las empresas buscan aumentar su escala, abordar mercados internacionales y otras medidas de eficiencia. Esta concentración aumenta la tendencia de reducción de la heterogeneidad dentro la industria, implicando que, en el declive, el efecto industria es relevante» (Karniouchina *et al.*, 2013:1012).

Análisis del contexto competitivo: Entorno y Empresa

De acuerdo al modelo de la aproximación contingente sistematizado por Harrigan y Porter, 1983, el examen del contexto competitivo requiere calificar la estructura del declive como favorable o desfavorable a la permanencia de la empresa. Dos dimensiones guían esta calificación, declive de la demanda y estructura de la industria. Los rasgos que identifican el declive de la de-

FIGURA 4
CONSUMO ALIMENTARIO TOTAL (HOGARES + HOSTELERÍA/RESTAURACIÓN + INSTITUCIONES)

CNAE	2000	2005	2007	2010	2005 / 2000	2007 / 2000	2010 / 2005	2010 / 2000
101 Carne	65,30	65,48	64,48	63,79	0,29%	-1,25%	-2,59%	-2,31%
102 Pesca	32,33	36,53	36,37	33,65	13,01%	12,52%	-7,88%	4,10%
103 Frutas y Hortalizas	224,13	238,73	237,84	240,82	6,51%	6,12%	0,88%	7,45%
Legumbres	4,94	4,49	4,18	3,74	-9,06%	-15,46%	-16,81%	-24,35%
1031 Patatas Frescas	38,50	35,44	32,77	29,11	-7,95%	-14,87%	-17,86%	-24,39%
1032 Total Zumos de Frutas	17,23	17,75	16,21	14,88	2,97%	-5,95%	-16,16%	-13,68%
1039 Aceitunas	3,21	3,53	3,17	2,86	9,96%	-1,48%	-19,05%	-10,99%
1039 Frutos Secos	2,58	3,04	3,08	3,21	18,08%	19,40%	5,45%	24,52%
1039 Frutas transformadas	16,24	18,09	17,67	17,69	11,38%	8,77%	-2,19%	8,94%
104 Aceite y grasas comestibles	21,58	22,19	20,98	18,76	2,83%	-2,77%	-15,47%	-13,08%
1043 Ac. Oliva	11,39	12,85	11,76	10,76	12,78%	3,25%	-16,29%	-5,59%
1044 Ac. Girasol	7,61	7,29	6,96	5,84	-4,25%	-8,60%	-19,80%	-23,21%
105 Industria Láctea	151,52	142,68	135,04	128,43	-5,83%	-10,88%	-9,99%	-15,24%
1054 Leche Líquida	115,88	102,42	93,17	87,24	-11,62%	-19,60%	-14,82%	-24,72%
1054-1053 Derivados Lácteos	34,78	39,35	41,05	40,50	13,14%	18,04%	2,93%	16,46%
1061 Arroz	6,06	5,75	5,50	4,54	-5,11%	-9,11%	-20,98%	-25,02%
107 Pan y bollería	74,52	74,05	72,28	64,60	-0,63%	-3,00%	-12,76%	-13,31%
1071 Pan	58,13	55,55	53,05	44,91	-4,43%	-8,73%	-19,16%	-22,75%
1072 Bollería y Galletas	12,33	14,19	14,82	15,10	15,07%	20,21%	6,46%	22,50%
1073 Pastas Alimenticias	4,06	4,31	4,41	4,59	6,12%	8,59%	6,56%	13,08%
108 Otros alimentos	24,29	28,61	30,64	32,13	17,81%	26,15%	12,30%	32,31%
1082 Chocolate y Cacao	3,13	3,20	3,34	3,47	2,14%	6,74%	8,57%	10,89%
1083 Cafés e Infusiones	3,65	3,98	3,48	3,02	9,10%	-4,68%	-24,16%	-17,26%
1081 Azúcar	7,19	7,05	6,32	5,30	-1,96%	-12,20%	-24,91%	-26,38%
1084 Platos Preparados	7,48	11,26	13,41	15,37	50,62%	79,35%	36,53%	105,63%
11 Bebidas	212,88	222,82	221,99	203,73	4,67%	4,28%	-8,57%	-4,30%
1102 Vino	32,55	26,59	21,43	15,76	-18,29%	-34,17%	-40,74%	-51,58%
1102 Vino V.C.P.R.D.	7,35	8,72	7,58	6,25	18,66%	3,09%	-28,33%	-14,96%
1102 Vino de Mesa	23,01	15,97	11,67	7,53	-30,59%	-49,30%	-52,85%	-67,27%
1102 Espumosos y Cavas	1,38	1,11	1,12	0,78	-19,68%	-18,79%	-30,05%	-43,82%
1102 Otros Vinos	0,80	0,79	1,06	1,20	-1,50%	32,34%	52,43%	50,14%
1107 Cervezas	54,71	58,14	54,99	48,36	6,26%	0,50%	-16,83%	-11,62%
1101 Otras Bebidas Alcohol.	4,84	4,39	4,30	4,22	-9,31%	-10,99%	-3,78%	-12,73%
1107 Agua Mineral	53,93	67,56	73,23	71,74	25,27%	35,78%	6,20%	33,03%
1107 Gaseosas y Refrescos	64,94	64,58	67,06	63,65	-0,55%	3,27%	-1,44%	-1,98%
TOTAL CLASES 10 y 11	788,30	808,22	794,48	758,31	2,53%	0,78%	-6,18%	-3,80%
TOTAL ALIMENTACIÓN	859,51	885,37	872,09	843,43	3,01%	1,46%	-4,74%	-1,87%

Fuente: Elaboración propia con datos del Panel de Consumo alimentario, MAPAMA, años 2001 a 2010. Litros/kilos per capita. Anuario del INE.

manda como favorable o desfavorable son: 1.- la tasa de caída del consumo y la oscilación en el ritmo anual al que éste se produce; 2.- sus causas y previsibilidad, por la observación de patrones culturales o demográficos, y la presencia o no de legislación que afecte al consumo; 3.- su reconocimiento, por indicadores de comportamiento del consumo y salida de empresas; y 4.- la existencia o no de bolsas de demanda rentable

y duradera dentro de la industria en declive. Respecto a la estructura de la industria, ésta se define por sus rasgos como hospitalaria u hostil a través del examen de: 1.- las características del producto de la industria; 2.- el poder de negociación (de clientes y proveedores); 3.- la rivalidad competitiva (concentración y fragmentación) y 4.- la existencia de barreras económicas de salida. La investigación precedente es rica en proponer las varia-

FIGURA 5
DIAGNÓSTICO DE ENTORNO DEL DECLIVE POR SECTORES DE LA INDUSTRIA

Sector	Dimensión Demanda	Dimensión Industria	Diagnóstico Entorno
104 Aceite	Favorable	Hostil	Desfavorable
105 Lácteos	Desfavorable	Hostil	Desfavorable
1032 Zumo de frutas	Favorable	Hostil	Desfavorable
106 Molinería y arroz	Favorable	Hostil	Desfavorable
107 Pan y bollería	Favorable	Hospitalaria	Favorable
1081 Azúcar	Favorable	Hospitalaria	Favorable
1083 Café e infusiones	Favorable	Hospitalaria	Favorable
1101 Bebidas alcohólicas	Favorable	Hospitalaria	Favorable
1102 Vino	Desfavorable	Hospitalaria	Desfavorable

Fuente: Fuente: Elaboración propia

bles que nos ayudan a identificar el rasgo (Covin y Slevin, 1989; Dess y Beard, 1984; Harrigan, 1980,1988; Miles *et al.*, 1993) y sus medidas, procedentes de fuentes secundarias (anuarios del MAPAMA, INE, paneles de datos de Nielsen, Kantar e Infoadex).

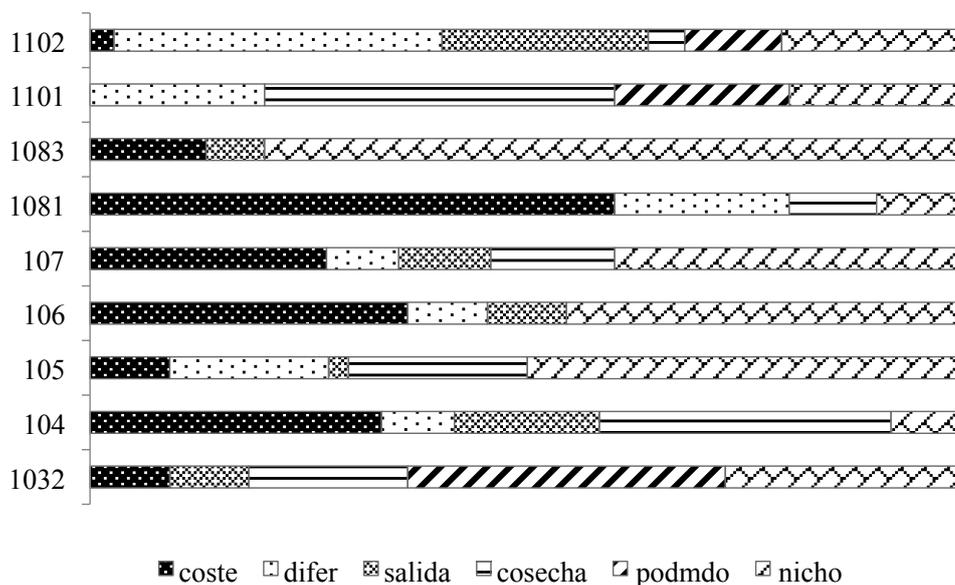
Una vez diseñadas las variables y recogida la información comprobamos si, de acuerdo con la teoría, es posible combinarlas, de manera que proporcionen un diagnóstico acerca de que el Entorno del declive sea favorable o desfavorable. El método de clasificación de las observaciones por análisis clúster es adecuado para situar los sujetos, en este caso unidades de negocio o empresas, en grupos homogéneos que no conocemos de antemano, pero que son sugeridos por la propia esencia de los datos. Harrigan (1985) defiende la superioridad del análisis clúster como fórmula para investigar los grupos estratégicos en una industria y, de hecho, ésta es una de las aplicaciones más frecuentes (Dess y Davies, 1984). El procedimiento que hemos aplicado consiste en un análisis clúster por el método de distancia a la media del conglomerado (método de k-medias) en dos etapas, la primera para clasificar las observaciones de la dimensión de Demanda en dos grupos, afines a declive de la demanda favorable y desfavorable, y la segunda para clasificar la dimensión de Industria en otros dos, afines a industria hospitalaria u hostil. Harrigan y Porter (1983) señalan que el Entorno del declive será favorable únicamente cuando coincida Demanda favorable con Industria hospitalaria; en el resto de situaciones, el entorno será desfavorable.

Con el método de k-medias creamos una clasificación a dos clústeres donde las empresas se agrupan según su posición respecto a atributos de la Demanda (favorable o desfavorable) y estructura de la Industria (hospitalaria u hostil). En el caso de calificación de la Demanda obtenemos dos grupos, compatible el primero con una situación de demanda desfavorable (tasa de caída alta, volatilidad) y el segundo asimilable a declive de la demanda favorable. Igualmente, el caso de Industria genera una solución a dos grupos, compatibles con estructura de industria hospitalaria y hostil. Con la información de las dos dimensiones, generamos una segunda combinación de ambas a través de agrupación clúster.

La solución de dos grupos tiene diferencia significativa según el contraste ANOVA y la clasificación de los negocios incluidos en cada uno de ellos es adecuada según los expertos de la industria consultados. El primero compadece con entorno favorable y el segundo con entorno desfavorable. El detalle de la solución por sectores y negocios (ver figura 5) muestra la relación prevista por la teoría entre atributos de la demanda desfavorables (lácteos y vino) con estructura de industria hostil (aceite, arroz y zumo), para resultar en un entorno de declive desfavorable. Las empresas que compiten en estos sectores tendrán, dentro de lo postulado por nuestro marco configurativo del declive, mayor dificultad en aprovechar las oportunidades, dado que el entorno es menos propicio a su permanencia.

Después de configurar la primera dimensión del marco con variables y medidas procedentes de fuentes secundarias, el siguiente paso ha sido confeccionar una muestra de empresas competidoras de las que clasificar según su posición y en las que observar el comportamiento. Los nueve grupos de alimentos se han asimilado a negocios en la clasificación CNAE para construir una población de 2.368 empresas competidoras (censo SABI, Bureau van Dijk). Las empresas participantes en la encuesta proporcionaron información de 310 negocios de las clases CNAE de esta investigación, en un número final de 265 respuestas válidas, un 11,7% de las empresas contactadas, similar a otras investigaciones con el censo SABI. El resultado de la empresa se ha obtenido a través de su balance (SABI).

Los rasgos que determinan la dimensión posición competitiva de la empresa se agrupan en dos grandes bloques: 1.- la fortaleza competitiva (poder de mercado) de la empresa y 2.- la posesión (o no) de recursos intangibles, tangibles (físicos y financieros) y de capacidades (habilidades comerciales, de innovación y de producción; Harrigan, 1980). Las capacidades que sustentan la ventaja competitiva incluyen, siguiendo la visión de Recursos y Capacidades, las competencias y habilidades de diversificación y flexibilidad. Las variables y las medidas que la describen, que se han construido con la literatura precedente, se nutren de la información primaria de la empresa en cuestionario (Martin y Eisenhardt,

FIGURA 6
 ESTRATEGIA COMPETITIVA POR SECTOR (CLASE CNAE A 3 Y 4 DÍGITOS)


Fuente: Elaboración propia

2004; Harrigan, 1980;1988; Porter, 1980; Teece, 2007), se han combinado a través de análisis clúster, resultando en una solución de tres posiciones relativas de fortaleza, debilidad e intermedia, en línea con la propuesta por el marco configurativo teórico.

El comportamiento de las empresas. La estrategia competitiva ante el declive

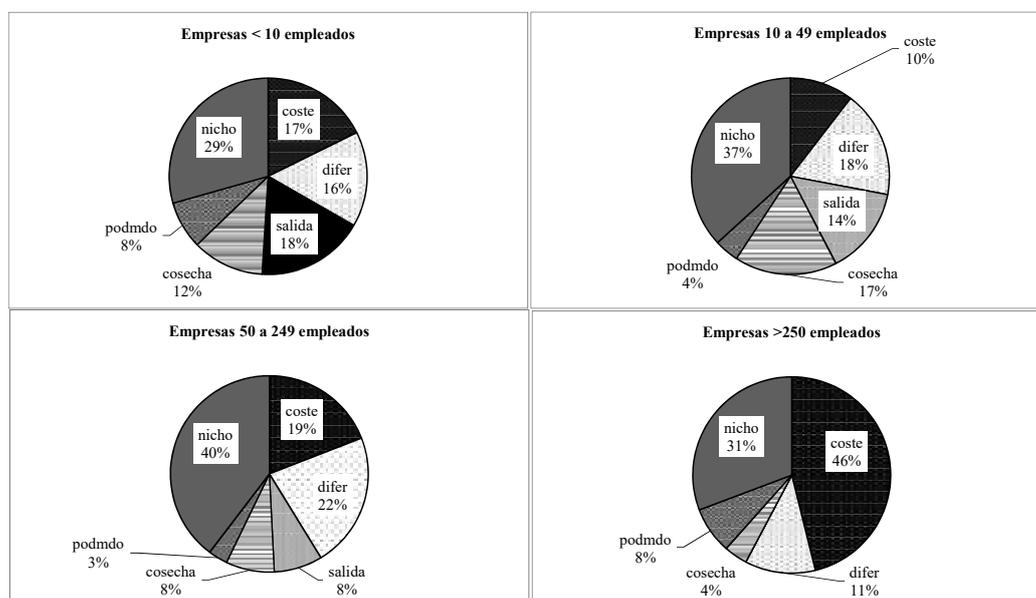
La estrategia competitiva sostiene la postura estratégica de permanecer (diferenciación, costes, poder de mercado, nicho) o salir (cosecha, salida). La metodología para conocer la estrategia implantada por la empresa es la de agrupación taxonómica a través de declaración directiva de acciones implantadas (Narver y Slater, 1990). Los declarativos han sido valorados por los directivos de acuerdo a una escala Likert de 1 a 5 puntos y se han sumado por el método de escalas aditivas de acuerdo a la tipología estratégica que reflejan. Hemos comprobado que tienen un grado adecuado de fiabilidad, consistencia y convergencia con la estrategia que describen, a través de análisis factorial confirmatorio y del α de Cronbach. Una vez confeccionadas las escalas, y dado que los directivos han puntuado todas ellas, asignamos como estrategia competitiva del negocio aquella de mayor puntuación media (Acquah y Yasai-Ardekani, 2008), y como estrategia de la empresa la correspondiente a su CNAE principal (Leitner y Güldenber, 2010).

La figura 6 representa gráficamente las estrategias competitivas implantadas por las empresas de nuestra muestra, por sector de actividad. La opción Nicho es la mayoritaria en un sector importante en número de empresas como el de panificación y galletas (107),

poblado en nuestra muestra por empresas pequeñas, de ámbito local y propiedad familiar, que siguen la opción nicho para atender un mercado de proximidad. Este resultado responde a la advertencia de reducción de opciones estratégicas (Karniouchina *et al.* 2013; Miles *et al.*, 1993), que se une a un potencial mimetismo estratégico en sectores asimétricos entre empresas grandes y muy pequeñas. Cafés e infusiones (1083) y lácteos (105) se decantan asimismo por esta opción, coherente con demandas en declive a las que enfrentar opciones de mayor valor añadido; en el caso de estos tres sectores, así como en vino, la investigación ha puesto de manifiesto la existencia de potenciales bolsas de demanda residual atractivas. Ejemplos de alta repercusión son el desarrollo del mercado de café en cápsulas, la creación de cadenas integradas horizontalmente de panificación (Europastry, Fripan) y la extensión a grandes marcas de lácteos de propuestas de producto de proximidad (Central Lechera Asturiana) y ecológico (Danone). Poder de mercado es la mayoritaria para zumos (1032). Esto es coherente con un sector muy polarizado entre grandes compañías de marca y fabricantes de marca de distribución: si decides competir en él debes mantener tácticas de poder de mercado para permanecer, o abandonar definitivamente si tus fortalezas no son suficientes. Una muestra de esta estrategia es la reciente (2016) adquisición por parte de García Carrión de la especialista en marca de distribución DAFSA.

