

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

El vehículo eléctrico: Fortalezas y debilidades para su expansión.

Autor: Manuel Alejandro Lora Ruiz

Tutor: Dr. Ángel Arcos Vargas

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

Sevilla, 2022



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

El vehículo eléctrico: Fortalezas y debilidades para su expansión.

Autor:

Manuel Alejandro Lora Ruiz

Tutor:

Dr. Ángel Arcos Vargas

Profesor Titular de Universidad

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Trabajo Fin de Grado: El vehículo eléctrico: Fortalezas y debilidades para su expansión.

Autor: Manuel Alejandro Lora Ruiz

Tutor: Dr. Ángel Arcos Vargas

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2022

El Secretario del Tribunal

A mi familia

Agradecimientos

Quiero darles las gracias a mis padres, a mi hermano, a Aurora y a mi familia por apoyarme y animarme durante toda la carrera con paciencia y empatía.

Gracias al Colegio Mayor Guadaira y a todos los amigos que me ha dado.

Manuel Alejandro Lora Ruiz

Sevilla, 2022

Resumen

El propósito de este Trabajo Fin de Grado es identificar las barreras que tiene el vehículo eléctrico para su expansión y que llegue a ser el vehículo habitual de los ciudadanos. Para ello en primer lugar se realiza un análisis de la literatura en el cual se buscan artículos y trabajos de diferentes autores acerca de las ventajas que conlleva el uso del vehículo eléctrico y las dificultades que tiene para su expansión en el mercado del automóvil. A partir de esta revisión, se elabora una matriz DAFO para ver las amenazas, debilidades, fortalezas y oportunidades que tiene el vehículo eléctrico para su expansión.

Para la identificación de dichas barreras, en este trabajo se realiza un panel de datos para descubrir cuales son los aspectos más importantes a la hora del desarrollo del vehículo eléctrico en nuestra sociedad. En primer lugar, se detalla la metodología estadística que se va a emplear, explicando el modelo de efectos fijos, el modelo de efectos aleatorios y posteriormente el Test de Hausman para comprobar que modelo nos proporciona unos mejores resultados.

Una vez expuesta la metodología estadística que se emplea, se recogen los datos para los cuales se va a aplicar dicha metodología. Estos datos son la influencia de los cargadores rápidos y lentos para vehículos eléctricos, el coste y la densidad de las baterías, datos obtenidos por la Agencia Internacional de la Energía y por BloombergNEF, respectivamente. Estos datos se han obtenido para 28 países, principalmente europeos, y desde el año 2015 en adelante. Además de estos datos, se han considerado las ayudas gubernamentales, pero estas no entran en el panel de datos.

Para la realización de los paneles de datos con el modelo de efectos fijos y con el modelo de efectos aleatorios, se ha elaborado una tabla en la cual se recogen todos los datos necesarios. Ambos paneles de datos, se han elaborado con el lenguaje de programación R Studio y ambos datos nos brindan resultados similares. En ambos modelos la densidad de la batería usada en el vehículo eléctrico se muestra como la principal barrera a superar para la expansión del vehículo eléctrico, aunque el modelo de efectos fijos le da una importancia mayor. Realizando el test de Hausman, nos decantamos finalmente por el modelo de efectos fijos.

Finalmente, se discuten los resultados y gracias a la Agencia Internacional de la Energía, se pueden ver las proyecciones del número de cargadores lentos y rápidos para vehículos eléctricos en los próximos años y como repercutirá esto en las futuras ventas del vehículo eléctrico.

Abstract

The purpose of this Final Degree Project is to identify the barriers that the electric vehicle has for its expansion and for it to become the usual vehicle for citizens. To do this, first of all, an analysis of the literature is carried out in which articles and works by different authors are sought about the advantages of using the electric vehicle and the difficulties it has for its expansion in the automobile market. From this review, a SWOT matrix is developed to see the threats, weaknesses, strengths and opportunities that the electric vehicle has for its expansion.

For the identification of these barriers, in this work a data panel is made to discover which are the most important aspects at the time of the development of the electric vehicle in our society. First, the statistical methodology to be used is detailed, explaining the fixed effects model, the random effects model and then the Hausman Test to verify which model provides us with better results.

