

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)

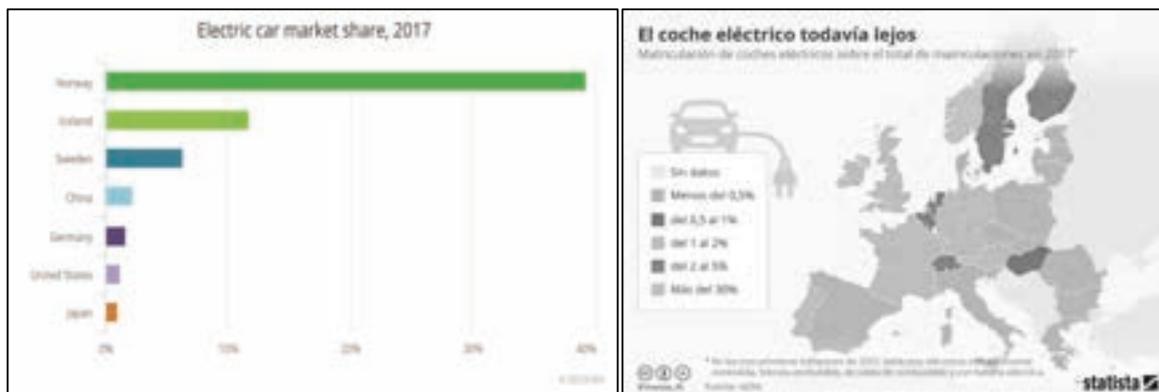
El presente artículo tiene por objetivo explorar las causas que determinan estas diferencias entre países, mediante el análisis econométrico. Para ello, además de estimar el efecto de las variables tecnológicas (coste de la batería y densidad de carga), que se pueden asumir comunes para todos los países,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

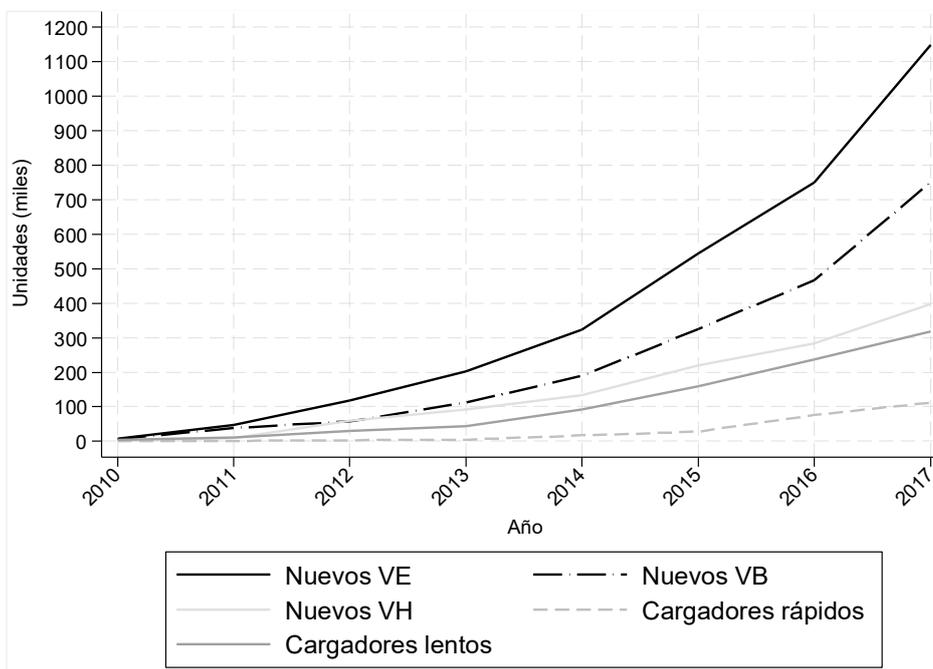
Los datos publicados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) en su informe *Global EV Outlook* (2018) muestran cómo en el año 2017 se superó por primera vez el umbral de un millón nuevas matriculaciones de vehículos eléctricos (VE) en carretera a nivel mundial (figura 2), superando el stock 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.