En vinos (1102) destaca con un peso importante Salida. Este resultado es coherente con la previa adscripción que hicimos del producto a una calificación de entorno desfavorable, pero sorprende ante las gran-

FIGURA 7
ESTRATEGIA COMPETITIVA POR TAMAÑO DE EMPRESA



Fuente: Fuente: Elaboración propia

FIGURA 8
ESTRATEGIA COMPETITIVA IMPLANTADA. PERMANECER O SALIR

CLASIFICACION DEL ENTORNO				
POSICION COMPETITIVA	ESTRATEGIA	DESFAVORABLE	FAVORABLE	TOTAL
FUERTE	SALIR	3	1	4
	PERMANECER	16	17	33
		51%	49%	37
DÉBIL	SALIR	20	17	37
	PERMANECER	43	41	84
		52%	48%	121
INTERMEDIA	SALIR	5	6	11
	PERMANECER	36	24	60
		58%	42%	71
TOTAL	SALIR	28	24	52
	PERMANECER	95	82	177

Fuente: Fuente: Elaboración propia

des posibilidades de Diferenciación que los expertos señalan en este sector, lo que daría pie a una mayor presencia de la opción nicho. De hecho, el panel de consumo del MAPAMA de 2016 recoge la recuperación en valor del consumo de vino, propiciado por el crecimiento del vino con denominación de origen. Cosecha aparece de manera mayoritaria en aceites y lácteos (junto a nicho en este último caso). Esta elección puede resultar óptima para empresas que no tengan la capacidad de inversión necesaria para la diferenciación o la mayor eficiencia en costes, en sectores de bajo valor añadido.

En cuanto a tamaño de empresa (figura 7), destaca el mayor peso de Costes y nicho entre las empresas grandes, mientras que entre las pequeñas es algo menor (38%) en proporción al total de la mues-

tra; destaca en este grupo de empresas el peso de tácticas de cosecha. Cabe destacar que, en las empresas medianas, las estrategias competitivas puras de diferenciación y coste, propias de cualquier etapa del ciclo de vida, reducen su importancia relativa a favor de opciones más propias de la fase de declive, como son la cosecha y el poder de mercado. Este poder de mercado se ejerce, en las grandes, en superioridad en costes, mientras que entre las empresas que optan por nicho se encuentran alguna de las especialistas en marca de distribuidor. Este resultado confirma la apreciación de Jordana (2016:39) hacia la presencia de los llamados «gigantes ocultos», (por carecer de marcas nacionales), que, al ser muy competitivos, obligan a una reestructuración permanente, que va dejando activos sólo a los más eficaces.

FIGURA 9
COMPARACIÓN ENTRE ESTRATEGIA IMPLANTADA Y PRESCRITA

EMPRESA			ENTORNO		EMPRESA		
			DESFAVORABLE	FAVORABLE	N	SEP	NSEP
DÉBIL		SALIR	20	17	37		
	ESTRATEGIA	PERMANECER	43	41	84	78/121=64,5%	43/121=35,5%
		TOTAL	63	58	121		
FUERTE		SALIR	3	1	4		
	ESTRATEGIA	PERMANECER	16	17	33	36/37=97,3%	1/37=2,7%
		TOTAL	19	18	37		
INTERMEDIA		SALIR	5	6	11		
	ESTRATEGIA	PERMANECER	36	24	60	29/71=40,8%	42/71=59,2%
		TOTAL	41	30	71		
	SEP		44/123=35,7%	99/106=93,4%		143/229=62,4%	86/229=37,5%
	NSEP		79/123=64,2%	7/106=6,6%			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 clasificamos a nuestras empresas de acuerdo a su postura estratégica (Permanecer o Salir). Permanecer es la preferida (177 de 229), con independencia de la recomendación del modelo, que reserva esta posición para las empresas con posición competitiva fuerte e intermedia (en este caso, únicamente para entorno favorable: 67 en el total de la muestra; el resto, 162, deberían salir de inmediato o tras cosecha).

Este resultado es consistente con la advertencia de Baden-Fuller (1989) y Harrigan (1980) respecto a la renuencia del directivo, y en especial, del propietario, a abandonar el negocio, y es similar al observado por Roca y Bou (2007). Son las empresas en posición competitiva intermedia las que, en proporción, optan por permanecer en entorno desfavorable. En el caso de las empresas en posición competitiva débil las posiciones están más igualadas.

A continuación, podemos comparar (figura 9) la estrategia recomendada por el modelo, con la realmente implantada, y clasificarlas de acuerdo a que siguen la estrategia prescrita (SEP) o no la siguen (NSEP). Entre las empresas NSEP encontramos 79 que optan por permanecer y 7 que optan por salir, en contra de la estrategia que su posición competitiva o calificación del entorno aconsejan.

CONCLUSIONES Y REFLEXIÓN PARA LA ACCIÓN.
CONDUCTA EMPRESARIAL ANTE EL DECLIVE

El examen del contexto económico de la industria española en el periodo 2007 a 2017, a través de los índices de producción y consumo, señala la pervivencia de los efectos de la crisis de demanda y la ausencia de prodigalidad. A nivel de actividad in-

dustrial, la industria de alimentación y bebidas aparece como un sector con mejor evolución, en parte por el dinamismo de las exportaciones, en parte por su carácter anticíclico. La metodología de estudio aplicada a los distintos negocios de la misma nos permite afirmar la vigencia y actualidad del modelo de ciclo de vida de la industria. El examen de los distintos negocios de la industria de alimentación y bebidas muestra que el paso entre fases puede tomar la forma de una madurez estancada, el efecto de larga cola anunciado por Klepper (1997) y corroborado por Fujimoto (2014), seguido por una etapa de madurez en declive o madurez petrificada (Harrigan, 1988). De acuerdo con Harrigan y la observación de Fujimoto, estas fases pueden durar décadas. El patrón del tránsito entre madurez en declive y la fase de declive es consecuencia de cambios progresivos, difíciles de prever, o cambios puntuales de signo negativo (McGahan, 2004). En consecuencia, al observar el ciclo de vida de una industria, o negocio, las fases clásicas de emergencia, crecimiento, madurez y declive deben revisarse en cuanto al tránsito entre madurez y declive.

En este contexto de demanda petrificada donde la industria puede seguir siendo atractiva para el cliente, gracias a la innovación incremental, existen empresas que reaccionan al declive definitivo del negocio aportando innovación de proceso y uso (Henderson, 1995), que provoca un vuelco en su posición competitiva (Ruiz Navarro, 1988; Argyles *et al.*, 2015) o un renacimiento de la industria (Christensen y van Bever, 2014) y de sus límites (Cusumano *et al.*, 2015). La empresa se renueva, rejuvenece y transforma (Miller y Friesen, 1984). La actividad de las empresas modifica las pautas, criticadas por deterministas, del modelo tradicional. Los negocios evolu-

cionan de forma distinta de acuerdo a sus actores. El destino de la empresa es, en buena medida, resultado de su propia voluntad y éste efecto es aún más evidente en momentos de adversidad (Barniatzi *et al.*, 2016).

Mientras existen empresas que desean permanecer por su orientación estratégica, otras buscan salir, dedicando a nuevos productos y mercados los activos clave de su negocio (McGahan, 2004). En esta toma de decisión influyen no solo la posición competitiva de la empresa, que enfatiza la existencia de frenos intrínsecos al entorno (amenaza de rivalidad competitiva; amenaza de poder de clientes) sino la propia renuencia al riesgo, llevando a conductas conservadoras que desaniman la actitud innovadora y la inversión en capacidades dinámicas que cambien las reglas del juego (Martin y Eisenhardt, 2004). El papel de estos frenos es relevante puesto que, si los esfuerzos para una diferenciación sustantiva fallan y las empresas supervivientes con fortalezas abordan estrategias de reconversión para ganar escala, la mayor concentración provoca una pérdida de diversidad en la industria y un menor poder de la empresa de mitigar sus efectos (Miles *et al.*, 1993). En esta situación, el corolario de la madurez petrificada no es la renovación, sino el definitivo declive de la industria.

La reducción de la altura de estos frenos u obstáculos al deterioro de la industria tiene, a la luz de esta investigación, dos posibles áreas de trabajo. Al suscribir la investigación a la industria de alimentación y bebidas, afrontamos la problemática de las empresas pequeñas y con escasas capacidades para asumir nuevos retos (Covin y Slevin, 1989; Roca y Bou, 2007). La reorientación estratégica de la empresa para recuperar la senda del crecimiento implica contar con las capacidades dinámicas de flexibilidad y adaptación, y con los recursos necesarios para ello (Teece, 2007). Ahora bien, este planteamiento global no compadece con la realidad del tejido industrial español, poblado en su mayor parte en los sectores tradicionales por empresas pequeñas y medianas (Domínguez *et al.*, 2016) y en buena parte, maduras, cuya estructura organizativa envejece con el negocio. Por otro lado, la innovación requiere que las empresas dispongan del capital humano e intelectual necesario para que el complejo proceso de crear nuevos productos tenga éxito comercial. Esta capacidad de conocimiento puede constituirse en un obstáculo para las empresas medianas y pequeñas que no han desarrollado mecanismos de cooperación para innovar (Arias *et al.*, 2016). Allandar el tránsito hacia una decisión estratégica de futuro, mediante el conocimiento y la cooperación, es una aplicación de la investigación a la que esperamos, modestamente, contribuir.

La segunda área de trabajo tiene que ver con la reducción de otro freno a la decisión, como es

la incertidumbre. En este sentido, la llamada a la acción desde esta investigación señala dos necesidades: la primera es reflejar que la prospectiva muestra dibujos divergentes si se observa desde el consumo en el mercado doméstico, a si se observa desde la facturación global o desde la aportación al valor añadido. Ante el estancamiento de la demanda interna no es sorprendente que se resalten las buenas perspectivas derivadas de una ampliación de mercado vía exportación «La industria de alimentación y bebidas consolida su posición como primer sector industrial, con una evolución favorable en las variables relacionadas con la producción, el empleo y el comercio exterior» (Informe FIAB, 2014). Ahora bien, la vía de la exportación para la empresa alimentaria, pequeña y de escasa competitividad, se concreta en operaciones de volumen y bajo valor añadido, pues el atractivo de nuestros productos está en su menor precio.

En segundo lugar, la información pública y publicada por el INE y los distintos gabinetes de estudios de Ministerios y Asociaciones Profesionales ha ralentizado su actualización y difusión, y la disponible resulta desfasada en el momento de la publicación y es somera en su detalle. En consecuencia, los empresarios carecen de información sobre la que contrastar su propia experiencia y percepción, y así evitar el sesgo de que el diagnóstico aflore el propio mapa cognitivo del directivo, su posible incapacidad para «leer» las señales del mercado, y el impacto de las acciones propias y de competidores. En contextos turbulentos e inciertos, la investigación académica aconseja al empresario emprendedor, al directivo, sostener su juicio en un examen certero del entorno y evitar los sesgos cognitivos que su experiencia, y la de su equipo, pueden provocarle (Lovallo y Kahneman, 2003), pero para ello requiere contar con información certera y a tiempo.

Como reflexión final desde la academia, organizaciones empresariales y agencias gubernamentales deben hacer un movimiento proactivo para facilitar no sólo la reactivación y actualización de los instrumentos de información, sino también los recursos para la necesaria renovación estratégica. «Hacer de la necesidad virtud» (Fernández y Revilla, 2010) es una de las características del emprendedor-directivo de la pequeña y mediana empresa (Cuervo y Montoro, 2010). Ahora bien, la investigación académica muestra que ante la necesidad de emprender nuevas actividades que implican riesgo, las instituciones y la excesiva formalización pueden suponer un obstáculo (Fuenteisaz, González y Maicas, 2016). Facilitar el acceso al conocimiento y limitar la incertidumbre no es suficiente para facilitar la tarea al emprendedor, especialmente cuando se trata de empresas pequeñas con recursos limitados. Es necesario, asimismo, un apoyo en el propio proceso, hoy complejo, de iniciar una nueva singladura y renovar

los recursos y capacidades de la empresa para afrontar un nuevo ciclo de vida.

Este estudio ha sido financiado por los proyectos ECO2015-67434R del Ministerio de Economía y Competitividad, y el proyecto PR26/16-5B de la UCM y Banco Santander.

BIBLIOGRAFÍA ↓

Acquaah, M., Yasai-Ardekani, M. 2008. «Does the implementation of a combination competitive strategy yield incremental performance benefits? A new perspective from a transition economy in Sub-Saharan Africa». *Journal of Business Research*, 61(4), 346-354.

Argyres, N., Bigelow, L., Nickerson, J.A. 2015. «Dominant designs, innovation shocks, and the follower's dilemma». *Strategic Management Journal*, 36(2), 216-234.

Arias Martín, P., Alarcón Lorenzo, S., Botey Fullat, M. (2016). «La caracterización a través de análisis factorial de las empresas agroalimentarias según sus obstáculos a la innovación». *Economía Industrial*, nº 400, 139-149.

Baden-Fuller, Ch.W. 1989. «Exit from declining industries and the case of steel castings». *The Economic Journal*, 99(398), 949-961.

Bloom, N. 2014. «Fluctuations in uncertainty». *The Journal of Economic Perspectives*, 28(2), 153-175.

Burpitt, W., Fowler, S. 2007. «Entrepreneurial Strategies in a Declining Industry». *Journal of Small Business Strategy*, 18(1), 69-84.

Calori, R., Ardisson, J.M. 1988. «Differentiation strategies in stalemated industries». *Strategic Management Journal*, 9(3), 255-269.

Cameron, K., Zammuto, R. 1983. «Matching managerial strategies to conditions of decline». *Human Resource Management*, 22(4), 359-375.

Chaganti, R. 1987. «Small business strategies in different industry environments». *Journal of Small Business Management*, 25(3), 61-68.

Christensen, C.M., Raynor, M. 2003. *The innovator's solution: creating and sustaining successful growth*. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts.

Christensen, C.M., van Bever, D. 2014. «The capitalist's dilemma». *Harvard Business Review*, 92(6), 60-68.

Covin, J.G., Slevin, D.P. 1989. «Strategic management of small firms in hostile and benign environments». *Strategic Management Journal*, 10(1), 75-87.

Cuerdo García, A., Montoro Sánchez, M^o A. 2010. «Iniciativa emprendedora y vocación global. El empresario en la pequeña y mediana empresa como emprendedor-directivo». *Economía Industrial*, nº 375, 125-137.

Cusumano, M.A., Kahl, S.J., Suarez, F.F. 2015. «Services, industry evolution, and the competitive strategies of product firms». *Strategic Management Journal*, 36(4), 559-575.

Dess, G.G., Beard, D.W. 1984. «Dimensions of organizational task environments». *Administrative Science Quarterly*, 29(1), 52-73.

Dess, G.G., Davies, P.S. 1984. «Porter's (1980) generic strategies as determinants of strategic group membership and organizational performance». *Academy of Management Journal*, 27(3), 467-488.

Domingo, P., Laviña, J., Molero, J., Pardo, B. 2016. *La innovación industrial clave para la economía española. Análisis de*

cinco sectores maduros. <https://www.researchgate.net/publication/285322601>.

Dunn, J.H. 2012. «The decline of manufacturing in the United States and its impact on income inequality». *The Journal of Applied Business Research*, 28(5), 995-1000.

Efenbein, D.W., Knott, A.M. 2015. «Time to exit: rational, behavioral, and organizational delays». *Strategic Management Journal*, 36(7), 957-975.

Federación de Industrias de Alimentación y Bebidas, FIAB. Informe económico. Ediciones consultadas años 2010 a 2016. www.fiab.es.

Fernández, Z., Revilla, A. 2010. «Hacer de la necesidad virtud: Los recursos de las PYMEs». *Economía Industrial*, nº 375, 53-64.

Fuentelsaz, L., González, C., Maicas, J.P. 2016. «¿Ayudan las instituciones a entender el emprendimiento?». *Economía Industrial*, nº 400, 113-123.

Fujimoto, T. 2014. «The Long Tail of the Auto Industry Life Cycle». *Journal of Product Innovation Management*, 31(1), 8-16.

Hall, W.K. 1980. «Survival strategies in a hostile environment». *Harvard Business Review*, 58(5), 75-85.

Hammermesh, R.G., Silk, S.B. 1979. «How to compete in stagnant industries». *Harvard Business Review*, 57(5), 161-168.

Harrigan, K.R. 1980. *Strategies for declining businesses*. Lexington Books, Boston, Massachusetts.

Harrigan, K.R. 1985. An application of clustering for Strategic Groups analysis. *Strategic Management Journal*, 6(1), 55-73.

Harrigan, K.R. 1988. *Managing maturing business: Restructuring declining industries and revitalizing troubled operations*. LC Books, Boston, Massachusetts.

Harrigan, K.R., Porter, M.E. 1983. «End-game strategies for declining industries». *Harvard Business Review*, 61(4), 111-120.

Henderson, R.M. 1995. «On life cycles real and imaginary: the unexpected long old age of optical lithography». *Research Policy*, 24(4), 631-643.

Henderson, R.M., Clark, K.B. 1990. «Architectural innovation: the reconfiguration of existing products, technologies and the failure of established firms». *Administrative Science Quarterly*, 35, 9-30.

Heracleous, L., Werres, K. 2016. «On the road to disaster: Strategic misalignments and corporate failure». *Long Range Planning*, 49(4), 491-506.

Instituto Nacional De Estadística, INE. www.ine.es

Jendges, T. 1994. «A note on capacity reduction and the role of firm size in declining industries». *Small Business Economics*, 6(6), 477-480.

Jordana Butticaiz, J. 2016. «Sector de la industria agroalimentaria». Capítulo 2, 31-59, en *La innovación industrial clave para la economía española. Análisis de cinco sectores maduros*. Domingo *et al.* (dirs). <https://www.researchgate.net/publication/285322601>

Kamiouchina, E.V., Carson, S.J., Short, J.C., Ketchen, D. J. 2013. «Extending the firm vs. industry debate: Does industry life cycle stage matter?». *Strategic Management Journal*, 34(8), 1010-1018.

Klepper, S. 1997. «Industry life cycles». *Industrial and Corporate Change*, 6(1), 145-182.

Leitner, K.H., Guldenberg, S. 2010. «Generic strategies and firm performance in SMEs: a longitudinal study of Austrian SMEs». *Small Business Economics*, 35(2), 169-189.

Levitt, Th. 1960. «Marketing myopia». *Harvard Business Review*, 38(4), 24-47.