Once the statistical methodology used is exposed, the data for which said methodology is going to be applied are collected. These data are the influence of fast and slow chargers for electric vehicles, the cost and density of batteries, data obtained by the International Energy Agency and by BloombergNEF, respectively. These data have been obtained for 28 countries, mainly European, and from 2015 onwards. In addition to these data, government aid has been considered, but these do not enter the data panel.

For the realization of the data panels with the fixed effects model and with the random effects model, a table has been prepared in which all the necessary data are collected. Both data panels have been developed with the R Studio programming language and both data provide us with similar results. In both models, the density of the battery used in the electric vehicle is shown as the main barrier to overcome for the expansion of the electric vehicle, although the fixed effects model gives it greater importance. Carrying out the Hausman test, we finally opted for the fixed effects model.

Finally, the results are discussed and thanks to the International Energy Agency, projections of the number of slow and fast chargers for electric vehicles in the coming years can be seen and how this will affect future sales of electric vehicles.

Índice

Agradecimientos	ixx
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xviii
Índice de Figuras	xx
1 Introducción	4
2 Análisis DAFO. Revisión de la literatura	5
2.1. <i>Revisión de la literatura</i>	5
2.2. <i>Factores influyentes a la hora de la compra de un vehículo eléctrico</i>	11
2.3. <i>Análisis DAFO</i>	11
3 Origen y descripción de los datos	14
3.1. <i>Subvenciones gubernamentales</i>	15
3.2. <i>Influencia de los cargadores</i>	17
3.2.1. Cargadores lentos	18
3.2.2. Cargadores rápidos	18
3.3. <i>Coste de las baterías en los vehículos eléctricos</i>	19
3.4. <i>Densidad energética en un vehículos eléctricos</i>	21
4 Metodología estadística	24
4.1. <i>Modelo de efectos fijos</i>	24
4.2. <i>Modelo de efectos aleatorios</i>	25
4.3. <i>Efectos fijos vs efectos aleatorios. Test de Hausman</i>	26
5 Aplicación	28
5.1. <i>Datos</i>	29
5.2. <i>Programación</i>	29
5.3. <i>Resiñtado al modelo de efectos fijos</i>	30

<i>5.4. Resultado al modelo de efectos aleatorios</i>	31
<i>5.5. Test de Hausman</i>	32
6 Discusión	36
7 Conclusiones	41
Referencias	44
Anexo	47

Índice de Tablas

Tabla 1: Revisión de la literatura. Fuente: Elaboración propia.	9
Tabla 2: Factores por los que no se compran vehículos eléctricos en diferentes países. Fuente: Deloitte.	11
Tabla 3: Matriz DAFO. Fuente: Elaboración propia.	12
Tabla 4: Regulaciones e incentivos en diversos países. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.	16

Índice de Figuras

Figura 1: Porcentaje de vehículos eléctricos sobre el total de matriculaciones de automóviles nuevos en 2021. Fuente: Statista.	2
Figura 2: Ventas de vehículos eléctricos mundiales entre 2010-2020. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.	14
Figura 3: Matriculaciones de vehículos eléctricos entre 2015 y 2020. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.	15
Figura 4: Cargadores rápidos y lentos públicos para vehículos ligeros. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.	19
Figura 5: Precio de las baterías de litio entre 2010 y 2020. Fuente: BloombergNEF, 2020.	20
Figura 6: Autonomía del Nissan LEAF. Fuente: BloombergNEF, 2020.	20
Figura 7: Modelo de efectos fijos. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 8: Modelo de efectos aleatorios. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 9: Test de Hausman. Fuente: Elaboración propia	32
Figura 10: Modelo de efectos fijos. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 11: Proyección de cargadores lentos hasta el año 2030. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.	37
Figura 12: Proyección de cargadores rápidos hasta el año 2030. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.	37
Figura 13: Proyección en el stock de vehículos eléctricos hasta el año 2030. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.	38

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el vehículo eléctrico, se ha consolidado como el medio de transporte más sostenible y la principal alternativa al vehículo de combustión interna. Este hecho, se refleja con los más de seis millones y medio de vehículos eléctricos que se vendieron tan solo en el año 2021, alcanzado un parque total de más de dieciséis millones y medio de vehículos (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Este crecimiento se debe a las ayudas por parte de los gobiernos nacionales y la disminución de los costes asociados, como puede ser el coste de la batería que usa el vehículo eléctrico, llegando a 135 \$/kWh (BloombergNEF, 2021).