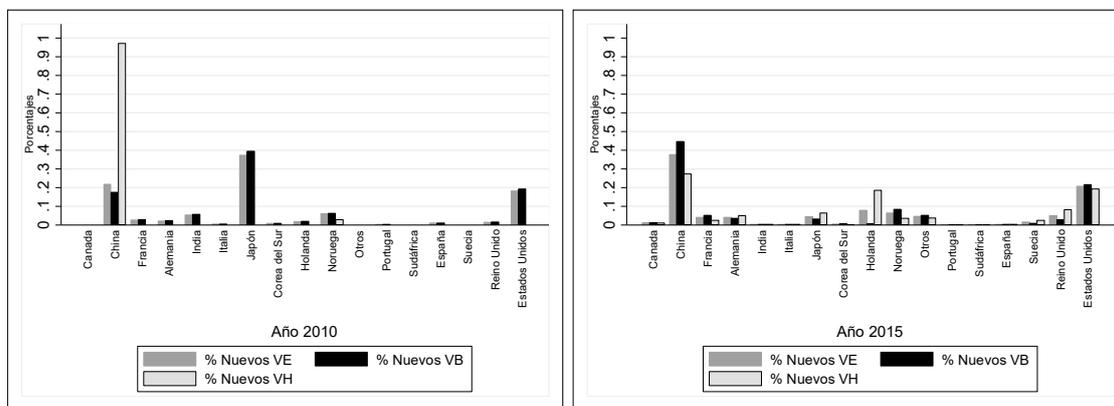
Cinco años después, en 2015, el paisaje cambia significativamente. China disminuye sustancialmente su peso en la matriculación de VH; en concreto, su participación cae de un 97,1% a un 27,3%, dejando sitio a países como EEUU (19,3%), Holanda (18,6%), Japón (6,4%) o Reino Unido (8,3%). Asimismo, Japón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

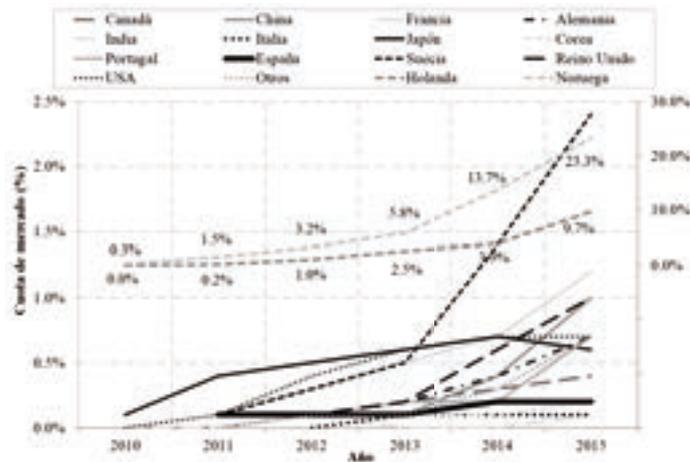
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IEA.

(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.

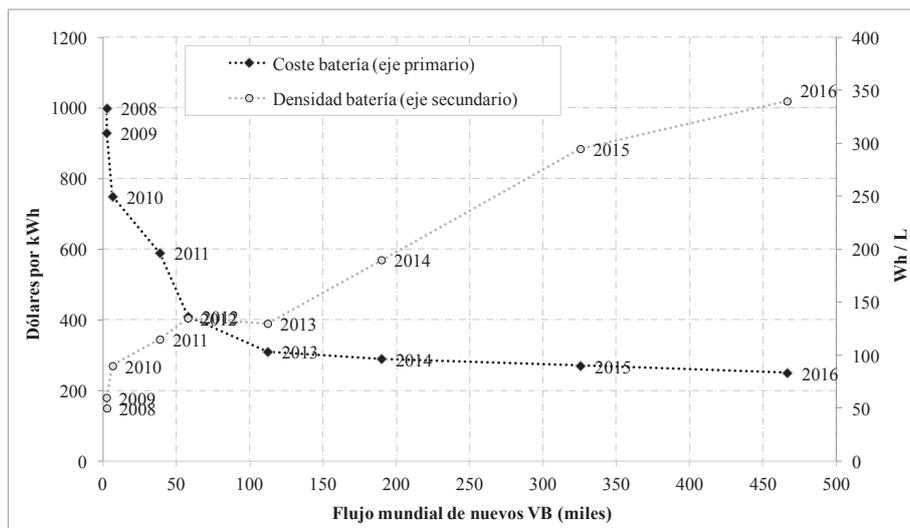
La Figura 4 muestra la evolución temporal de la cuota de mercado del VE en los diferentes países analizados, cuota definida como el porcentaje de compras de VE sobre el total de compras de vehículos de todo tipo.