Levitt, Th. 1965. «Exploit the product life cycle». *Harvard Business Review*, 43(6), 81-94.

- Lovalló, D., Kahneman, D. 2003. «Delusions of success». *Harvard Business Review*, 81(7), 56-63.
- Maldonado Novelo, M.O., Suárez González, I., Vicente Lorente, J.D. 2009. «Downsizing y su efecto en los resultados en la gran empresa española». *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 18(4), 13-28.
- Martin, J.A., Eisenhardt, K.M. 2004. «Coping with decline in dynamic markets: Corporate entrepreneurship and the recombinative organizational form». *Advances in Strategic Management*, 21, 357-382.
- McGahan, A.M. 2004. «How industries change». *Harvard Business Review*, 82(10), 86-94.
- McGahan, A.M., Porter, M.E. 1997. «How much does industry matter, really?». *Strategic Management Journal*, 18(51), 15-30.
- Miles, R.E., Snow, Ch.C., Sharfman, M.P. 1993. «Industry variety and performance». *Strategic Management Journal*, 14(3), 163-177.
- Miller, D., Friesen, P.H. 1984. «A longitudinal study of corporate life cycle». *Management Science*, 30(10), 1161-1184.
- Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, MAPAMA. www.mapama.es
- Narver, J.C., Slater, S.F. 1990. «The effect of a market orientation on business profitability». *Journal of Marketing*, 54(4), 20-35.
- Otero Neira, M^a C., Varela González, J.A. (2008). «Interacción competitiva y ciclo de vida. Sectores en crecimiento frente a sectores maduros». *Economía Industrial*, n^o 267, 211-221.
- Parker, B., Helms, M.M. 1992. «Generic strategies and firm performance in a declining industry». *Management International Studies*, 32(1), 23-40.
- Porter, M.E. 1980. *Estrategia competitiva: técnicas para el análisis de la empresa y de sus competidores*. Edición de 2012, Ediciones Pirámide, Madrid.
- Porter, M.E. 1991. «Towards a dynamic theory of strategy». *Strategic Management Journal*, 12 Winter special issue, 95-117.
- Roca Puig, V., Bou Llusar, J.C. 2007. «La madurez industrial y los resultados económicos: Un análisis empírico del efecto moderador de la estrategia competitiva». *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 33, 157-178.
- Ruiz-Navarro, J. 1998. «Turnaround and renewal in a Spanish shipyard». *Long Range Planning*, 31(1), 51-59.
- Sistema de Análisis de Balances Ibéricos, SABI. www.sabi.com
- Teece, D.J. 2007. «Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance». *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319-1350.

LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE CONOCIMIENTO EXTERNO Y LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN SU DESARROLLO

NAGORE AGEITOS VARELA

Universidad de Deusto

W.M. Cohen y D.A. Levinthal (1990) comienzan con la capacidad de absorción y la definen como «la habilidad de una empresa para reconocer el valor de información externa nueva, asimilarla y aplicarla a fines comerciales» (p. 128). A partir de aquí, hay muchas contribuciones a su definición, a veces contrapuestas, o por lo menos controvertidas.

S.A. Zahra y G. George en 2002 vuelven a definir el concepto como «un conjunto de rutinas organizativas y procesos a través de los cuales las empresas adquieren, asimilan, transforman y explotan conocimiento para producir una capacidad organizativa dinámica» (S.A. Zahra y G. George, 2002:186).

Unos años más tarde, la aportación de P.J. Lane *et al.* (2006) también es muy importante porque adaptan a la actualidad el concepto y unen esta capacidad la ambidestreza y la necesidad de unirlo con el aprendizaje de explotación (*exploitation*) y exploratorio (*exploration*) (D. Levinthal y J.G. March, 1993). Dichos autores unen, a través del aprendizaje transformador, los dos tipos de aprendizaje citados (de explotación y exploratorio), más que nada porque vinculan la absorción del conocimiento nuevo con el conocimiento ya existente. P.J. Lane *et al.* (2006) definen la capacidad de absorción como «la habilidad de una empresa para utilizar el conocimiento externamente adquirido a través de tres procesos secuenciales: 1) reconocimiento y comprensión de nuevo conocimiento potencialmente valioso fuera de la empresa a través de un aprendizaje exploratorio; 2) asimilación

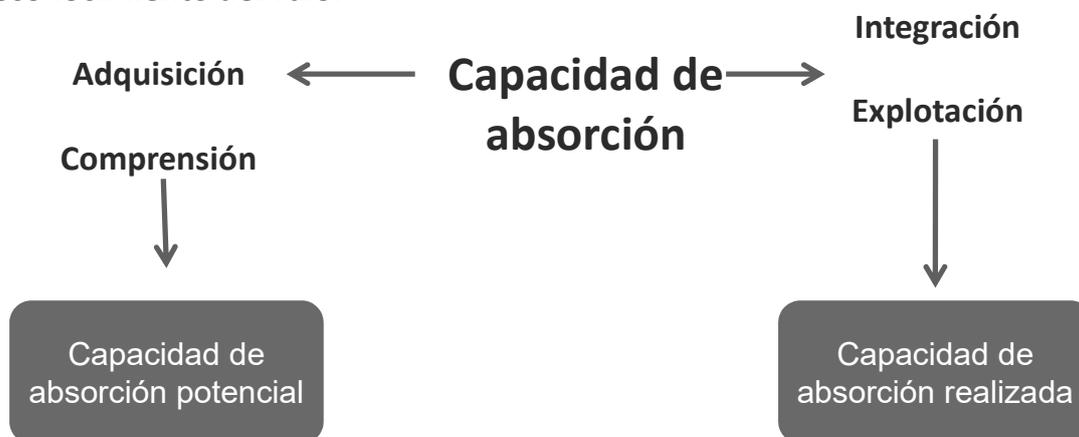
de nuevo conocimiento valioso a través de un aprendizaje transformador; y 3) utilización del conocimiento asimilado para crear nuevo conocimiento y outputs comerciales a través de un aprendizaje de explotación».

Hay que destacar la diferencia de definición de la misma palabra, el concepto de «asimilación» por S.A. Zahra y G. George (2002) y por P.J. Lane *et al.* (2006). S.A. Zahra y G. George definen este concepto como el análisis, proceso, interpretación y comprensión de la información obtenida a partir de fuentes externas. P.J. Lane *et al.* lo entienden como la combinación de nuevo conocimiento con conocimiento previamente existente en la organización, permitiendo el uso de este último de modos distintos. La diferencia es importante, ya que G. Todorova y B. Durisin, en 2007, critican duramente la definición de S.A. Zahra y G. George (2002) sobre el concepto de capacidad de absorción.

G. Todorova y B. Durisin (2007) creen que es importante añadir la primera dimensión de la capacidad de absorción definida por W.M. Cohen y D.A. Levinthal

FIGURA 1
DEFINICIÓN DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN CONSENSUADA Y SUS DIMENSIONES

Reconocimiento del valor



Fuente: Elaboración propia en función de S.A. Zahra y G. George (2002) y G. Todorova y B. Durisin (2007).

(1990) («reconocimiento del valor del conocimiento externo») como un paso indispensable, separado y previo a la adquisición de conocimiento externo.

Más importante aún, defienden que la «asimilación» y la «transformación» (la segunda y tercera dimensiones integrantes, respectivamente, de la capacidad de absorción, tal como sugieren S.A. Zahra y G. George (2002)), son procesos alternativos, no van en secuencia. En su definición, aportan que los esquemas cognitivos existentes en la organización no se ven modificados cuando el nuevo conocimiento externo adquirido encaja sino que este es «asimilado». Sin embargo, cuando el nuevo conocimiento externo adquirido es incompatible (no encaja) con los esquemas cognitivos existentes en la organización, las empresas necesitan «transformar» o cambiar sus esquemas para poder absorber el nuevo conocimiento. Hay una diferencia en el momento que se absorbe conocimiento nuevo externo ya que la organización puede asimilarlo si encaja con sus esquemas previos o transformarlo si no encaja con sus esquemas cognitivos previos en la organización. Es decir, son dos formas diferentes de combinar el nuevo conocimiento externo adquirido con el conocimiento previamente existente en la organización. De hecho, esto es lo que S.A. Zahra y G. George (2002) entienden por «transformación» (combinar nuevo conocimiento externo adquirido con el conocimiento interno existente). Para S.A. Zahra y G. George (2002), el concepto de «asimilación» (analizar, procesar, interpretar y comprender el nuevo conocimiento externo adquirido) constituye un paso previo a la combinación/integración de conocimiento, con independencia del modo específico tenga lugar.

Estas dos visiones de la definición de capacidad de absorción pueden ser a simple vista contradictorias. Se propone una nueva definición del concepto basada principalmente en la definición propuesta por S.A. Zahra y G. George (2002), incluyendo los matices más

importantes de G. Todorova y B. Durisin (2007). Por lo que, como G. Todorova y B. Durisin (2007) plantean, se considera que el «reconocimiento del valor del conocimiento externo» es suficientemente importante para constituir una dimensión diferente de la capacidad de absorción. En segundo lugar, para poder salvar los problemas ligados a la interpretación de los conceptos de «asimilación» y «transformación», se sugiere el término «comprensión», para describir el proceso de analizar, procesar, interpretar y entender el nuevo conocimiento adquirido, y el término «integración» para describir el proceso de combinación del nuevo conocimiento externo adquirido con el conocimiento previamente existente en la organización.

También, el nuevo conocimiento adquirido será integrado a través de la «asimilación» si el nuevo conocimiento encaja en las estructuras cognitivas ya existentes, pero, el nuevo conocimiento será integrado mediante «transformación», si el nuevo conocimiento externo adquirido es incompatible con las estructuras cognitivas existentes.

Por todo esto, se reconcilian ambas visiones definiendo la capacidad de absorción como el conjunto de rutinas organizativas y procesos de aprendizaje que permiten a la organización reconocer el valor del conocimiento externo y adquirirlo, comprenderlo (Capacidad de Absorción Potencial), integrarlo y explotarlo (Capacidad de Absorción realizada).

La capacidad de absorción es una capacidad dinámica que otorga a la organización la creación, extensión y modificación de su cartera de recursos. (Figura 1).

HIPÓTESIS Y MODELO CONCEPTUAL ↓

Una vez definida la capacidad de absorción de conocimiento externo, basándose en esta y siendo el concepto tan importante, existen factores de índole organizativo

y de gestión que la favorecen, es decir, que según la literatura existente influyen tanto en la capacidad de absorción potencial como en la capacidad de absorción realizada.

Factores organizativos y de gestión que favorecen la capacidad de absorción potencial ↓

Tal y como señalan Cohen y Levinthal en su artículo seminal de 1990, la capacidad de absorción de una empresa va más allá de la simple suma de las capacidades de absorción de los individuos que la componen y se cimienta también en aspectos netamente organizativos. Por un lado, el reconocimiento de conocimiento externo valioso, la adquisición y comprensión del mismo dependerán en gran medida del interfaz directo de la empresa con su entorno, mientras que la integración del conocimiento adquirido y su explotación dependerán sobre todo de los flujos de conocimiento entre las distintas unidades de la organización, algunas de las cuales pueden encontrarse bastante distantes del punto original de entrada del nuevo conocimiento (Cohen y Levinthal, 1990).

Sin embargo, el estudio del interfaz directo de la empresa con su entorno y su incidencia en la capacidad de absorción (en este caso, capacidad de absorción potencial) apenas ha sido abordado en la literatura, habiendo recibido en cambio mucha más atención los flujos de conocimiento en el seno de la propia organización, incluso para tratar de explicar a partir de ellos su capacidad de absorción potencial. Ello se debe a que los pocos estudios que han abordado esta cuestión en el pasado han puesto su foco, principalmente, en la absorción de conocimiento procedente de otras unidades organizativas de la misma empresa. Tal es el caso, por ejemplo, de Gupta y Govindarajan (2000), quienes analizan la adquisición de conocimiento en filiales de empresas multinacionales, ya sea procedente de otras filiales o desde la propia sede central; o de Jansen (2005) y de Jansen *et al.* (2005), quienes se centran en la absorción de conocimiento de unidades organizativas de sucursales de una misma entidad financiera; o de Hotho *et al.* (2012), quienes estudian la absorción de conocimiento procedente de la sede central en filiales de una multinacional del sector químico. Por lo tanto, la incidencia del interfaz directo de la empresa con su entorno externo constituye un elemento que requiere claramente mayor contraste empírico.

Desde un punto de vista teórico, Cohen y Levinthal (1990) plantean la relevancia de los llamados «guardianes del conocimiento» (*knowledge gatekeepers*) u «ojeadores de fronteras» (*boundary spanners*) (Allen, 1977; Tushman, 1977). Esta figura es especialmente importante cuando se trata de estar al tanto de conocimiento técnico complejo, tal y como sucede con el conocimiento tecnológico. Los guardianes del conocimiento se encargan de supervisar el entorno y de «traducir» la información técnica de modo que sea comprensible para sus usuarios dentro de la empresa (Cohen y Levinthal, 1990). Por lo tanto, el reconocer de forma explícita esta función y contar con un grupo cualificado de personas expresa-

mente dedicado a la realización de tareas de vigilancia tecnológica, que dispongan de los medios necesarios y dediquen el tiempo suficiente a ello, puede contribuir en gran medida a reforzar la capacidad de absorción potencial de la organización.

Por este motivo, se formulan la siguiente hipótesis:

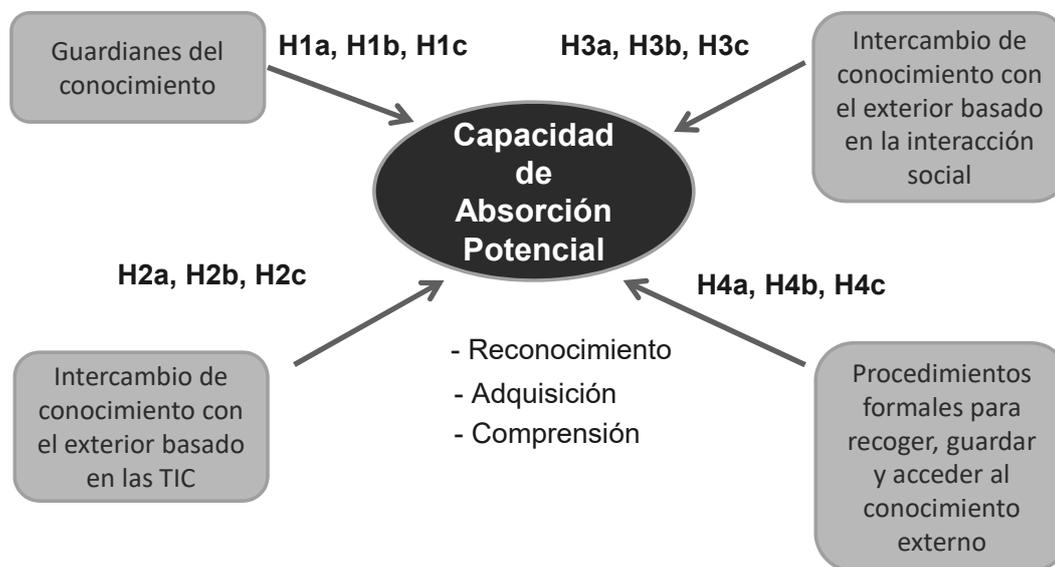
- H1 La existencia de un buen equipo de guardianes del conocimiento influye favorablemente en la capacidad de absorción potencial. Es decir, en la capacidad de:
- (a) reconocimiento de conocimiento externo valioso,
 - (b) adquisición y
 - (c) comprensión.

Por otro lado, al margen del reconocimiento de la anterior función, la absorción de conocimiento tecnológico externo requiere también el fomento de la interacción de los miembros de la organización con los potenciales proveedores del conocimiento externo. Por una parte, la interacción frecuente entre empresas permite desarrollar un mayor conocimiento mutuo que redunde en la generación de confianza (Parise y Prusak, 2006; Schilling, 2011). Dicha confianza posibilita que los socios colaboren y compartan conocimiento crítico sin temor a comportamientos oportunistas o a una apropiación indebida del mismo (Parise y Prusak, 2006). Además, un conocimiento de naturaleza compleja o tácita puede requerir una interacción frecuente y cercana de cara a posibilitar su intercambio posterior de modo que resulte significativo (Bourdieu, 1986; Granovetter, 1992; Almeida y Kogut, 1999; Hansen, 1999; Schilling, 2011). Dicha frecuencia de interacción puede contribuir al desarrollo de formas comunes a la hora de comprender y articular el conocimiento antes de que los socios sean capaces de proceder a su transferencia (Zander y Kogut, 1995; Szulanski, 1996; Schilling, 2011).

Por otra parte, Zahra y George (2002) señalan la relevancia de una amplia y profunda exposición de la empresa a fuentes externas de conocimiento a efectos de promover la exploración de nuevas posibilidades, siempre y cuando exista un equilibrio entre diversidad (entendida como el hecho de ser «distinto a») y complementariedad (entendida como «estar relacionado con») del conocimiento externo respecto al conocimiento poseído por la organización.

Esta interacción con las fuentes externas de conocimiento puede tener lugar a través de diferentes mecanismos. Hoy en día, las tecnologías de la información y comunicación brindan numerosas posibilidades, como pueden ser los foros de discusión *online*, los blogs o las redes sociales virtuales. A través de ellos, las personas intercambian sus opiniones y puntos de vista sobre una variedad de temas de forma rápida y ágil. Además, las preguntas y respuestas pueden indexarse de forma cruzada, contribuyendo así a la construcción de una red de conocimiento entre los participantes (Dalkir, 2005).

FIGURA 2
FACTORES ORGANIZATIVOS Y DE GESTIÓN QUE FAVORECEN LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN POTENCIAL



Fuente: Elaboración propia (2018).

Sin embargo, por muy útiles que sean los mecanismos basados en el uso de las tecnologías de la información y comunicación para el intercambio de conocimiento (particularmente de carácter explícito), se necesita completar tales mecanismos con otros que promuevan la interacción «cara a cara» entre individuos y que resultan insustituibles cuando el conocimiento intercambiado reviste un fuerte carácter tácito (Nonaka y Takeuchi, 1995). Tal y como describe Verna Allee (2003), en todo tipo de trabajo basado en el conocimiento, incluso cuando la tecnología resulta de gran ayuda, las personas necesitan conversaciones, experimentación y experiencias compartidas con otras personas que hacen lo que ellas hacen.