El avance de la tecnología también ha influido en la consecución de un precio menor del vehículo eléctrico, pero se aprecian importantes diferencias entre países relativamente próximos, como son el caso de Noruega, con una participación de los vehículos eléctricos superior al 60% frente a España, Italia o Estados Unidos que no alcanzan el 5% de vehículos eléctricos sobre el total de matriculaciones de nuevos automóviles en el año 2021 (Statista, 2022), mostrando que hay países que impulsan más la implantación del vehículo eléctrico en la sociedad que otros con ayudas gubernamentales.

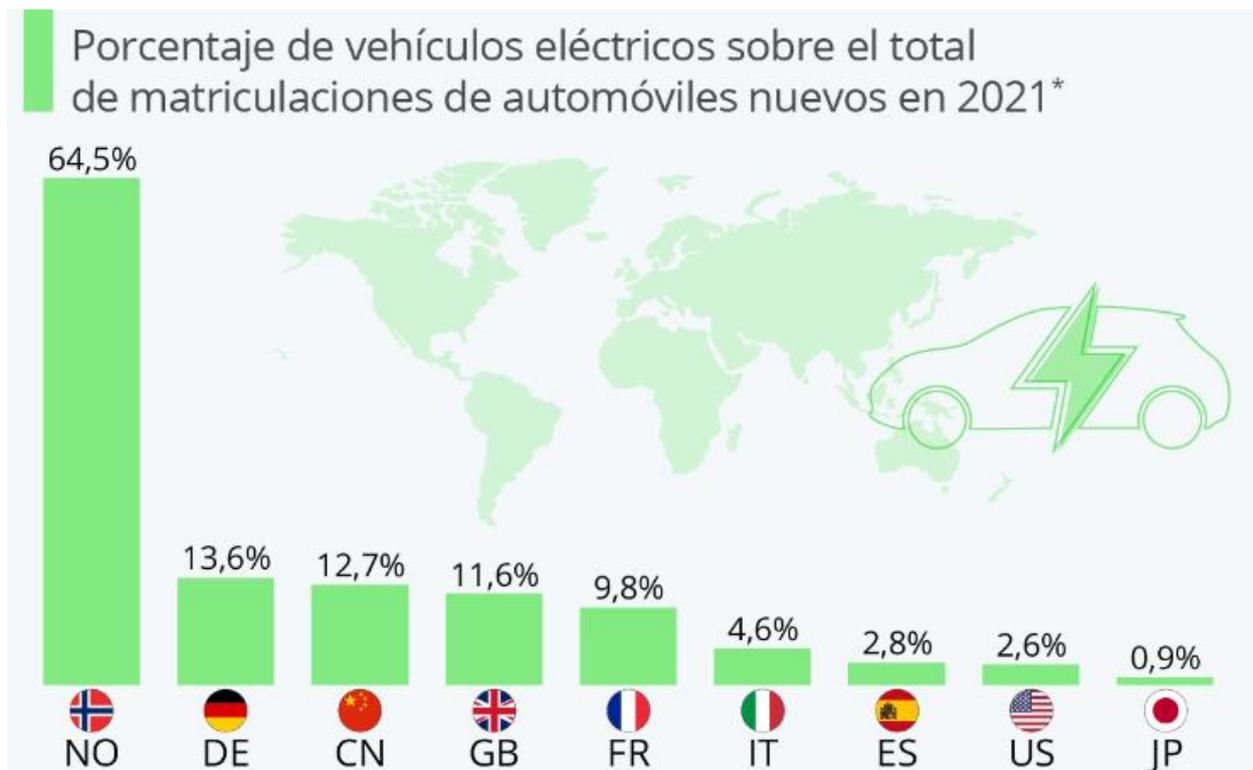


Figura 1: Porcentaje de vehículos eléctricos sobre el total de matriculaciones de automóviles nuevos en 2021.

Fuente: Statista

El presente trabajo tiene por objetivo explorar cuales son las fortalezas y las barreras que tiene el vehículo eléctrico para su expansión, mediante el análisis econométrico. Para ello, en primer lugar, se va a realizar un análisis de la literatura acerca de las posibles mejoras que debe adoptar el vehículo eléctrico para su implantación en la sociedad consiguiendo una mayor expansión. El fin del análisis de la literatura, es la elaboración de una matriz DAFO para comprobar todos los aspectos importantes que determinan el avance del vehículo eléctrico.