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

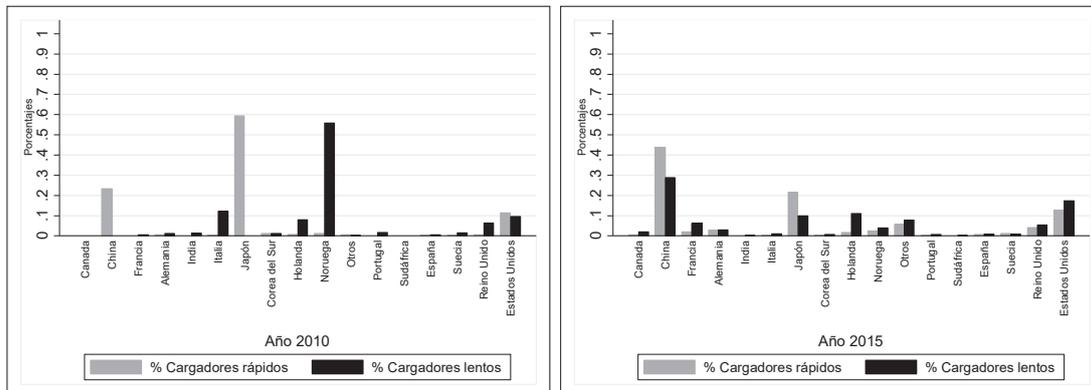


Fuente: Departamento de Energía de los EE.UU.

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.

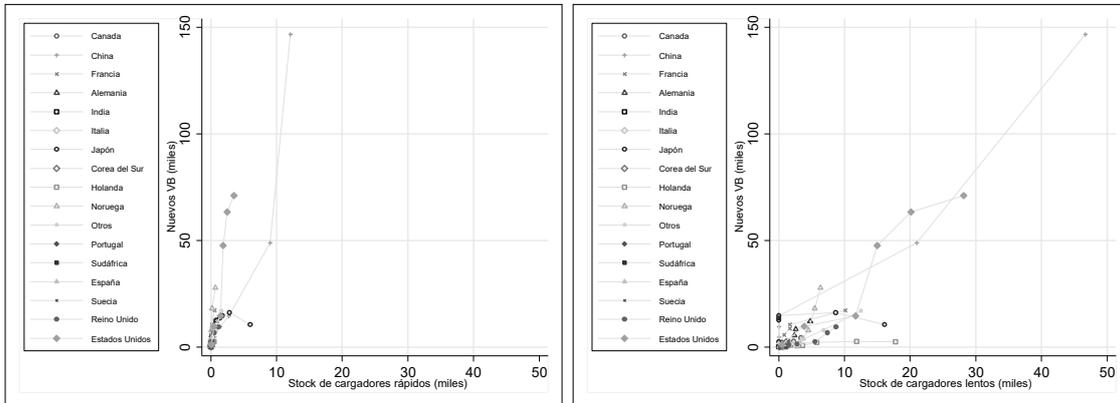
En 2010, Japón (59,4%), China (23,4%) y, en menor medida, EEUU (11,4%) atesoraban la mayor parte de cargadores rápidos a nivel mundial –de hecho, China y Japón solo contaban con cargadores rápidos–. Los cargadores lentos pertenecen fundamentalmente (en 2010) a Noruega (55,8%), Italia (12,2%), EEUU (9,6%)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

cias (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-

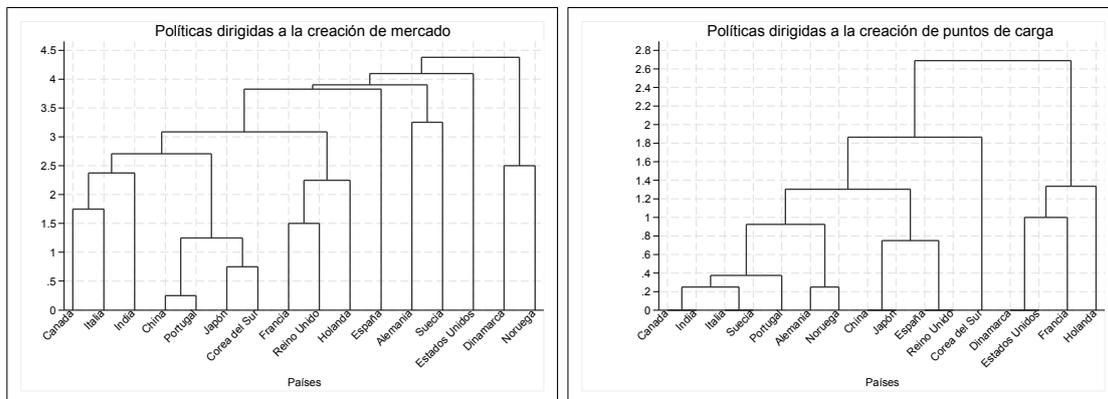
TABLA 1
COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE LAS POLÍTICAS DE APOYO AL VE. AÑO 2015