Por lo tanto, y teniendo en cuenta todo lo anterior, se formulan las siguientes hipótesis:

H2 El empleo de mecanismos que posibilitan la interacción con agentes externos que estén basados en el uso de las tecnologías de la información y comunicación influye positivamente en la capacidad de absorción potencial. Esto es, en la capacidad de:

- (a) reconocimiento de conocimiento externo valioso,
- (b) adquisición y
- (c) comprensión.

H3 El empleo de mecanismos que posibilitan la interacción con agentes externos que estén basados en el fomento de la interacción social influye favorablemente en la capacidad de absorción potencial. Es decir, en la capacidad de:

- (a) reconocimiento de conocimiento externo valioso,
- (b) adquisición y
- (c) comprensión.

Sin embargo, el fomento de la interacción de los miembros de la organización con agentes externos no es suficiente. Para que la organización tenga posibilidad de absorber conocimiento externo, se necesita que el nuevo conocimiento captado por los individuos que la componen se convierta en conocimiento o «capital organizativo» (Subramaniam y Youndt, 2005). Este se refiere al conocimiento institucionalizado y a la experiencia codificada residentes en bases de datos, manuales, procesos, etc. y utilizados a través de los mismos (Youndt *et al.*, 2004). Concretamente, el establecimiento de procedimientos formales para recoger, guardar y acceder a los inputs de información obtenidos en el exterior por parte de quienes tienen explícitamente asignada esta función (guardianes del conocimiento) o por parte de quienes en términos generales participan en distintos eventos de interacción social con agentes externos puede ser de gran ayuda en esta cuestión.

Debido a ello, se formula la siguiente hipótesis:

H4 El establecimiento de procedimientos formales para recoger, guardar y acceder a los *inputs* de información obtenidos en el exterior influye positivamente en la capacidad de absorción potencial. Esto es, en la capacidad de:

- (a) reconocimiento de conocimiento externo valioso,

- (b) adquisición y
- (c) comprensión.

Factores organizativos y de gestión que favorecen la capacidad de absorción realizada

Una vez formuladas las distintas hipótesis referentes a los distintos factores organizativos y de gestión que pueden favorecer las distintas dimensiones de la capacidad de absorción potencial, vamos ahora a hacer lo propio con la capacidad de absorción realizada.

En primer lugar, se centra en aquellas prácticas de gestión que promueven la interacción social entre individuos y el intercambio de conocimiento en el seno de la empresa y, por otro, en aquellas características de la organización que pueden favorecer la integración y explotación del conocimiento. En particular, abordaremos la influencia que ejercen el grado de centralización organizativa, los canales de comunicación y la cultura.

Comenzando por el primero de los apartados, la integración del conocimiento adquirido y su explotación dependerán sobre todo de los flujos de conocimiento entre las distintas unidades de la organización (Cohen y Levinthal, 1990). Para facilitar tales flujos, la empresa puede activar distintos mecanismos formales que fomenten la coordinación y/o socialización entre sus distintas unidades organizativas: personal de enlace, equipos de trabajo interfuncionales, comités interdepartamentales para la toma de decisiones, equipos multidisciplinares de trabajo de carácter temporal para proyectos específicos y rotación funcional de empleados, a modo de ejemplo. Tales mecanismos (a los que vamos a agrupar bajo la denominación de «interfaces transfuncionales»; Jansen *et al.*, 2009) forman parte de lo que en la literatura sobre capacidad de absorción se conocen como «mecanismos de integración social» (Zahra y George, 2002; Todorova y Durisin, 2007). A ellos hay que unir las redes sociales informales que operan en el seno de la organización.

Los mecanismos formales de integración social facilitan la distribución de información entre los miembros de la empresa, a la vez que también permiten recopilar distintas interpretaciones e identificar tendencias (Zahra y George, 2002). Aunque tanto los mecanismos formales como los de tipo informal permiten satisfacer este fin, los mecanismos formales presentan la ventaja de ser más sistemáticos.

En líneas generales, los mecanismos de integración social contribuyen a generar familiaridad interpersonal, afinidad y convergencia de mapas cognitivos entre personas de diferentes unidades (Edstrom y Gabraith, 1977; Van Maanen y Schein, 1979; Gupta y Govindarajan, 2000). A mayor familiaridad y afinidad personal, es de esperar una mayor apertura en la comunicación, lo que contribuirá a su vez a un mayor enriquecimiento de los canales (Daft y Lengel, 1986; Gupta y Govindarajan, 2000).

Los interfaces transfuncionales (o mecanismos formales de integración social) permiten integrar diversos componentes de conocimiento y alcanzar un nivel deseado de redundancia entre las distintas unidades que componen la empresa (Daft y Lengel, 1986; Cohen y Levinthal, 1990; Jansen *et al.*, 2005). Ayudan a los miembros de cada unidad a repensar la naturaleza sistemática de los productos y servicios existentes y a revisar la forma en la que los componentes se encuentran integrados (Henderson y Cockburn, 1994; Jansen *et al.*, 2005). En consecuencia, los interfaces transfuncionales permiten a los empleados combinar el conocimiento previamente existente con el conocimiento recién adquirido, a la vez que también proporcionan un modo efectivo de generar compromiso e implantar decisiones (Jansen *et al.*, 2005).

Por otra parte, las redes sociales informales (o conectividad interna) contribuyen a la generación de confianza y promueven la comunalidad del conocimiento (Rowley *et al.*, 2000; Jansen *et al.*, 2005). Además, reducen la probabilidad de conflictos, tanto a la hora de establecer objetivos, como en los procesos de implantación (Rindfleisch y Moorman, 2001; Jansen *et al.*, 2005).

Por todo ello, se formulan las siguientes hipótesis:

- H5 El establecimiento de interfaces transfuncionales influye favorablemente en la capacidad de absorción realizada. Es decir, en la capacidad de:
 - (a) integración y
 - (b) explotación.
- H6 La existencia de redes sociales informales influye positivamente en la capacidad de absorción realizada. Esto es, en la capacidad de:
 - (a) integración y
 - (b) explotación.

Sin embargo, al igual que se aprecia en el caso de la capacidad de absorción potencial, se ve necesario que esos flujos de conocimiento redunden en la creación de nuevo conocimiento o «capital organizativo» (Subramaniam y Youndt, 2005), que luego sea posible recuperar, transmitir y reutilizar de forma cómoda y sencilla. Las bases de datos, bibliotecas de proyectos y repositorios de conocimiento en general proporcionan un medio para recopilar e integrar de forma metódica componentes de conocimiento organizativo clave, ofreciendo múltiples opciones de búsqueda. Actúan como nexo de unión entre los usuarios y el conocimiento, ayudando a los individuos a localizar información relevante procedente de múltiples fuentes organizativas (Debowski, 2006). Gracias a ellos, los empleados pueden descubrir a otros colegas que están trabajando en proyectos similares y pueden identificar nuevas oportunidades de colaboración (Sáenz *et al.*, 2012). Por lo tanto, los repositorios de conocimiento pueden promover nuevas conexiones y, con ello, la generación de nuevas ideas.

Así pues, cabe concluir que:

H7 La existencia de procedimientos formales para el almacenamiento y acceso al conocimiento organizativo influye favorablemente en la capacidad de absorción realizada. Es decir, en la capacidad de:

- (a) integración y
- (b) explotación.

Una vez planteadas las distintas hipótesis de investigación que tienen que ver con aquellos mecanismos y prácticas de gestión que pueden promover la interacción social y el intercambio de conocimiento entre los miembros de la empresa, se llega al análisis de aquellos rasgos de la organización que pueden incidir en la capacidad de absorción realizada, comenzando por el grado de centralización que presenta la misma. El estudio de Gupta y Govindarajan (2000) analizaba esta cuestión en el marco de la adquisición de conocimiento procedente de la sede central por parte de las filiales pertenecientes a empresas multinacionales. En este caso, a mayor centralización de los procesos de toma de decisiones, las filiales tienden a absorber mayor volumen de conocimiento procedente de la sede central.

Sin embargo, dejando de lado este contexto específico, la centralización en la toma de decisiones contribuye a estrechar los canales de comunicación (Cardinal, 2001; Jansen *et al.*, 2006) y reduce la cantidad y la calidad del conocimiento recuperado para resolver problemas (Nord y Tucker, 1987; Sheremata, 2000; Jansen *et al.*, 2006). Asimismo, disminuye la sensación de control sobre el trabajo realizado y reduce la probabilidad de que los miembros de la organización busquen soluciones nuevas e innovadoras (Damanpour, 1991; Atuahene-Gima, 2003; Jansen *et al.*, 2006). En definitiva, la centralización organizativa disminuye las posibilidades de integración y explotación del conocimiento propias de la capacidad de absorción realizada.

En consecuencia, cabe formular la siguiente hipótesis:

H8 La centralización organizativa influye negativamente en la capacidad de absorción realizada. Esto es, en la capacidad de:

- (a) integración y
- (b) explotación.

Por otra parte, para que los flujos de intercambio de conocimiento puedan tener lugar, se necesitan canales de comunicación (Ghoshal y Bartlett, 1988) ágiles y fluidos, que permitan la transmisión de información y conocimiento relevante de arriba abajo, de abajo arriba y de forma transversal. Más allá de la mera existencia de tales canales, se necesita que los mismos se caractericen por aspectos tales como la franqueza y la densidad de las comunicaciones que posibilitan (Daff y Lengel, 1986; Gupta y Govindarajan, 1991, 2000; Jablin, 1979; Tushman, 1977).

Por lo tanto, ello lleva a formular la siguiente hipótesis:

H9 La existencia de canales de comunicación interna ágiles y fluidos influye favorablemente en la capacidad de absorción realizada. Es decir, en la capacidad de:

- (a) integración y
- (b) explotación.

Para terminar, tomando en cuenta el papel que puede desempeñar la cultura organizativa. Si bien en su estudio de 1999 Van den Bosch *et al.* señalaban que una cultura fuertemente arraigada puede dificultar la asunción de cambios que contradigan los valores compartidos, mermando así la amplitud de miras y la flexibilidad necesarias para una buena capacidad de absorción, Bierly *et al.* (2009) apuntaban y confirmaban que una cultura organizativa caracterizada por una fuerte orientación hacia la innovación y el emprendimiento podía ser de gran ayuda para cimentar la capacidad de absorción. Según los citados autores, una cultura de las citadas características promueve la aplicación o explotación del nuevo conocimiento integrado, ya que institucionaliza la búsqueda constante de la innovación y el aprendizaje organizativo, y contribuye a minimizar la resistencia al cambio a través de la promoción de una comunicación e intercambio de conocimiento abiertos (Tushman y Smith, 2002; Smith y Tushman, 2005). Asimismo, dicho tipo de cultura minimiza el rechazo hacia lo «no inventado aquí», pues promueve la aceptación de nuevos conocimientos con independencia de su origen (Leonard-Barton, 1995).

Todo ello, inclina a formular la siguiente hipótesis:

H10 La existencia de una cultura innovadora influye positivamente en la capacidad de absorción realizada. Esto es, en la capacidad de:

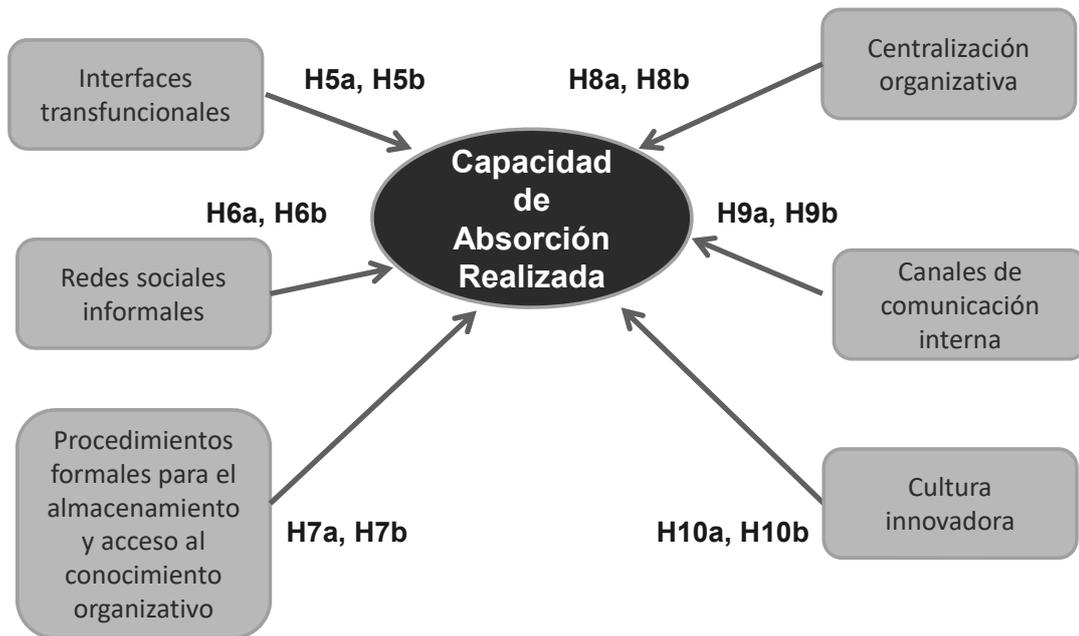
- (a) integración y
- (b) explotación.

METODOLOGÍA ↓

En una primera instancia, la población objeto de estudio está constituida por empresas de media-alta y alta tecnología del País Vasco que realizan actividades de I+D y que poseen más de 20 trabajadores.

El País Vasco constituye una de las comunidades autónomas más innovadoras de España. Se trata de la tercera comunidad autónoma en volumen de gasto total en actividades innovadoras, de la segunda en términos de intensidad innovadora y de la primera en porcentaje de la cifra de negocios procedente de productos nuevos o mejorados. Igualmente, se trata de la comunidad que presenta mayor porcentaje de ocupados en sectores de media-alta y alta tecnología.

FIGURA 3
FACTORES ORGANIZATIVOS Y DE GESTIÓN QUE FAVORECEN LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN REALIZADA



Fuente: Elaboración propia (2018).

Las empresas objeto de estudio fueron identificadas a partir de la base de datos de empresas que realizan actividades de I+D en Euskadi, adquirida por el Instituto Vasco de Competitividad a EUSTAT. En total, se identificaron 306 empresas que respondían a las citadas características.

Se contactó con todas ellas y, finalmente, fueron 105 las que accedieron a participar en el estudio, lo que supone una tasa de respuesta del 34%.

Posteriormente, con el fin de lograr incrementar la presencia de grandes empresas en el colectivo analizado, en una segunda fase, se acudió fundamentalmente a empresas de 250 trabajadores o más con sede en Madrid o Barcelona, que pertenecieran a sectores de media-alta y alta tecnología, y que tuvieran sus cuentas registradas en SABI.

Se identificaron un total de 208 empresas que reunirían tales condiciones, de las cuales, en función del tiempo disponible, se pudo contactar de forma aleatoria con un total de 147 organizaciones. De ellas, en el estudio finalmente han participado 20 empresas, lo que supone una tasa de respuesta del 14%.

Por lo tanto, el colectivo de empresas analizadas está compuesto por un total de 125.

Cuestionarios

Con el fin de recabar información sobre las variables objeto de estudio, se ha recurrido a la técnica del cuestionario como instrumento de medida.

Concretamente, se han diseñado dos cuestionarios: un primer cuestionario con preguntas que pueden ser respondidas por un directivo con perspectiva de Dirección General y un segundo cuestionario a responder por un directivo del área de Innovación. En la práctica, muchos de los directivos pertenecientes al área de Innovación forman parte también del Consejo de Dirección y pueden responder – y de hecho han respondido – a ambos cuestionarios perfectamente.

Las preguntas a incluir se han apoyado en la revisión de la literatura, aprovechando escalas de medición previamente existentes, y adaptando las que había o sugiriendo otras nuevas en caso de no existir ninguna que se ajustara convenientemente a las necesidades del estudio.

Modelización de ecuaciones estructurales basada en mínimos cuadrados parciales

Se ha utilizado la modelización de ecuaciones estructurales basada en mínimos cuadrados parciales y, para ello, se ha recurrido al software PLS-Graph.

La modelización de ecuaciones estructurales se considera una técnica de análisis multivariante de segunda generación. Combina aspectos de la regresión simple (mediante el examen de relaciones de dependencia) y del análisis factorial (mediante la representación de variables no observables mediante múltiples indicadores), con el objetivo de estimar una serie de relaciones de dependencia interrelacionadas simultáneamente (Cepeda y Roldán, 2005).

TABLA I
EVALUACIÓN DEL MODELO (FACTORES ORGANIZATIVOS Y DE GESTIÓN QUE FAVORECEN LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN POTENCIAL)

		Guardianes del conocimiento	ICE basado en las TIC	ICE basado en la interacción social	Procedimientos formales GCE	Total varianza explicada
Reconocimiento	Path	0,382***	0,228**	0,129 †	0,120 †	
	Correlación	0,556	0,401	0,37	0,41	
	Contr. a R ²	21,24%	9,14%	4,77%	4,92%	40,08%
Adquisición	Path	0,280**	0,166*	0,190*	0,158*	
	Correlación	0,479	0,339	0,387	0,398	
	Contr. a R ²	13,41%	5,63%	7,35%	6,29%	32,68%
Comprensión	Path	0,136	0,022	0,228*	0,223*	
	Correlación	0,343	0,179	0,346	0,366	
	Contr. a R ²	4,66%	0,39%	7,89%	8,16%	21,11%
Capacidad de absorción potencial	Path	0,361***	0,202**	0,181*	0,166*	
	Correlación	0,572	0,397	0,42	0,455	
	Contr. a R ²	20,65%	8,02%	7,60%	7,55%	43,82%

Notas: ICE: Intercambio de conocimiento con el exterior; GCE: Gestión del conocimiento externo.

† Significativo al 90%; * Significativo al 95%, ** Significativo al 99%; ***Significativo al 99,9%.

Fuente: Elaboración propia (2018).

RESULTADOS

Tal y como puede verse en la tabla I, los factores organizativos y de gestión contemplados logran explicar el 43,82% de la varianza de la capacidad de absorción potencial en su conjunto. Más en detalle, dicha varianza explicada se sitúa en el 40,08% en el caso de la fase de reconocimiento, en el 32,68% en la fase de adquisición y en el 21,11% en la fase de comprensión del conocimiento externo recién adquirido.