Para comprobar cuales son los aspectos más importantes que determinan el progreso del vehículo eléctrico, en el presente trabajo se va a elaborar un panel de datos a partir de la infraestructura de recarga, coste de las baterías y densidad de carga de las baterías del vehículo eléctrico. Para ello, se detalla la metodología estadística en la cual se desarrollan un modelo de efectos fijos y un modelo de efectos variables para comprobar la influencia de esos factores. Además de calcular el efecto de las variables tecnológicas (coste de la batería y densidad de carga), que se pueden admitir iguales para los 28 países estudiados, se incluyen como variables explicativas la infraestructura de recarga para cada país, como los cargadores lentos y rápidos. Los resultados del análisis, proporciona 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), mostrando como factor más determinante la densidad de carga del vehículo eléctrico. Además de estos factores, se muestran como las ayudas gubernamentales influyen en la expansión del vehículo eléctrico.

En el presente documento se muestran los elementos imprescindibles al propio vehículo eléctrico que deben desarrollarse para el fomento de la movilidad eléctrica, mostrando una particular atención en el coste de las baterías y en la densidad de carga de las baterías utilizadas por el vehículo eléctrico además de 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. Igualmente se analizan varios modelos para los factores determinantes en el despliegue generalizado de los vehículos eléctricos y por último se realiza una discusión a raíz de los datos obtenidos por el panel de datos a raíz de los modelos estadísticos.

2 ANÁLISIS DAFO. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

2.1. Revisión de la literatura.

En esta sección, se va a realizar una revisión bibliográfica de diferentes estudios, artículos y publicaciones más destacadas y recientes en relación con el asunto de la investigación en la que nos encontramos.

Sanguesa et al. (2021) revisan los progresos que han tenido los BEV con respecto a las tendencias de la tecnología de baterías, el modo de carga, al igual que los nuevos desafíos de investigación y las diferentes oportunidades que tienen. Se revisa de manera exhaustiva la tecnología de las baterías, desde las de plomo-ácido hasta las de iones de litio. Igualmente, presentan alguna posible tecnología que se puede utilizar a largo plazo, como el grafeno, siendo una gran oportunidad para el crecimiento del vehículo eléctrico, que a priori se considera una solución que consiga alcanzar un mayor almacenamiento de cantidades de energía y haciendo más cortos los periodos de tiempo en la carga del vehículo. Muestran diferentes ventajas del vehículo eléctrico sobre el

vehículo de combustión interna como puede ser que no tenga emisiones, la simplicidad de los elementos que lo conforman y su menor costo, tanto en mantenimiento como el ahorro de combustible.

Henze et al. (2021) realizan una comparativa en los precios de las baterías de los coches eléctricos, que en 2010 estaba por encima de 1000\$/kWh, en 2019 cayó el precio en un 87% y se quiere que para 2023 los precios promedio sean de 100\$/kWh. Esta bajada de precios ayudará a alcanzar la igualdad en los precios entre vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos, reflejando una fortaleza importante para el vehículo eléctrico.

Dillman et al. (2021) elaboran el estudio de la carga eléctrica adicional potencial en la red eléctrica de Reykjavík (Islandia) entre 2019 y 2050 con el impacto que tendría la incorporación de los BEV de acuerdo con las políticas pro-EV. Los resultados revelan que el sistema eléctrico podría enfrentarse a tensiones con un incremento potencial de la carga máxima de 67-114% en el periodo que se estudia, siendo una amenaza para su expansión. Así, se podría planificar cuándo y dónde poner en riesgo el sistema eléctrico debido a la carga de los BEV.

Kejun et al. (2021) redactaron un artículo con el objetivo de analizar la posibilidad de seguir la ruta establecida en el acuerdo de París. Dicho acuerdo, marcó el objetivo de calentamiento global de 2°C y 1,5°C para 2100. Así, el equipo de modelado del IPAC presenta el escenario de energía y CO₂ del sector del transporte en China para alcanzar el objetivo. Así, para alcanzar el escenario de 1,5°C, las emisiones de CO₂ del transporte deben ser prácticamente nulas para 2050, y aquí es donde el coche eléctrico presenta un papel fundamental, siendo este punto una oportunidad para su desarrollo.

Thomas P. Narins (2017) analiza los recursos de litio entre su suministro, la demanda de calidad y su precio por los fabricantes, importante en el vehículo eléctrico debido a que es un material principal en la batería del vehículo. Se observa que Bolivia es el país que más reservas tiene del mundo, pero por el contrario no es la primera productora por lo que existe una inestabilidad entre la demanda y la producción, siendo por lo tanto una debilidad para tener en cuenta para el desarrollo del vehículo eléctrico.