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						
China	1	1	0	0	1	0.25	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0.25	1	1	0	0	0						
Dinamarca	0	1	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	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						
Alemania	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0.25	1	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						
Italia	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.25	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						
Holanda	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0.25	1	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						
Portugal	1	1	0	0	1	0.25	0.25	0	0	0	1	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	0.25	1	1	0.25	0	0.75						
España	1	1	0	0	0.25	1	0	1	1	0	1	0	0	0.25	1	1	0	0	0						
Suecia	1	0	0	1	1	0.25	0	0	0	0	1	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	0	0.25	1	1	0	0	0						
Estados Unidos	0.25	0.25	0	1	0.25	0.25	0	0	0.25	0	1	0	0	0.25	1	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

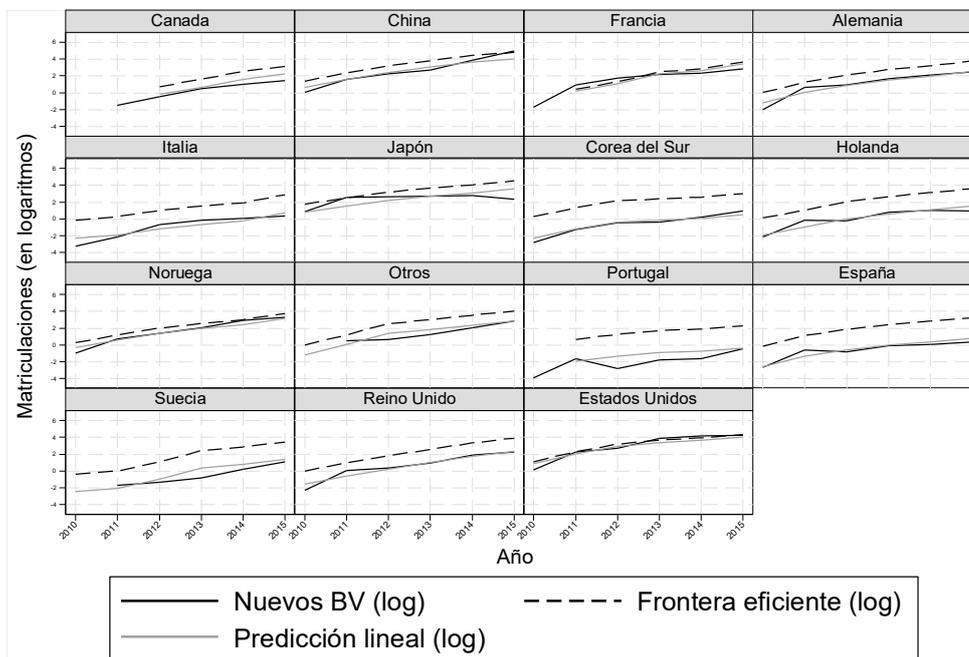
TABLA 2
ESTIMACIONES DE LOS FACTORES DETERMINANTES DE LAS MATRICULACIONES DE VB. PERÍODO 2010-2015

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%).

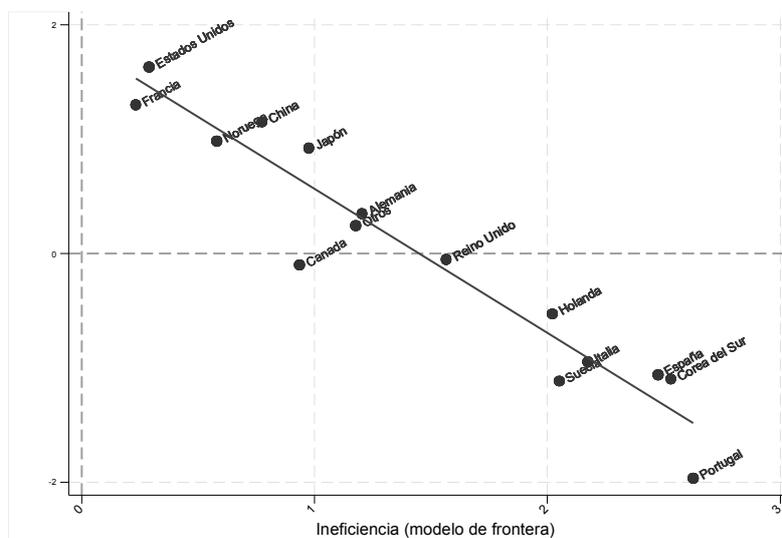
Una de las ventajas del modelo de ineficiencia para panel de datos, frente al panel de datos con efectos fijos, es que el modelo de ineficiencia permite estimar la frontera eficiente de cada país (la «función de producción» de VB) y la distancia del país a dicha frontera descontando el efecto de posibles 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