En particular, la existencia de un buen equipo de guardianes del conocimiento se revela como el factor más destacado, con una contribución del 20,65% a la varianza explicada de la capacidad de absorción potencial globalmente considerada, y de un 21,24% en la dimensión relativa al reconocimiento de conocimiento externo valioso, y del 13,41% en lo que a la fase de adquisición se refiere. Por el contrario, la existencia de un buen equipo de guardianes del conocimiento no constituye un factor relevante en el caso de la comprensión del conocimiento externo recién adquirido. Así pues, las hipótesis desagregadas H1a y H1b se satisfacen, al igual que la hipótesis agregada H1, pero no así la hipótesis desagregada H1c.

Por lo demás, volviendo a la capacidad de absorción en su conjunto, los tres elementos restantes (intercambio de conocimiento con el exterior basado en las TIC, intercambio de conocimiento con el exterior basado en la interacción social y existencia de procedimientos formales para la gestión del conocimiento externo) ejercen una influencia muy semejante (8,02%, 7,60% y 7,55%, respectivamente) y, además, significativa (esto es, las hipótesis agregadas H2, H3 y H4 se aceptan).

En particular, el intercambio de conocimiento con el exterior basado en la interacción social resulta ser relevante para todas las dimensiones de la capacidad de absorción, lo mismo que la existencia de procedimientos formales para la gestión del conocimiento externo (este último elemento constituye, además, el factor más importante para la adecuada comprensión del conocimiento externo recién adquirido). En consecuencia, las hipótesis desagregadas H3a, H3b, H3c, H4a, H4b y H4c se satisfacen. En cambio, el intercambio de conocimiento con el exterior basado en las TIC tan sólo es relevante en las fases de reconocimiento y adquisición del conocimiento externo valioso. Esto es, si bien las hipótesis desagregadas H2a y H2b se aceptan, la hipótesis H2c se rechaza.

La tabla II muestra los resultados obtenidos en modelos de factores organizativos y de gestión que favorecen la capacidad de absorción realizada son los siguientes:

Tal y como puede verse en la tabla II, los factores organizativos y de gestión considerados logran explicar el 47,95% de la capacidad de absorción realizada contemplada en su conjunto, así como el 43,75% y el 37,67% de las dos dimensiones que la configuran (integración y explotación).

Concretamente, la existencia de una cultura innovadora constituye el factor organizativo más relevante, tanto para la integración del conocimiento recién adquirido, como para la explotación del conocimiento recién generado y, por supuesto, para la capacidad de absorción realizada globalmente considerada (contribución a la varianza explicada: 21,31%). Por lo

TABLA 2
EVALUACIÓN DEL MODELO (FACTORES ORGANIZATIVOS Y DE GESTIÓN QUE FAVORECEN LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN REALIZADA)

		Interfaces transfuncionales	Redes sociales informales	Procedimientos formales GCO	Centralización organizativa	Canales de comunicación	Cultura innovadora	Total varianza explicada
Integración	Path	0,256**	0,142*	0,239***	-0,049	-0,034	0,323***	
	Correlación	0,475	0,367	0,435	-0,135	0,264	0,502	
	Contr. a R ²	12,16%	5,21%	10,40%	0,66%	-0,90%	16,21%	43,75%
Explotación	Path	0,141 †	0,081	0,230**	0,016	-0,01	0,403***	
	Correlación	0,357	0,286	0,408	-0,057	0,256	0,528	
	Contr. a R ²	5,03%	2,32%	9,38%	-0,09%	-0,26%	21,28%	37,67%
Capacidad de absorción realizada	Path	0,230**	0,127 †	0,255**	-0,03	-0,027	0,384***	
	Correlación	0,466	0,363	0,46	-0,115	0,282	0,555	
	Contr. a R ²	10,72%	4,61%	11,73%	0,35%	-0,76%	21,31%	47,95%

Notas: GCO: Gestión del conocimiento organizativo.

† Significativo al 90%; * Significativo al 95%, ** Significativo al 99%; ***Significativo al 99,9%.

Fuente: Elaboración propia (2018).

tanto, la hipótesis H10 y sus correspondientes hipótesis desagregadas H10a y H10b se satisfacen plenamente.

A continuación, los interfaces transfuncionales (o mecanismos de coordinación y colaboración entre diferentes unidades organizativas), junto con la existencia de procedimientos formales para la gestión del conocimiento organizativo, son los dos factores siguientes en orden de importancia, tanto para la integración del conocimiento externo recién adquirido, como para la explotación del conocimiento recién generado y, en consecuencia, para la capacidad de absorción realizada en su conjunto (contribución a la varianza explicada: 10,72% y 11,73%, respectivamente). Así pues, las hipótesis H5 y H7 también se aceptan, al igual que las hipótesis desagregadas H5a, H5b, H7a y H7b.

En cambio, la existencia de redes sociales informales sólo es relevante para la fase de integración del conocimiento recién adquirido y también para la capacidad de absorción realizada globalmente considerada (esto es, la hipótesis desagregada H6a se acepta, así como la hipótesis agregada H6, pero no así la hipótesis desagregada H6b), mientras que la descentralización en la toma de decisiones y la agilidad y fluidez de los canales de comunicación no ejercen una influencia significativa en ninguna dimensión (es decir, las hipótesis agregadas H8 y H9 se rechazan, lo mismo que sus correspondientes hipótesis desagregadas).

Profundizando un poco más en la cuestión referente a los interfaces transfuncionales (al tratarse de un constructo de carácter formativo) tiene sentido preguntarse qué tipo de interfaz en particular resulta más eficaz. Los pesos de los indicadores de dicho constructo nos muestran que el hecho de recurrir a la figura del denominado «personal de enlace» con el propósito de coordinar los esfuerzos de varios departamentos en el desarrollo de

un proyecto concreto constituye un mecanismo especialmente eficaz, seguido a bastante distancia por la configuración de equipos temporales que fomenten la colaboración entre diferentes unidades organizativas en un proyecto específico. Por el contrario, los interfaces que no están vinculados al desarrollo de proyectos concretos no ejercen un papel tan relevante a la hora de fomentar la capacidad de absorción realizada.

CONCLUSIONES ↓

Comenzando por la capacidad de absorción potencial, según los análisis realizados, la existencia de un buen equipo de guardianes del conocimiento (es decir, la disponibilidad de un grupo cualificado de profesionales dedicado a la realización de tareas de vigilancia tecnológica, que cuenta con los medios necesarios para ello), constituye, sin lugar a dudas, el elemento más importante de cara a favorecer la capacidad de absorción potencial.

Cohen y Levinthal (1990) ya ponían de manifiesto la relevancia de esta figura cuando se trata de estar al tanto de conocimiento técnico complejo. Los guardianes del conocimiento se encargan de supervisar el entorno y «traducir» la información técnica de modo que sea comprensible para sus usuarios dentro de la empresa.

No obstante, el fomento de actividades que posibilitan el intercambio de conocimiento con el exterior basado en las TIC (participación en comunidades y foros de discusión *online*, *blogs* y redes sociales virtuales), junto con la promoción de actividades que favorecen la interacción social con agentes externos (como por ejemplo, participación en congresos, jornadas, *workshops* o similares, participación en cursos de formación presencial, en eventos organizados por asociaciones profesionales, asociaciones sectoriales o clúster, o bien, por colaboradores tecnológicos) y el establecimiento de procedi-

mientos formales relativos a la gestión del conocimiento externo (procedimientos para recopilar y difundir dicho conocimiento entre las personas potencialmente interesadas) se revelan también muy relevantes.

La interacción entre empresas permite desarrollar un mayor conocimiento mutuo que redunde en la generación de confianza (Parise y Prusak, 2006; Schilling, 2011), lo que a su vez posibilita que los socios colaboren y compartan conocimiento sin temor a comportamientos oportunistas o a una apropiación indebida del mismo (Parise y Prusak, 2006). Además, la frecuencia de interacción puede contribuir al desarrollo de formas comunes a la hora de comprender y articular el conocimiento antes de que los socios sean capaces de proceder a su transferencia (Zander y Kogut, 1995; Szulanski, 1996; Schilling, 2011).

Por otra parte, los resultados obtenidos confirman los argumentos de Zahra y George (2002) sobre la relevancia de una amplia y profunda exposición de la empresa a fuentes externas de conocimiento a efectos de promover la exploración de nuevas posibilidades. Asimismo, recalcan la relevancia de arbitrar los mecanismos necesarios para que el nuevo conocimiento captado por los individuos de la organización se convierta en conocimiento o «capital organizativo» (Subramaniam y Youndt, 2005). Esto es, conocimiento institucionalizado y experiencia codificada residentes en bases de datos, manuales, procesos, etc.

En el caso de la capacidad de absorción realizada, la existencia de una cultura que hace de la innovación bandera es lo que favorece en mayor medida que el conocimiento tecnológico externo recién incorporado sea transformado en fuente de ingresos. Estos resultados confirman los obtenidos por Bierly *et al.* (2009), quienes apuntaban y confirmaban que una cultura organizativa caracterizada por una fuerte orientación hacia la innovación y hacia el emprendimiento podía ser de gran ayuda para cimentar la capacidad de absorción. En particular, una cultura de tales características promueve la aplicación o explotación del nuevo conocimiento integrado, ya que institucionaliza la búsqueda constante de la innovación y el aprendizaje organizativo, y contribuye a minimizar la resistencia al cambio a través de la promoción de una comunicación e intercambio de conocimiento abiertos (Tushman y Smith, 2002; Smith y Tushman, 2005).

En segundo lugar, son los distintos mecanismos relacionados con la gestión del conocimiento los que contribuyen de forma significativa a mejorar la capacidad de absorción realizada. Esto es así tanto para los mecanismos orientados a favorecer la interacción social entre individuos (interfaces transfuncionales y redes sociales informales, principalmente), como para aquellos que están más orientados a la gestión del conocimiento codificado (repositorios *online*, bibliotecas de mejores prácticas y bases de datos).

En relación con el rol desempeñado por los interfaces transfuncionales y las redes sociales informales, los resultados obtenidos confirma las investigaciones prelimina-

res de Van den Bosch *et al.* (1999), Gupta y Govindarajan (2000), Jansen (2005), Jansen *et al.* (2005) y Hotho *et al.* (2012).

Por una parte, los mecanismos formales de integración social (interfaces transfuncionales) facilitan la distribución de información entre los miembros de la empresa, a la vez que también permiten recopilar distintas interpretaciones e identificar tendencias (Zahra y George, 2002). Los citados mecanismos posibilitan la integración de distintos componentes de conocimiento y alcanzar el nivel deseado de redundancia organizativa (Daft y Lengel, 1986; Cohen y Levinthal, 1990; Jansen *et al.*, 2005). En definitiva, los mecanismos formales de integración social posibilitan combinar el conocimiento previamente existente con el conocimiento recién adquirido, a la vez que también proporcionan un modo efectivo de generar compromiso e implantar decisiones (Jansen *et al.*, 2005).

Por otro lado, las redes sociales informales contribuyen a la generación de confianza y promueven la comunalidad del conocimiento (Rowley *et al.*, 2000; Jansen *et al.*, 2005). Además, reducen la probabilidad de conflictos, tanto a la hora de establecer objetivos, como en los procesos de implantación (Rindfleisch y Moorman, 2001; Jansen *et al.*, 2005).

Respecto a la existencia de procedimientos formales para el almacenamiento y acceso al conocimiento organizativo, de nuevo, se comprueba la relevancia de su existencia a efectos de permitir recuperar, transmitir y reutilizar el conocimiento organizativo de forma cómoda y sencilla (Debowski, 2006).

Sin embargo, ni la centralización organizativa ni los canales de comunicación desempeñan un papel relevante.

En virtud de los resultados obtenidos, las implicaciones prácticas que caben señalar son que la gestión del conocimiento da frutos y que, por lo tanto, diseñar una estrategia en este ámbito e invertir en la implantación de diferentes mecanismos para la gestión del conocimiento codificado o explícito y para la gestión del conocimiento tácito o basado en la experiencia, realmente, merece la pena.

Además, las cifras demuestran que la gestión de ambos tipos de conocimiento es igualmente importante, ya que, el impacto sobre la capacidad de absorción de los distintos mecanismos orientados a favorecer el intercambio de conocimiento explícito o codificado (principalmente, a través de las TIC) y de las distintas iniciativas apoyadas en la interacción social («cara a cara») entre individuos (y, por lo tanto, más orientadas a favorecer el intercambio de conocimiento tácito) es muy semejante. Esto es así tanto de puertas para adentro (intercambio de conocimiento en el seno de la organización) como de puertas para fuera (intercambio de conocimiento con el exterior).

En consecuencia, queda claro que la gestión del conocimiento va más allá de la instalación de plataformas

informáticas o de sistemas de información muy sofisticados (enfoque tradicionalmente predominante a la hora de encarar la gestión del conocimiento en las organizaciones) y que debe incluir también el cultivo de otros mecanismos que favorezcan la interacción social («cara a cara») entre individuos.

En cualquier caso, con el fin de favorecer el reconocimiento de conocimiento externo valioso (si recordamos, una de las dimensiones de la capacidad de absorción más importantes), su adquisición y posterior difusión entre los miembros de la organización, el hecho de disponer de un equipo de personas explícitamente encargadas de la labor de vigilancia tecnológica y con los medios adecuados para ello es una cuestión que, realmente, marca la diferencia, por lo que merece la pena apostar por ella.

Igualmente, de cara a fomentar la posterior explotación del conocimiento absorbido (la segunda dimensión más destacada de la capacidad de absorción), la existencia de una cultura realmente innovadora constituye el elemento que debe favorecerse en mayor medida.

BIBLIOGRAFÍA

Allee, V. (2003), *The Future of Knowledge: Increasing Prosperity through Value Networks*, Elsevier, Burlington, MA.

Allen, T.J. (1977), *Managing the Flow of Technology: Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R&D Organization*, MIT Press, Cambridge, MA.

Almeida, P. and Kogut, B. (1999), «Localization of knowledge and the mobility of engineers in regional networks», *Management Science*, Vol. 45, No. 7, pp. 905-917.

Atuahene-Gima, K. (2003), «The effects of centrifugal and centripetal forces on product development speed and quality: How does problem solving matter?», *Academy of Management Journal*, Vol. 46, No. 3, pp. 359-374.

Bierly, P.E., Damanpour, F. and Santoro, M.D. (2009), «The application of external knowledge: Organizational conditions for exploration and exploitation», *Journal of Management Studies*, Vol. 46, No. 3, pp. 481-509.

Bourdieu, P. (1986), «The forms of capital» in Richardson, J.G. (Ed.), *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*, Greenwood Press, Westport, CT, pp. 241-258.

Cardinal, L.B. (2001), «Technological innovation in the pharmaceutical industry: The use of organizational control in managing research and development», *Organization Science*, Vol. 12, No. 1, pp. 19-36.

Cepeda, G. and Roldán, J.L. (2005), *Aplicando en la Práctica la Técnica PLS en la Administración de Empresas*. Unpublished manuscript.

Cohen, W.M. and Levinthal, D.A. (1989), «Innovation and learning: The two faces of R&D», *Economic Journal*, Vol. 99, No. 397, pp. 569-596.

Cohen, W.M. and Levinthal D.A. (1990), «Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation», *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 1, pp. 128-152.

Daft, R.L. and Lengel, R.H. (1986), «Organizational information requirements, media richness, and structural de-

sign», *Management Science*, Vol. 32, No. 5, pp. 554-571.

Dalkir, K. (2005), *Knowledge Management in Theory and Practice*, Elsevier Inc., Oxford, UK.

Damanpour, F. (1991), «Organizational innovation: A meta-analysis of effects of determinants and moderators», *Academy of Management Journal*, Vol. 34, No. 3, pp. 555-590.

Debowski, S. (2006), *Knowledge Management*, John Wiley & Sons Australia, Milton, Qld.

Edstrom, A. and Galbraith, J.R. (1977), «Transfer of managers as a coordination and control strategy in multinational organizations», *Administrative Science Quarterly*, Vol. 22, No. 2, pp. 248-263.

Ghoshal, S. and Bartlett, C.A. (1988), «Creation, adoption and diffusion of innovation by subsidiaries of multinational corporations», *Journal of International Business Studies*, Vol. 19, No. 3, pp. 365-388.

Granovetter, M.S. (1992), «Problems of explanation in Economics Sociology», in Nohria, N., and Eccles, R. (Eds.), *Networks and Organizations: Structure, Form, and Action*, Harvard Business School Press, Boston, MA, pp. 25-56.

Gupta, A.K. and Govindarajan, V. (2000), «Knowledge flows within multinational corporations», *Strategic Management Journal*, Vol. 21, No. 4, pp. 473-496.

Hansen, M.T. (1999), «The search-transfer problem: The role of weak ties in sharing knowledge across organizational subunits», *Administrative Science Quarterly*, Vol. 44, No. 1, pp. 82-112.

Henderson, R. and Cockburn, I. (1994), «Measuring competence? Exploring firm effects in pharmaceutical research», *Strategic Management Journal*, Vol. 15, Winter, pp. 63-84.

Hotho, J.J., Becker-Ritterspach, F. and Saka-Helmhout, A. (2012), «Enriching absorptive capacity through social interaction», *British Journal of Management*, Vol. 23, No. 3, pp. 383-401.

Jablin, F.M. (1979), «Superior-subordinate communication: The state of the art», *Psychological Bulletin*, Vol. 86, No. 6, pp. 1201-1222.

Jansen, J.J.P. (2005), *Ambidextrous Organizations: A Multiple-Level Study of Absorptive Capacity, Exploratory and Exploitative Innovation and Performance*, ERIM Ph.D. Series Research in Management, No. 55, Erasmus Research Institute of Management, Rotterdam, The Netherlands.

Jansen, J.J.P., Van den Bosch, F.A.J. and Volberda, H.W. (2005), «Managing potential and realized absorptive capacity: How do organizational antecedents matter?», *Academy of Management Journal*, Vol. 48, No. 6, pp. 999-1015.

Jansen, J.P.P., Tempelaar, M.P., Van den Bosch, F.A.J. and Volberda, H.W. (2009), «Structural differentiation and ambidexterity: The mediating role of integration mechanisms», *Organization Science*, Vol. 20, No. 4, pp. 797-811.

March, J.G. (1991), «Exploration and exploitation in organizational learning», *Organization Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 71-87.

Nonaka I. and Takeuchi H. (1995), *The Knowledge-Creating Company*, Oxford University Press, New York.