El documento redactado por Bello et al. (2021) tiene como principal objetivo el desafío la conducción ecológica. Para ello, se trata de implementar un controlador óptimo de dos capas diseñado específicamente para vehículos eléctricos puros. La función de dicho controlador sería la de asegurar que la energía disponible sea la adecuada para completar un viaje requerido, mediante límites de velocidad para así controlar la tasa de consumo de energía. El controlador propuesto es un NMPC ligado a una optimización unidimensional no lineal. Así, se permitiría aumentar en un 50% la autonomía del vehículo limitando al 30% las capacidades de velocidad y aceleración, lo que sería una oportunidad (ampliando la autonomía) para su expansión.

Debido a las condiciones operativas variables de los BEV, Mantriota et al. (2021), defienden que los motores eléctricos pueden degradarse significativamente, llevando a una menor autonomía y mayores costos de funcionamiento, representado una debilidad del vehículo eléctrico. En dicho artículo, se sugiere la solución del motor dual en el cual dos motores de menor tamaño se acoplan utilizando un engranaje planetario. Esto garantiza

que ambos motores operen en las cercanías de su rango de trabajo óptimo, haciendo que se consiga una mayor eficiencia energética general, considerando esta solución como una oportunidad. Los resultados muestran que el motor dual supera a la contraparte de motor único con un progreso de la eficiencia promedio de alrededor del 9%.

Nian et al. (2019) tienen como objetivo principal el de reducir el precio de adquisición de un vehículo eléctrico, haciendo un estudio del modelo para reducir el precio llegando a un acuerdo para realizar un descuento en el propio concesionario. Así, se reduce su coste inicial, beneficiando tanto al sector público como al privado, sin afectar a los impuestos y sin que sean necesarias grandes subvenciones, siendo una gran fortaleza para el crecimiento del vehículo eléctrico

Bienias et al. (2020) llevan a cabo un estudio realizado en Wroclaw (Polonia) en el cual se destaca que la mayor parte de la compra de automóviles se compran en el mercado de segunda mano, un mercado en el cual el vehículo eléctrico apenas tiene competitividad alguna. Así, el estudio ratifica la generalizada opinión positiva que tiene el BEV entre los consumidores, considerándolo como una fortaleza para su crecimiento, pero confían que su compra sea subvencionada mediante una ayuda gubernamental.

Lefeng et al. (2020) realizan el estudio que tiene como objetivo el cálculo tanto de los beneficios ambientales y de infraestructura que produce la sustitución del vehículo urbano de combustión interna al vehículo eléctrico tanto de autoservicio como de transporte público reduciendo la emisión de gases contaminantes, mitigando el ruido del tráfico y relajando la presión de demanda de infraestructuras públicas en carreteras y aparcamientos, reflejando las principales fortalezas del vehículo eléctrico.

Kostopoulos et al. (2020) realizan un estudio de forma experimental en unas condiciones de conducción reales, examinando cuantitativamente las pérdidas de energía que tienen lugar en el proceso de carga de un BEV, especialmente en el 80%-100% de estado de carga que previamente no se había explorado, mostrando que las pérdidas casi se duplican en comparación con el 20%-80% y su consumo promedio de energía real es casi de 2 kWh/100km más comparando con lo que se marca en la pantalla del vehículo, exponiendo la debilidad de la pérdida de energía real en comparación con lo marcado.

Ajanovic et al. (2020) defienden que los BEV son de especial interés, pudiendo alcanzar una reducción significativa de emisiones si la electricidad empleada se obtiene de fuentes de energía renovables. Pero al no ser los BEV económicamente competitivos en la actualidad con los vehículos convencionales de combustibles fósiles sin políticas de apoyo. Así, el artículo analiza los costos y perspectivas en los próximos años de los BEV en comparación con los automóviles de gasolina, viendo como una oportunidad para su expansión la reducción de emisiones antes mencionada, debido a la cada vez mayor concienciación del cambio climático.