Nord, W.R. and Tucker, S. (1987), *Implementing Routine and Radical Innovation*, Lexington Books, Lexington, MA.

Lane, P.J., Koka, B.R. and Pathak, S. (2006), «The reification of absorptive capacity: A critical review and rejuvena-

tion of the construct», *Academy of Management Review*, Vol. 31, No. 4, pp. 833–863.

Leonard-Barton, D. (1995), *Wellspring of Knowledge*, Harvard Business School Press, Boston, MA.

Parise, S. and Prusak, L. (2006), «Partnerships for knowledge creation», in Prusak, L. and Matson, E. (Eds.), *Knowledge Management and Organizational Learning*, Oxford Management Readers, New York, NY, pp. 125-135.

Rindfleisch, A. and Moorman, C. (2001), «The acquisition and utilization of information in new product alliances: A strength-of-ties perspective», *Journal of Marketing*, Vol. 65, No. 2, pp. 1-18.

Rowley, T., Behrens, D. and Krackhardt, D. (2000), «Redundant governance structures: An analysis of structural and relational embeddedness in the steel and semiconductor industries», *Strategic Management Journal*, Vol. 21, No. 3, pp. 369-386.

Sáenz, J., Aramburu, N. and Blanco, C.E. (2012), «Knowledge sharing and innovation in Spanish and Colombian high-tech firms», *Journal of Knowledge Management*, Vol. 16, No. 6, pp. 919-933.

Schilling, M.A. (2011), *Strategic Management of Technological Innovation*, Third edition, McGraw-Hill International Edition, Singapore.

Sheremata, W.A. (2000), «Centrifugal and centripetal forces in radical new product development under time pressure», *Academy of Management Review*, Vol. 25, No. 2, pp. 389-408.

Smith, W.K. and Tushman, M.L. (2005), «Managing strategic contradictions: A top management model for managing innovation streams», *Organization Science*, Vol. 16, No. 5, pp. 522-536.

Subramaniam, M. and Youndt, M.A. (2005), «The influence of intellectual capital on the types of innovative capabilities», *Academy of Management Journal*, Vol. 48, No. 3, pp. 450-463.

Szulanski, G. (1996), «Exploring internal stickiness: Impediments to the transfer of best practice within the firm», *Strategic Management Journal*, Vol. 17, winter special issue, pp. 27-43.

Van Maanen, J. and Schein, E.H. (1979), «Toward a theory of organizational socialization», in Staw, B.M. (Ed.), *Research in Organizational Behavior*, Vol. 1, Jay Press, Greenwich, CT, pp. 209-264.

Todorova, G. and Durisin, B. (2007), «Absorptive capacity: Valuing a reconceptualization», *Academy of Management Review*, Vol. 32, No. 3, pp. 774-786.

Tushman, M.L. (1977), «Communications across organizational boundaries: Special boundary roles in the innovation process», *Administration Science Quarterly*, Vol. 22, No. 4, pp. 587-605.

Tushman, M.L. and Smith, W. (2002), «Technological change, ambidextrous organizations and organizational evolution», in Baum, J. (Ed.), *Blackwell Companion to Organizations*, Blackwell, London, UK, pp. 386-414.

Youndt, M.A., Subramaniam, M. and Snell, S.A. (2004), «Intellectual capital profiles: an examination of investments and returns», *Journal of Management Studies*, Vol. 41, No 2, pp. 335-362.

Zahra, S.A. and George, G. (2002), «Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension», *Academy of Management Review*, Vol. 27, No. 2, pp. 185-203.

Zander, U. and Kogut, B. (1995), «Knowledge and the speed of the transfer and imitation of organizational capabilities: An empirical test», *Organization Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 76-92.

La Agencia Internacional de la Energía publica cada mes de noviembre el *World Energy Outlook* ("WEO"), título que podría traducirse al español como *Perspectiva Energética Global*. El objetivo de la obra es presentar varios escenarios que describan el futuro de la energía en el mundo hasta el año 2040. Los escenarios están basados en la descripción fidedigna del presente energético global y en la utilización del modelo econométrico "*World Energy Model*", propiedad de la Agencia Internacional de la Energía.

PERSPECTIVA ENERGÉTICA GLOBAL 2018

El cuadro energético mundial en 2017, año base de la edición de 2018, se fundamenta en la mejor base de datos internacional en materia de energía. La información la proporcionan los gobiernos de los treinta Estados miembros de la Agencia Internacional de la Energía y de los Estados asociados, que incluyen a los gigantes China, India y Brasil. Los Estados miembros y asociados representan aproximadamente el 70% del consumo de energía primaria del mundo. Con esta información, el WEO analiza las tendencias más importantes en un mundo cada vez más interconectado en cuanto a los flujos de materias primas energéticas y de información, a las innovaciones tecnológicas y a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los tres escenarios principales, cero, base y objetivo, son respectivamente: el Escenario de Políticas Vigentes ("CPS"), el Escenario de Nuevas Políticas ("NPS") y el Escenario de Desarrollo Sostenible ("SDS"). El CPS refleja exclusivamente las políticas energéticas (inversiones, compromisos medioambientales, etc.) en vigor. El NPS incorpora el impacto de las políticas energéticas anunciadas por los gobiernos (1). El tercer escenario, SDS, que se introdujo en la edición del año pasado, se define partiendo de un futuro, año 2040, en el que se han alcanzado los objetivos marcados por la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas ("SDG") relativos a la energía, para, a continuación, retrotraer hacia el presente cuál tendría que ser evolución del sistema energético mundial para lograrlos. Estos objetivos son: acceso universal (SDG 7), reducción de la polución en el aire (SDG 3.9) y mitigación del cambio climático -cumplimiento del Acuerdo de París (SDG 13).

La estructura del WEO 2018, como en ediciones anteriores, consta de tres partes que se extienden a lo largo de 514 páginas y de varios apéndices de datos (128 páginas). La primera parte, tendencias energéticas globales, se compone de los siguientes capítulos: primero, resultados más relevantes; segundo, energía y objetivos de desarrollo sostenible, en el que se expone en detalle el SDS; tercero, cuarto y quinto, respectivamente, monográficos del petróleo, del gas natural y del carbón; sexto y último de la primera parte, eficiencia energética y energías renovables.

Como en ediciones anteriores, el WEO dedica su segunda parte a un aspecto energético cuya relevancia se busca destacar. El WEO 2018 versa sobre la electricidad, que es el uso final de la energía que más crecerá en los próximos veinticinco años. Esta parte consta de los siguientes capítulos: séptimo y octavo, presente y proyección de la oferta y de la demanda eléctrica; noveno, análisis de sensibilidad de los escenarios principales con respecto a diversas variables clave en el progreso de la electrificación mundial y presentación del escenario Futuro Eléctrico ("FE"); capítulo décimo, último de monográfico, evaluación de las implicaciones de la creciente electrificación desde una perspectiva estratégica: seguridad, coste e implicaciones medioambientales.

La tercera y última parte, "*WEO Insight*" presenta por primera vez una estimación del conjunto de las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la producción de petróleo y gas natural para; a continuación, propone soluciones para mitigarlas. Esta parte consta de un único capítulo, undécimo.

Tas esta introducción, la siguiente sección expone los tres mensajes clave o conclusiones de la edición de 2018 del WEO. La última sección explora con algún detalle el escenario de desarrollo sostenible cuyo análisis y comparación con el escenario central supone, para el autor de este artículo, la pieza de mayor interés del WEO.

TRES MENSAJES CLAVE SOBRE EL PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

De la comparación entre los escenarios base y de desarrollo sostenible (SDS), se deduce que sería necesario un incremento del 12,8% de las inversiones acumuladas mundiales en materia energética, hasta 2040, con respecto a las anunciadas (escenario NPS), para alcanzar la sostenibilidad medioambiental energética y lograr el acceso universal a la energía limpia (2). Antes de extraer conclusiones basadas en este resultado, se deben de realizar dos precisiones:

- Primera, el WEO presenta esta cifra en el contexto de la "enorme" divergencia entre los escenarios

NDP y SDS. Como cabe esperar, la aplicación de los fondos difiere entre ambos escenarios: las energías limpias y las inversiones en eficiencia en el uso final de la energía cobran mayor protagonismo en el SDS. En 2015, la Agencia Internacional de la Energía identificó cinco áreas de actuación sin coste neto para alcanzar un pico de emisiones en los siguientes años: invertir en fuentes de energías renovables, reducir las emisiones de metano del sector petrolero y gasista, cerrar las centrales eléctricas de carbón más ineficientes, reducir los subsidios a los combustibles fósiles, promover la eficiencia energética. De todas ellas, solamente se ha avanzado conforme al calendario recomendado por la Agencia en las inversiones en fuentes de energía renovables.

- Segunda, los Estados, que son los principales actores energéticos, como se expondrá más adelante, son soberanos. Al encontrarse en diversas fases de su desarrollo económico y estar dotados de diferentes recursos naturales, sus prioridades no son homogéneas.

Tras estas reservas, estamos en condiciones de proponer la conclusión principal del WEO 2018 según nuestro criterio: **un refuerzo de la cooperación internacional y un aumento del 13% de las inversiones mundiales en materia de energía permitirían al planeta alcanzar la sostenibilidad energética.**

El segundo mensaje clave del WEO 2018 se expone con rotundidad en su primera sección, resumen de la obra: **un nuevo sistema energético mundial está emergiendo.** Las cinco claves que articulan esta transformación son las siguientes:

- Primera: el cambio demográfico y humano en marcha que implica un aumento de la demanda mundial de energía primaria de un 27% en 2040 con respecto a 2017. Sin un esfuerzo sostenido de eficiencia energética, el incremento de la demanda sería el doble, dado el aumento previsto de la población mundial de 1.700 millones de personas en ese horizonte.
- Segunda: la demanda y las inversiones energéticas mundiales se están desplazando hacia Asia. El continente asiático representa aproximadamente el 50% del incremento de la demanda de gas natural, el 80% de la de petróleo, el 100% de la de carbón, el 60% de la generación eléctrica eólica y solar fotovoltaica y la práctica totalidad de las nuevas instalaciones nucleares. Hace quince años, las empresas eléctricas europeas eran las más grandes del mundo en capacidad instalada; en 2017, seis de las diez primeras son chinas. Asia emerge como centro del comercio mundial de hidrocarburos, desde un 50% en el presente hasta los dos tercios en 2040. La demanda eléctrica en China doblará la de los EE.UU. en 2040, con India en un tercer puesto, no muy distante.

- Tercera: la revolución del petróleo y gas no convencional (*shale gas, tight oil*) continúa la transformación de la industria energética mundial. Según la Agencia Internacional de la Energía, los EE.UU. producirán un 20% del petróleo y un 25% del gas del mundo en 2025. Esta cifra profundiza en la situación actual: en 2017, los EE.UU. ya fueron el primer productor de gas natural y de petróleo del mundo. En este año, los EE.UU. produjeron 760bcm de gas natural, 20% del total mundial; la producción de Rusia y del Oriente Medio fue, respectivamente, 694bcm y 620bcm. En cuanto al crudo, los EE.UU. bombearon 13,2mmbbl/d en 2017, un 14% de la producción mundial de 92,8 millones de barriles diarios. En 2025, el peso de la producción de los EE.UU. en el mundo habrá aumentado, dado que asumirán el 70% del crecimiento de la demanda de crudo y 40% de la de gas natural. En 2017, un tercio de la producción de petróleo de los EE.UU. fue no convencional; se espera que este porcentaje sea del 50% a cinco años vista.
- Cuarta: aplicaciones energéticas de las tecnologías de la información y de las comunicaciones, que habilitan nuevos modelos de negocio y son génesis de cambios en los vigentes. La gestión de la demanda y la coordinación de la generación renovable con sistemas de baterías son ejemplos de aplicaciones de nuevas tecnologías a los sistemas eléctricos.
- Quinta, electrificación creciente e irrupción de las renovables en el mix de generación. El WEO selecciona la electricidad como tema central de su edición de 2018. En el año 2000, la energía eléctrica representaba 15% de la demanda final de la energía. En 2017, este porcentaje había aumentado hasta el 19%, que implica un crecimiento anual del 3%, muy por encima del 1% experimentado por de la demanda de energía final en su conjunto. Las economías en desarrollo o emergentes han acumulado 85% de la electrificación incremental desde el comienzo del siglo XXI. Sin embargo, la energía eléctrica supone menos de la mitad del petróleo como uso final de la energía (43%). En el año 2040, la Agencia Internacional de la Energía espera que la electricidad suponga 25% de la demanda energía final. La irrupción de las tecnologías de generación eléctrica a partir de fuentes renovables, fundamentalmente eólica y fotovoltaica, está transformando el mix de generación de las economías avanzadas. Las características de las energías renovables, en su uso para la generación eléctrica, requiere vigilar la estabilidad de los sistemas eléctricos de potencia y adoptar una regulación que garantice una reserva de capacidad adecuada.

Los datos y resultados del WEO, algunos apuntados anteriormente, describen un cambio, la transición energética que resuena, pero, sin embargo, no impli-

can que las fuentes y usos finales de la energía vayan a ser muy diferente en las próximas dos décadas, a escala global, de lo que lo son en el presente. El sistema energético mundial tiene una enorme inercia. En 2017, los combustibles fósiles representaban 81% del total de energía primaria mundial. En el escenario central, NPS, dicho porcentaje habrá caído al 78% en 2025 y al 74% en 2040. Solamente en el escenario de desarrollo sostenible, el consumo de energía primaria fósil se habrá reducido hasta el 60% del total en 2040. ¿Cómo es esto posible ante la percepción del avance imparable de las energías renovables en nuestro entorno? Entre otras razones, podrían apuntarse las siguientes:

- Primera, porque la emergencia de Asia como gran consumidor de energía no está acompañada necesariamente con la renuncia a las energías fósiles en este continente. Por una parte, aunque este hecho ya ha sido expuesto más arriba con otros datos complementarios, en el año 2000, Europa y Norteamérica demandaban 47% del total mundial de energía primaria; China, India y el Sudeste Asiático, un 20%. En el año 2017, el mapa de la energía primaria había cambiado sensiblemente desde principios de siglo, por dos razones principales. La primera, la demanda había aumentado 39% hasta los 13.972 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe). La segunda, porque la cuota conjunta de Europa y Norteamérica había caído al 33% y la de Asia, ex Japón, había aumentado al 38%. Esta tendencia llevará al continente asiático a demandar 45% de la energía primaria del mundo en 2030.

En 2017, las energías renovables representaban 16% del consumo final de energía en la Unión Europea pero solamente la mitad de esta cifra, un 8%, en China. En 2025, en el escenario central, las renovables habrán incrementado su cuota sobre el consumo final de energía hasta el 22% en la Unión Europea; mientras, en China este porcentaje será del 11%, también la mitad. En ese mismo año, China emitirá aproximadamente cuatro veces más dióxido de carbono a la atmósfera que la Unión Europea (9.689Mt y 2.663Mt, respectivamente).

- Segunda, un incremento de la eficiencia en el uso de los carburantes de automoción, que la Agencia Internacional de la Energía estima en 24 millones de barriles diarios en 2040, en particular derivada de la implementación de estándares medioambientales más estrictos y del aumento del parque vehículos híbridos en diferentes regiones del mundo, constituirían, en el horizonte de proyección del WEO, un instrumento aún más eficaz que la introducción de vehículos eléctricos en la reducción de la demanda mundial de combustibles fósiles. El transporte por carretera (vehículos privados, de mercancías y de pasajeros) supone 41 millones de barriles diarios, 43% de la demanda actual total de crudo (3). Si la efi-

ciencia de todos los automóviles en circulación en el mundo fuese la de los de la Unión Europea (7,3 litros a los 100 kilómetros), el consumo mundial de crudo se reduciría en 6 millones de barriles diarios. Los 300 millones de coches eléctricos, 740 millones de motocicletas eléctricas, 30 millones de vehículos de mercancías y 4 millones de autobuses eléctricos que la Agencia Internacional de la Energía incluye en su escenario central para el año 2040 desplazarán un consumo equivalente de 5 millones de barriles diarios.

La tercera y última clave del panorama energético mundial que presenta la edición de 2018 del WEO es la **trascendental relevancia de las políticas públicas en la configuración del sistema energético mundial**. En palabras del Dr. Birol, Director Ejecutivo de la Agencia Internacional de la Energía: "el destino energético mundial reside en las decisiones y políticas gubernamentales". El 70% de los 2.000 millones de dólares (4) anuales de inversiones que la Agencia Internacional de la Energía estima necesarios para garantizar el suministro energético mundial, bien se acometen directamente por los Estados, bien cuentan con su garantía, total o parcial.

La Agencia Internacional de la Energía propone que las políticas energéticas de los Estados se diseñen o valoren conforme a su capacidad de avance de tres objetivos fundamentales o "pilares", como los denomina el WEO, que son: coste (bajo), fiabilidad (del suministro) y sostenibilidad. Como la consecución simultánea de los tres puede ser incompatible, se abre un espacio de negociación o "transacción" entre diferentes prioridades u opciones políticas para alcanzar la mejor solución a las necesidades energéticas de un Estado. En paralelo, por último, el WEO realiza la siguiente precisión relacionada con este marco de análisis: **las políticas y las innovaciones tecnológicas han de avanzar al unísono**.

LA ENERGÍA Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En su segundo capítulo, el WEO señala que los tres objetivos SDG relativos a la energía no son independientes entre sí. Esto nos induce a pensar en un posible efecto multiplicador de las políticas de lucha contra el cambio climático. Según el WEO, la incorporación masiva de las tecnologías de generación de energía eléctrica basadas en fuentes renovables a los sistemas eléctricos distribuidos permite un acceso a la energía a bajo coste que no incrementa las emisiones de CO₂ significativamente. La electrificación resultante y un incremento del uso final de las energías renovables demuestra que el acceso universal a la energía es compatible con la reducción de gases de efecto invernadero. Por otra parte, el acceso universal a una energía limpia reducirá un 70% las muertes prematuras relacionadas con la inhalación de gases producidos en la preparación de alimentos (5).

El escenario central, NPS, del WEO proyecta que en 2030 quedarán 650 millones de personas sin acceso a la energía eléctrica, la mayoría en África y que, en el mismo año, 2.200 millones de personas prepararán sus alimentos con combustibles sólidos (por ejemplo, leña o carbón vegetal). Las muertes prematuras derivadas de la insalubridad del aire respirado a la intemperie seguirán su tendencia ascendente y alcanzarán 4 millones anuales en 2040. Las emisiones mundiales de dióxido de carbono relacionadas con la energía también se incrementarán hasta los 35,8 mil millones de toneladas (gigatoneladas, Gt) en 2040. (En el año 2000, esta última cifra ascendió a 23,1Gt. En 2017, se registraron emisiones de 32,5Gt).

Como quedó señalado en la sección anterior, **el WEO plantea que es posible alcanzar un sistema energético mundial compatible con la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible SDG relacionados con la energía.** La Agencia Internacional de la Energía modeliza su escenario SDS partiendo de esta premisa. En el SDS, las emisiones mundiales de dióxido de carbono a la atmósfera en 2040 se habrán reducido hasta las 17,6Gt, aproximadamente la mitad que las registradas en 2017. Esto supone un decremento anual compuesto del 2,6% que se contrapone al incremento, también anual compuesto, del 2% entre los años 2000 y 2017.

El SDS implica profundos cambios en el sistema energético mundial. Los más importantes se señalan a continuación:

- Profundización y extensión de las iniciativas de eficiencia energética. La demanda final de energía en 2040 permanece prácticamente en el nivel de 2017: 9.958Mtoe en 2040 –9.696Mtoe en 2017. La demanda de carburantes de automoción se reducirá un 40% en el mismo periodo, principalmente debido a la mejora de la eficiencia energética de motores de combustión interna.
- Decreciente uso de energías fósiles (primarias). La demanda de carbón en 2040 se reduce aproximadamente a la mitad en 2040 en comparación con 2017 (1.597Mtoe y 3.750Mtoe, respectivamente); la de petróleo un 29% en el mismo periodo hasta los 3.156Mtoe. El gas natural aumenta ligeramente (447Mtoe) desde 2017 hasta 2030 para retroceder 121Mtoe hasta 2040.
- Creciente electrificación. La demanda de energía eléctrica sobre la demanda final de energía aumenta del 19% en 2017 al 28% en 2040. La demanda eléctrica en el sector transporte aumenta a la tasa anual del 11% hasta 2040, año en el que aproximadamente 50% de todos los automóviles serán eléctricos. La generación eléctrica mundial en 2040 será 45% (37.000TWh) a la de 2017.
- Auge de las renovables. En 2040, un 66% de la energía eléctrica será de origen renovable, por-

centaje que triplica el actual (2017), y un 85% será baja en carbono. En el periodo 2017-2040, la generación fotovoltaica se multiplica por diecisiete; la eólica, por siete. Un dato que apunta a la transformación en curso del mix de generación: en 2025, el 80% de las adiciones de capacidad de generación eléctrica serán renovables. Las emisiones medias de dióxido de carbono por kilovatio hora ("intensidad de carbono") se reducen desde 500 gramos de CO₂/kWh en 2017 hasta 70 gramos de CO₂/kWh en 2040.

Los párrafos anteriores presentan una visión de cómo será el panorama energético en 2040 de avanzar el mundo por la senda del desarrollo sostenible en materia de energía. Cabe preguntarse qué sería necesario para implementarlo. Sucintamente: mayores inversiones para transformar los usos finales de la energía y una mayor coordinación entre las diferentes políticas energéticas. La cooperación multilateral en materia de energía resulta esencial. El resto de esta sección a explora ambas palancas de cambio.

El escenario SDS requiere **un 13% más de inversiones mundiales en energía** que las previstas en el escenario central (NPS). Sigue un **análisis de la aplicación de estos fondos** que informa sobre la verdadera magnitud del cambio en el sistema energético mundial necesario para que éste avance por la senda del desarrollo sostenible.

La Agencia Internacional de la Energía discrimina dos grandes grupos de inversiones: las destinadas a la producción (oferta) y las aplicadas en tecnologías o infraestructuras relacionadas con los usos finales de la energía (demanda). A su vez, las inversiones de capital en producción energética se dividen en tres categorías: combustibles fósiles, energías renovables y redes eléctricas –otra cuarta categoría, menor en cuantía, agrupa a otras inversiones misceláneas.

Las inversiones anuales, globales, en producción de energía en el primer periodo de la proyección del WEO 2018 (2018–2025) ascienden a 1.649 millardos de dólares en el escenario de Desarrollo Sostenible (SDS) y a 1.672 millardos en el NPS. La correspondiente cifra anual media del periodo 2010-2017 fue de 1.749 millardos de dólares. Estos datos indican que resulta necesario mantener aproximadamente el mismo nivel de inversiones anuales medias del periodo 2010-2017 hasta el año 2025 en la producción de energía independientemente del escenario energético. Sin embargo, la aplicación de estas inversiones varía sensiblemente entre los escenarios. En el escenario NPS, las inversiones anuales en producción de combustibles fósiles son de 967 millardos de dólares durante el primer periodo, 17% más que los 830 millardos anuales que prevé el SDS. Las inversiones en energías renovables en el SDS, como cabía esperar, asumen la menor inversión en producción de combustibles fósiles en este escenario y ascienden a 467 millardos anuales, 136 millones más que en el escenario central. Las inversiones en redes eléctricas no

aumentan apreciablemente en el escenario sostenible con respecto al central debido a la generación distribuida: 286 millardos de dólares anuales y 313 millardos de dólares, respectivamente. La media anual 2010-2017 fue de 264 millardos.

En el segundo periodo en el que divide el WEO su proyección, 2026-2040, las diferencias apreciadas en la aplicación de fondos en el primer periodo consolidan su tendencia. Así, en el SDS las inversiones anuales medias en producción de combustibles fósiles disminuyen hasta los 576 millardos de dólares, que son prácticamente la mitad de los 1.081 millardos anuales recogidos en el escenario NPS. Esta proporción se invierte para las renovables, cuyas inversiones anuales medias en el escenario sostenible casi doblan las apuntadas en el escenario central: 663 millardos y 380 millardos, respectivamente. En su conjunto, las inversiones totales en producción energética de este segundo periodo son ligeramente inferiores en el escenario sostenible (1.848 millardos de dólares anuales) que en el escenario central (1.909 millardos de dólares anuales). Como se ha referido anteriormente, el WEO asume que la población mundial aumentará en 1.700 millones de personas en 2040 y que la mayoría de ellas desarrollará su vida en áreas urbanas de las denominadas economías emergentes. Este incremento poblacional implica un aumento de la demanda de energía primaria en 2040 de un 27% con respecto a 2017.

Son las **inversiones de capital en los usos finales de la energía** previstas por la Agencia Internacional de la Energía las que suponen una mayor divergencia entre los dos escenarios analizados. Si las inversiones en aplicaciones relacionadas con la demanda final de la energía fueron de media 360 millardos de dólares anuales en el periodo 2010-2017, esta cifra se dobla en el escenario sostenible durante el primer periodo de la proyección (708 millardos de dólares anuales) y se incrementa considerablemente en el escenario central (545 millardos de dólares anuales). En el segundo periodo de la proyección, esta tendencia se acentúa: las inversiones anuales medias en los usos finales de la energía alcanzan los 1.409 millardos de dólares en el SDS y los 912 millardos en el NPS.

Una inspección de estas proyecciones revela que la Agencia Internacional de la Energía, bien en el escenario objetivo, bien en el central, pronostica un fuerte crecimiento sostenido en las inversiones en eficiencia energética, en aplicaciones y tecnologías que permitan usos directos de las renovables, en los vehículos eléctricos y en las tecnologías de captura y utilización de carbono (CCUS, por sus siglas en inglés). De lo anterior, podemos deducir que la Agencia Internacional de la Energía identifica significativas **oportunidades de mercado para las empresas que desarrollen su negocio alrededor de los usos finales de la energía**: su mercado mundial doblará su tamaño en diez años.

Lograr un acceso universal a la energía requeriría unas inversiones mucho menores. La Agencia Internacio-

nal de la Energía estima que serían necesarios aproximadamente 55 millardos de dólares anuales en el periodo 2018-2030, que se destinarían en su mayor parte a la electrificación. Esta cifra supone el doble de la incorporada en el escenario central NPS. Es decir, sería necesario comprometer aproximadamente 28 millardos de dólares anuales más, 82% en el África Subsahariana, para que todos los habitantes de planeta tuviesen acceso a los usos modernos de la energía en 2030. Esta cifra supone aproximadamente un 1,3% de las inversiones mundiales actuales en energía. En 2018, la Agencia Internacional de la Energía participó en un foro político internacional de alto nivel a instancias de las NN.UU. en el que se definieron acciones prioritarias para alcanzar los objetivos de acceso universal a la energía y a la preparación de alimentos en condiciones higiénicas. La edición de 2018 del WEO recoge un cuadro resumen de estas iniciativas.

ACCIONES CONCRETAS PROPUESTAS POR LA AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA

Una vez expuesto la cuantía de inversiones de capital necesarias para que el sector energético global se mueva por la senda del desarrollo sostenible, resulta necesario explicar qué políticas o **acciones concretas propone la Agencia Internacional de la Energía** para avanzar hacia dicho objetivo. Las inversiones del sector energético mundial, cuantificadas anteriormente, deberían de asociarse a estas acciones políticas.

Como se señaló en una sección anterior, la Agencia Internacional de la Energía identificó en 2015 cinco áreas de actuación sin coste neto para alcanzar un pronto pico de las emisiones: invertir en fuentes de energías renovables, reducir las emisiones de metano del sector petrolero y gasista, cerrar las centrales eléctricas de carbón más ineficientes, reducir los subsidios a los combustibles fósiles, promover la eficiencia energética. La Agencia Internacional de la Energía denominó Escenario Puente al sistema energético mundial resultante.

La edición de 2018 del WEO afirma que la reducción de emisiones de dióxido de carbono y de metano asociada a la consecución completa de estos cinco objetivos, según fueron definidos en 2015, representa aproximadamente la mitad de la necesaria para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible de 2030 (SDG) relacionados con la energía. Un tercio de esa mitad que falta habrá de provenir de otras fuentes de energía bajas en emisiones, que la Agencia Internacional de la Energía identifica como: la continuidad de la energía nuclear allí donde ésta sea factible, la sustitución de combustibles fósiles hacia aquellos menos intensivos en carbono (el gas natural) y tecnologías CCUS. Los dos tercios restantes hasta completar la mitad de la reducción de emisiones prevista en el SDS habrá de lograrse a través de una profundización en las cinco áreas de actuación propuestas en 2015.

Las inversiones en energías renovables en 2017 alcanzaron 300 millardos de dólares en el mundo, 6% menos que en 2016. La bajada de sus costes implica que la nueva capacidad instalada en 2017 aumentó 3% y se situó en 178 gigavatios (GW), de los que 97GW fueron de solar fotovoltaica. Los incrementos de capacidad de generación eléctrica renovable desde 2015 están alineados con el Escenario Puente.

Las emisiones mundiales de metano debidas a las actividades del sector petrolero y gasista han aumentado un 2% anual desde 2015. En 2017, éstas alcanzaron los 79 millones de toneladas (Mt). El 80% de estas emisiones proviene de la producción de hidrocarburos: 36Mt de la producción de petróleo y 29Mt de la de gas natural.

La Agencia Internacional de la Energía estima que la producción de petróleo es responsable de 95kg de CO₂ por cada barril equivalente de petróleo que pone a disposición de sus clientes, transformado como combustible o carburante. Como la combustión del barril equivalente produce aproximadamente 405kg de CO₂, esto significa que los procesos de producción y transporte serían responsables aproximadamente del 20% de las emisiones totales de CO₂ relacionadas con el petróleo. En el último capítulo de la edición de 2018 del WEO se proponen acciones específicas para conseguir una reducción del 45% de estas emisiones en producción, transporte y transformación del crudo. Según la Agencia Internacional de la Energía, estas propuestas no suponen costes netos adicionales para la industria.

La capacidad de generación eléctrica en centrales térmicas de carbón que prevalece en las economías emergentes es la de plantas de configuración subcrítica, que es la que mayores emisiones produce por unidad de energía eléctrica generada. El desmantelamiento de estas centrales térmicas de carbón menos eficientes y más contaminantes no ha progresado en línea con la senda marcada en 2015 a pesar de que la generación eléctrica procedente de centrales subcríticas ha descendido a una tasa del 2% anual. Aproximadamente el 45% de las centrales subcríticas de Asia tiene menos de 20 años de operación. Esto supone un riesgo para las futuras emisiones mundiales de dióxido de carbono.

Los subsidios mundiales a los combustibles fósiles ascendieron a cerca de 300 millardos de dólares en 2017. Los Estados del Oriente Medio son responsables de aproximadamente un tercio de esa cifra. Los subsidios a los combustibles fósiles en el mundo han caído un 4% desde 2015. Sin embargo, el porcentaje de emisiones de dióxido de carbono relacionadas directamente con estos subsidios se ha mantenido constante.

La edición de 2018 del WEO identifica la eficiencia energética como la palanca más efectiva para la reducción de emisiones de dióxido de carbono y afirma su estrecho vínculo con la eliminación de los subsidios a los combustibles fósiles. Esta afirmación ha

de leerse en clave global, no regional o europea, necesariamente. La Agencia Internacional de la Energía estima que el avance realizado desde 2013 en la eficiencia energética de los accionamientos industriales eléctricos, los electrodomésticos y la calefacción han sido satisfactorios. La acción política sobre la eficiencia en otros usos finales de la energía tales como el acondicionamiento de aire y la refrigeración no ha recibido idéntica atención

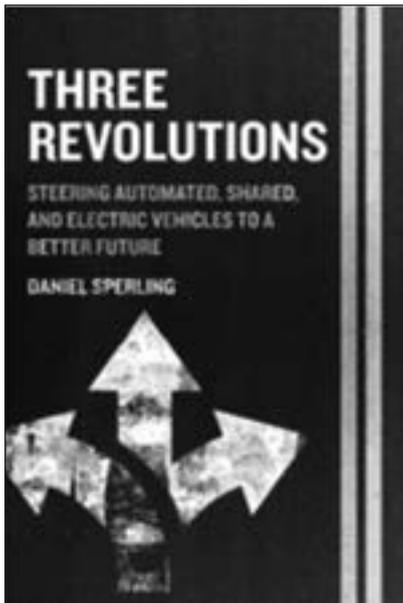
Para concluir la presente revisión de la edición de 2018 del WEO, la Agencia Internacional de la Energía recomienda que se coordinen las acciones públicas en materia de energía, en particular las siguientes:

- Contar con el sector eléctrico para el diseño de las políticas de potenciación de la electrificación para la reducción de las emisiones de dióxido de carbono.
- Mejorar el factor de capacidad de la generación renovable implementando acciones que flexibilicen los sistemas eléctricos de potencia, tales como: incremento de la capacidad de almacenamiento de energía, medidas de flexibilización de la demanda, mejora de la red eléctrica y despacho de las centrales programables.
- Contabilizar todas las emisiones de la producción de energía final para identificar las prioridades en la transformación del sector transporte: sustitución de carburantes, impulso al vehículo eléctrico.
- Evaluar todos los criterios presentes en el proceso de toma de decisiones individuales de demanda de movilidad, que incluyen aspectos relacionados con el comportamiento, social y con la disponibilidad de servicios sustitutivos (transporte colectivo).

■ Juan Ignacio del Castillo Campos

NOTAS

- (1) El NPS asume que las políticas anunciadas se llevarán a efecto y estima el horizonte temporal para el cumplimiento de sus objetivos específicos y medibles.
- (2) El acceso a la energía limpia evitaría millones de muertes al año. Se estima que se producen 2,6 millones de decesos prematuros anuales en el mundo por causa de la insalubridad del aire en los domicilios que resulta de la utilización de fuentes energéticas inapropiadas para la preparación de alimentos y la provisión de calor. Esta cifra es superior a las muertes causadas por el virus del SIDA y la malaria juntas. Las muertes prematuras debidas a la inhalación de aire insalubre fuera de las viviendas se estiman en 2,9 millones al año.
- (3) La diferencia entre la demanda (95,1 mmbbl/d) y la producción (92,8 mmbbl/d) en 2017 son ganancias de proceso.
- (4) Si no se indica lo contrario, todas las referencias monetarias son en términos nominales de 2017.
- (5) Con respecto a la utilización de combustibles fósiles para este fin, tradicional en las zonas más pobres del planeta.



THREE REVOLUTIONS

*Steering automated, shared,
and electric vehicles to a
better future*

Daniel Sperling

Island Press (2018)

En la actualidad el transporte desempeña un papel básico en una sociedad moderna como la que caracteriza a los países desarrollados, en los que es fundamental garantizar los desplazamientos de personas y mercancías de una forma eficiente desde la triple perspectiva económica, de seguridad y de flexibilidad. Si nos centramos en el ámbito del desplazamiento de las personas, sin duda uno de los principales objetivos al que nos enfrentamos es reducir los niveles de congestión que se han alcanzado en las grandes ciudades. De acuerdo con los datos del Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), actualmente más del 50% de las personas viven en ciudades, y en la UE el 80% de la población vive en zonas urbanas, mientras que en España lo hace el 70%.

Ante esta tendencia global de urbanización parece necesario que las ciudades implementen modelos de movilidad inteligentes que incorporen sistemas de transporte sostenibles. En este contexto no debemos olvidar que la sostenibilidad en el transporte es un concepto que tiene varias aristas: por un lado, la arista económica que está orientada fundamentalmente a la resolución de las situaciones de congestión que vive el transporte en muchos puntos; por otro lado, la arista medioambiental que se encuentra ligada de forma directa a la influencia que los sistemas de transporte ejercen sobre el medio ambiente a través de la emisión de gases o partículas contaminantes; y, por último, la arista social que está enfocada a mejorar las condiciones de salud, accesibilidad y habitabilidad de las personas, así como incorporar los conceptos de cohesión e integración. Pero hay que ser consciente de que el diseño de un modelo de movilidad inteligente y sostenible necesita de la gestión eficiente de otros componentes o variables que deberían mostrar una evolución lo más coherente y ambiciosa posible. Nos estamos refiriendo a los ámbitos energético, tecnológico y de políticas públicas, y con una visión hasta cierto punto revolucionaria que permita impulsar innovaciones que sirvan de facilitadores para conseguir los objetivos.

Precisamente en este contexto se enmarca el libro de Daniel Sperling que se enfoca en describir Tres Revoluciones: vehículos eléctricos, movilidad compartida y conducción automatizada. El autor,

que tiene una amplia experiencia en los sectores del transporte y de la planificación urbana, adopta como punto de partida el término de revolución en el sentido de que "es un cambio fundamental en la forma de pensar o visualizar algo".

Cada una de estas "revoluciones" es tratada en un capítulo del libro y por expertos específicos. Respecto a los vehículos eléctricos se pone de relieve que no se trata de un término asociado a una innovación disruptiva, en términos de Clayton Christensen, pues la electricidad comenzó a ser la base de nuestra sociedad a finales del siglo XIX. El vehículo eléctrico es una realidad que necesita de mejoras tecnológicas en diferentes aspectos, como la fuente de energía, para que pueda ser competitivo, pero que se enfrenta a un cambio cultural desde el punto de vista de que sea visualizado por los clientes como una "mejor preferencia". Esta, sin duda, es una barrera mucho más difícil de superar que las propiamente tecnológicas y de coste. Por su parte, la movilidad compartida presenta un mayor potencial de transformación en el transporte que el vehículo eléctrico, siendo la estrategia de generar nuevos servicios como UberPool, Lyft Line u otros, la que está demostrando una mayor aceptación. En este sentido están trabajando los principales fabricantes de automóviles que persiguen actuar, además, como proveedores de servicios de movilidad. Pero se piensa que este cambio será lento y los beneficios que se consigan serán modestos. Sin embargo, se plantea que la transformación a mayor escala y que puede generar mayores beneficios es la conducción automatizada porque llevará incorporada una fuerte disminución de los costes asociados a la movilidad en términos económicos y de tiempo.

El resto de capítulos que contiene el libro exploran las implicaciones del transporte público, la oferta de nuevos servicios de movilidad por parte de los fabricantes de vehículos, y cómo China podrá o no beneficiarse de estas tres "revoluciones". Sin embargo, Daniel Sperling pone de manifiesto que existen otros factores que incorporan incertidumbre a estas transformaciones, como el deseo de las personas en compartir la movilidad, y la reducción de costes asociados a la fabricación de baterías eléctricas, células de combustible y automatización de procesos en el sistema de la conducción. Pero no se olvida de que uno de los más relevantes es el factor que podemos denominar políticas públicas. Está muy analizado que este factor desempeña un papel central en favorecer el desarrollo de innovaciones, y más si se tiene en consideración que estamos haciendo referencia a innovaciones que tienen un impacto favorable a nivel social (interés público) y medioambiental, como expresé anteriormente. Sin el decidido diseño de unas políticas públicas orientadas a favorecer estas tres transformaciones, nos encontraremos en un escenario mucho menos optimista.

Para finalizar, encuentro el libro oportuno, bien diseñado y actual. Las materias abordadas son muy interesantes y confieren al libro un valor notable para ayudar a comprender un tema de especial trascendencia para el futuro de la competitividad y la creación de bienestar social en la economía global.

■ **Antonio Hidalgo Nuchera**



PROPUESTAS PARA EL FOMENTO DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

Barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar

Varios autores

Ediciones de la Real Academia de Ingeniería de España (2018)

Existe un claro consenso científico sobre la realidad del cambio climático y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el hombre. Como consecuencia de la actividad humana, la cantidad de CO₂ en la atmósfera pasó de 280 ppm en 1800 a 400 ppm en 2016. Si se consideran otros Gases de Efecto Invernadero (GEI), en este momento la atmósfera contiene 445 ppm de CO₂ equivalentes lo cual está induciendo ya un progresivo incremento de la temperatura de la tierra. Si seguimos actuando de la misma manera, en 2100 la cantidad de CO₂ equivalente en la atmósfera se habrá elevado al entorno de 750 ppm y el consiguiente incremento de la temperatura de la tierra será con una alta probabilidad entre 4° y 5° respecto a su valor a principios del siglo XXI.

Las dos fuentes más importantes de emisiones de gases de efecto invernadero son la generación eléctrica y el transporte por carretera. Entre ambos contribuyen en aproximadamente un 50% al total de emisiones generadas por la actividad humana. Ambos no sólo contribuyen al cambio climático sino también a la contaminación atmosférica con importantes efectos sobre la salud humana. Este hecho pone el foco de la lucha contra el cambio climático y la contaminación atmosférica en la ineludible transición hasta un sistema eléctrico y un sistema de transporte ambos libres de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por este motivo, la Unión Europea ha hecho de la lucha contra el cambio climático una de sus señas de identidad. Ha formulado una hoja de ruta para la descarbonización profunda de su economía en el horizonte 2050, y la ha acompañado de las respectivas estrategias sobre energía, transporte, eficiencia, renovables, desarrollo tecnológico y apoyo a la innovación. En ese marco de referencia, el Acuerdo de París ha supuesto un punto de inflexión para el sistema energético global. La descarbonización sistemática y profunda del sistema energético global ya no es una consideración teórica sino un horizonte político a lograr en el siglo XXI. El debate internacional no es ya

sobre el objetivo climático en sí, sino sobre la estrategia que permita alcanzarlo y sus implicaciones.

La transición hacia una movilidad libre de emisiones pasa por la progresiva sustitución de los vehículos con motor de combustión interna por otros libres de emisiones, fundamentalmente los vehículos eléctricos. Es sobre este tipo de vehículos sobre el que se sustentará la mayor parte del transporte de personas hacia mediados del siglo XXI. Obviamente combinado con una generación eléctrica libre de emisiones ya que ambos sectores- el de la generación eléctrica y el del transporte por carretera- habrán de evolucionar paralelamente. Sin una descarbonización de la generación eléctrica, la adopción de vehículos eléctricos solamente trasladaría la contaminación desde el centro de las ciudades a los lugares de generación eléctrica resolviendo con ello algunos problemas de contaminación urbana y sus efectos directos sobre la salud de los habitantes de las grandes ciudades, pero sin resolver el problema de las emisiones de GEI, el del subsiguiente aumento de las temperaturas, ni el de la contaminación en un sentido general.

Independientemente de que los impulsos tecnológicos, económicos y políticos hagan que el proceso de evolución hacia el vehículo eléctrico tenga un mayor o menor ritmo, es claro que nos encontramos ante una evolución imparable que conlleva una serie de acciones técnicas complementarias al desarrollo del propio vehículo eléctrico.

El estudio "Propuestas para el fomento de la movilidad eléctrica: barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar", elaborado por el Observatorio de "Energía e Innovación" constituido en el seno de la Real Academia de Ingeniería, aborda los elementos técnicos imprescindibles y complementarios al propio vehículo eléctrico que deben desarrollarse para el fomento de la movilidad eléctrica, haciendo especial énfasis en las estaciones de recarga sin cuya existencia y despliegue en el territorio sería imposible la transición hacia un sistema de transporte por carretera basado en el vehículo eléctrico. Analiza el estado actual de desarrollo de las redes de recarga operativas en diferentes países, así como su regulación. Incluye además un estudio económico que permite evaluar las distintas alternativas desde un punto de vista financiero. Igualmente, profundiza en los factores determinantes en el despliegue generalizado de los vehículos eléctricos y, por último, recoge una síntesis de las medidas necesarias para la eliminación de las barreras que actualmente limitan este despliegue.

El estudio recoge una serie de conclusiones generales, con el objetivo de señalar las medidas necesarias para la eliminación de barreras en el despliegue del vehículo eléctrico.

Las políticas para el desarrollo de la movilidad eléctrica aplicadas en diferentes países europeos se basan principalmente en diversos esquemas de

ayudas. Si bien los incentivos aplicados son muy variados, la mayor parte de ellos se centra en el apoyo económico en la compra del vehículo eléctrico y, en menor medida, en el despliegue de la infraestructura de recarga. El elevado coste actual del vehículo se debe principalmente a las baterías, aunque se prevé una disminución paulatina de su coste conforme la tecnología vaya madurando. Los costes de baterías esperados para 2020, alrededor de 150 €/kWh, permitirán al vehículo eléctrico competir con los tradicionales vehículos con motores de combustión interna. De forma adicional, el despliegue de las infraestructuras de recarga se relaciona estrechamente con la rapidez en la implantación de la movilidad eléctrica. En este sentido, existen diferentes modelos de negocio en los que los operadores de la red de distribución adquieren diferentes funciones. Posiblemente, estos modelos deberán evolucionar conforme aumente la penetración del vehículo eléctrico, pues en la actualidad nos encontramos con el clásico problema del huevo y la gallina: las estaciones de recarga sin vehículos eléctricos no son rentables y sin estaciones de recarga no se venderán vehículos eléctricos.

Desde un punto de vista tecnológico, se prevé que las baterías de los vehículos se recarguen en estaciones alimentadas desde la red eléctrica, pues las tecnologías basadas en la sustitución de baterías no han alcanzado suficiente éxito comercial. La recarga se realizará principalmente por conducción, por lo que es necesario disponer de conectores adecuados. La estandarización desempeña un papel fundamental en la homogeneización de dichos conectores para permitir la interoperabilidad de la recarga dentro de un ámbito geográfico. Si bien la mayor parte de las recargas se realizarán en el ámbito doméstico, conviene disponer de una infraestructura de recarga pública suficiente y con modos de recarga adecuados. Los cargadores lentos sólo tendrán utilidad en situaciones en las que los coches puedan estar estacionados largos períodos de tiempo. Por el contrario, los cargadores rápidos permitirían una mayor rotación de vehículos, pero con un mayor impacto en la red de distribución y unos costes fijos de operación más elevados. Por estos motivos, es clave encontrar un equilibrio en la potencia asociada a la infraestructura de recarga que permita satisfacer las necesidades del usuario en cuanto al tiempo de recarga, minimizar el impacto en la red de distribución y reducir los costes fijos para el operador de recarga.

Desde un punto de vista económico, los supuestos analizados en el estudio ponen de manifiesto que el modelo de negocio actual, con hipótesis conservadoras de suministro de energía por punto de recarga, no cubre la recuperación de la inversión en las instalaciones de recarga debido al lastre que suponen los costes fijos y el reducido volumen de energía anual suministrada. En este trabajo se han analizado las hipótesis de la exención del término de potencia de la tarifa de acceso y la realización

de las labores de mantenimiento por parte de servicios públicos municipales. Para los casos de recarga pública en zonas no urbanas, adicionalmente se podría equiparar los costes de extensión a los casos urbanos (acometida a baremos). A medio y a largo plazo será necesario articular modelos de negocio imaginativos en los que los gestores de recarga ofrezcan servicios adicionales a los operadores de la red de transporte y distribución relacionados con la flexibilidad de recarga que proporcionen nuevos ingresos.

En este contexto, el distribuidor (DSO), como facilitador, puede contribuir poniendo a disposición de los gestores de carga la potencia necesaria a distancia razonable del punto de servicio, incluso contratando a los vehículos eléctricos servicios para el sistema, retribuyéndoles en función de su compromiso y contribución.

Desde un punto de vista econométrico, son varios los factores que parecen influir en el despliegue y la penetración del vehículo eléctrico en los próximos años. Entre los factores analizados en este estudio se encuentran el precio del vehículo eléctrico y su autonomía, muy relacionados ambos con el coste y la densidad de potencia de las baterías. Asimismo, la disponibilidad de infraestructuras de recarga es un factor crítico. Esta disponibilidad, principalmente de cargadores rápidos, emerge, por tanto, como uno de los factores que van a favorecer el despliegue del coche eléctrico en las próximas décadas.

Este despliegue conjunto del coche eléctrico y de los puntos de recarga se produce en un escenario donde los costes de fabricación del coche eléctrico y de las baterías de almacenamiento descienden paulatinamente, dotando al coche eléctrico de un precio cada vez más competitivo. En este estudio se estima que la mejora tecnológica de las baterías de almacenamiento eléctrico permitirá incrementar el nivel de vehículos de batería a nivel mundial, desde las algo más de 700.000 unidades existentes en el año 2015 hasta los 2,5 millones de unidades previstas para 2022.

Los beneficios relacionados con el vehículo eléctrico (reducción de las emisiones de CO₂, NOx y partículas del tanque a la rueda, que contribuyen a la lucha contra el cambio climático, a la mejora de la calidad del aire, así como a la reducción de ruido) pueden ser reforzados si las emisiones del sistema energético son bajas o muy bajas. Por ello, si el despliegue del vehículo eléctrico se combina con una generación eléctrica baja en emisiones de CO₂, de óxidos de nitrógeno y de partículas, el vehículo eléctrico tendría más "argumentos" para su despliegue. Esta transición debe ser compatible con el desarrollo de las energías renovables y su almacenamiento.

Finalmente, hay que destacar que las políticas gubernamentales que se están llevando a cabo en la actualidad están consiguiendo que los consumidores y usuarios confíen y apuesten por las tecnologías

de tracción eléctrica. Las medidas de estímulo deben orientarse tanto hacia la vertiente de la oferta de vehículo eléctrico (y de sus componentes y servicios auxiliares) como de la demanda.

El estudio sugiere futuras líneas de investigación relacionadas con la eficiencia de los incentivos aplicados a adquisición del vehículo, apoyo a fabricantes o promoción de infraestructura pública de recarga. En los Países Bajos, los coches eléctricos disfrutaban de una reducción muy significativa de los impuestos de matriculación y circulación, así como el acceso privilegiado a algunas partes de la red de transporte reservada a otros vehículos. Noruega ofrece fuertes incentivos en forma de reducciones del impuesto de matriculación, y para los vehículos eléctricos, la exención del impuesto sobre el valor añadido (IVA). Todo este tipo de medidas orientadas a la demanda son fundamentales para que el vehículo eléctrico vaya penetrando en el mercado a un ritmo que facilite el cumplimiento de los objetivos internacionales de expansión de esta tecnología de transporte, aunque estos sean no vinculantes.

■ **Javier Pérez de Vargas Cabrero**

Selección bibliográfica

AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (2018). "Global Electric Vehicle Outlook 2018: Towards crossmodal electrification".

ÁLVAREZ PELEGRY, E., MENÉNDEZ SÁNCHEZ, J. y BRAVO LÓPEZ, M. (2017a). "Movilidad sostenible. El papel de la electricidad y el gas en varios países europeos". Cuadernos Orkestra

CANSINO, J. M., e YÑIGUEZ, R. (2018). "Promoting electro mobility in Spain. Public measures and main data (2007–2012)". Transportation Research Part D: Transport and Environment, 59, 325-345.

CANSINO, J. M., SÁNCHEZ-BRAZA, A., y SANZ-DÍAZ, T. (2018). "Policy Instruments to Promote Electro-Mobility in the EU28: A Comprehensive Review". Sustainability, 10 (7), 1-27.

CARUSO, C. (2016). "Why Range Anxiety for Electric Cars Is Overblown". Sustainable Energy, August 15, 2016.

COMISIÓN DE EXPERTOS SOBRE ESCENARIOS DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA (2018). "Análisis y propuestas para la descarbonización". Disponible en http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe_cexpertos_20180402_veditado.pdf

COMISIÓN EUROPEA (2011). "Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050". Disponible en https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es

COMISIÓN EUROPEA (2016a). "Clean energy for all Europeans". Disponible en <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>

COMISIÓN EUROPEA (2016b) 501 final. "Comunicación al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de Regiones sobre la estrategia europea a favor de la movilidad de bajas emisiones".

COMISIÓN NACIONAL DE LOS MERCADOS Y DE LA COMPETENCIA (2017). "Informe de supervisión de transporte ferroviario de mercancías. Año 2016". Disponible en www.cnmc.es

DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO (2011). "Anuario estadístico General 2010". Disponible en www.dgt.es

EDWARDS, R., HASS, H., LARIVÉ, J., LONZA, L., MAAS, H., y RICKEARD, D. (2014). "JEC-Well To-Wheels Analysis". JRC Research-Institute for Energy and Transport.

ELLINGSEN LA-W., MAJEAU-BETTES G., SINGH B., et al (2014). "Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack". Journal of Industrial Ecology 18:113–124. doi: 10.1111/jiec.12072

EURELECTRIC (2018). "Decarbonization Pathways. European economy electrification and decarbonization scenario modelling. Synthesis of key findings".

FERNANDEZ, D. y GARRIDO, S. (2017). "GNC en el entorno urbano e interurbano". En "El gas natural en la movilidad". Gasnam.

FRÍAS, P., MATEO, C., I.J. y PÉREZ-ARRIAGA, I.J. (2011). "Evaluación del impacto de la integración del coche eléctrico en las redes de distribución de energía eléctrica". *Lychnos. Cuadernos de la Fundación General CSIC*. no. 6, pp. 56-61, Septiembre 2011

GRANOVSKII, M., DINCER, I. y ROSEN, M. A. (2006). "Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles", *Journal of Power Sources*, 159(2), pp. 1186–1193. doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.11.086.

GRANTHAM INSTITUTE (2017). "Expect the unexpected: The Disruptive Power of Low-carbon Technology".

HALL, D., YAUNG CUI, H., y LUSTEY, N. (2017). "Electric Vehicles Capitals of the World: What markets are leading the transition to electric". Brief Briefing. ICCT.

HAWKINS, T. R. et al (2012). "Comparative Environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles". *Journal of Industrial Ecology*, vol 17, no. 1.

HERTZKE, P., MÜLLER, N., SCHENK, S., y WU, T. (2018). "The global electric-vehicle market is amped up and on the rise". McKinsey.

MORAIS, H. et al. (2014). "Evaluation of the electric vehicle impact in the power demand curve in a smart grid environment". *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2018). "¿La herencia de un mundo sostenible? Atlas sobre salud infantil y medio ambiente". Ginebra.

PIELTAIN FERNANDEZ, L., GÓMEZ SAN ROMÁN, T., COSSENT R., MATEO DOMINGO, C. y FRÍAS, P. (2011). "Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 206-213, Feb. 2011.

RAUSTAD R. (2017) "Electric Vehicle Life Cycle Cost Analysis". EVTC Electric Vehicle Transportation Center, Feb. 2017.

SCHILL, W.P. y GERBAULET, C. (2015). "Power system impacts of electric vehicles in Germany: Charging with coal or renewables?". *Applied Energy*, vol. 156, pp. 185-196, 2015.

WARNER, J. (2015). "The handbook of lithium-ion Battery Pack Design". Amsterdam, Oxford, Waltham. Elsevier Science.

WOLFF ELÓSEGUI, G. (2013). "Adaptabilidad de los motores de combustión interna a las nuevas fuentes de energía renovables". Los motores de combustión interna en la movilidad sostenible del futuro. ASEPA

WORLD BANK (2018). "The Urban sustainability Framework. Global Platform for Sustainable Cities (GPSC)". International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.