Baars et al. (2020) tratan el tema de la reducción de la extracción de materias primas para las baterías de iones de litio que son las utilizadas en los vehículos eléctricos. Para ello, hay que comprender los flujos actuales y futuros de cobalto incrustado en las baterías de los BEV en la UE. Las nuevas tecnologías ofrecen una oportunidad como las estrategias más convenientes para reducir fundamentalmente la dependencia del cobalto,

pero podría conllevar un aumento de la demanda del níquel, que se podría evitar utilizando un sistema eficiente de reciclaje.

Palmer et al. (2018) tratan sobre la reducción de emisión de CO₂ dentro del sector eléctrico en Estados Unidos. Dicha reducción tiene principalmente cuatro fuentes: permuta de generación de carbón a gas natural; disminución en la generación total en réplica a la menor demanda de electricidad; reducción de intensidad de emisiones de operaciones de carbón y gas natural; e intercambiar de generación de combustibles fósiles a energías renovables. Como consecuencia, se obtiene una amenaza de la variación de precios del carbono repercutirá en el coste de la generación de energía de las compañías eléctricas y a las acciones de dichas compañías.

Horschutz Nemoto et al. (2021) tratan de identificar las oportunidades para emprender los desafíos urbanos del coche eléctrico. Propone para ello un método para medir los impactos de los vehículos eléctricos automatizados compartidos en el movimiento realizando un estudio de sostenibilidad.

Nana O. Bonsu (mayo 2020) aborda en su documento las aplicaciones al término de su primera vida útil de las baterías de los BEV en una economía circular baja en carbono posteriormente de la transición global hacia el BEV y la economía neta cero. En el documento se defiende la idea de un modelo comercial de ciclo cerrado que no se fije exclusivamente en el reciclaje de minerales crudos de batería o su reutilización, haciendo de esto una oportunidad para la expansión del vehículo eléctrico.

Carrese et al. (2021) consideran una oportunidad considerable la introducción de flotas de transporte eléctrico en las zonas urbanas de mercancías debido a la mejora que ha tenido en los últimos años la tecnología y la creciente viabilidad económica del coche eléctrico.

Piperigkos et al. (2021) estudian los posibles impactos de los ataques FDI (Inyección de Ataques Falsos) que se trata de un ataque habitual que se localiza en los controladores de los vehículos eléctricos conectados que podría usarse para modificar la cantidad real de oferta y demanda de energía representando una amenaza para su expansión.

Actualmente, el mercado de vehículos eléctricos está experimentando un gran auge y es posible que estemos cerca de llegar a un punto sin retorno para un despliegue sostenido de vehículos eléctricos en el mercado. En el artículo escrito por Thiel et al. (2020) se trata de mostrar una visión más amplia y analizar los diferentes aspectos del mercado. Se realiza un análisis DAFO en el cual se muestra que los BEV están diseñados tecnológicamente a la par que las alternativas convencionales. Así, se llega a la conclusión de que se necesitan incentivos para su compra hasta que los precios de las baterías bajen para que así los vehículos se vuelvan más baratos, considerando esto como una debilidad.

A continuación, se muestran (por orden de izquierda a derecha) la referencia, el tema del que trata, la causa de su relevancia y el último lugar a que coordenada de la matriz DAFO pertenece:

Referencia	Tema	Relevancia	Matriz DAFO
Sanguesa et al. (2021)	Mejoras en el proceso de carga del vehículo eléctrico	Se analiza la tecnología utilizada, las ventajas con respecto al vehículo a motor de combustión interna, la evolución de las ventas. Analizan las baterías y posibles tecnologías que se pueden usar en el futuro	Oportunidad y fortaleza
Henze et al. (2021)	Precio de las baterías.	Bajada del precio por kWh	Fortaleza
Dillman et al. (2021)	Impacto de las políticas a favor del vehículo eléctrico	Incremento de las tensiones a la hora de la carga del vehículo.	Amenaza
Kejun et al. (2021)	Impacto del VE en el calentamiento global	Emisiones de CO ₂ nulas en los medios de transporte.	Oportunidad
Thomas P. Narins. (2017).	Analiza los recursos de litio.	Bolivia es el país con mayor reserva de litio, pero no el que más produce.	Debilidad
Bello et al. (2021)	Conducción ecológica.	Implementar un controlador para hacer el vehículo eléctrico puro	Oportunidad
Manriota et al. (2021)	Degradación de los motores eléctricos.	Aplicación de un motor dual para mejorar la eficiencia energética	Oportunidad
Nian et al. (2019)	Reducción del precio de un vehículo eléctrico.	Realizar un descuento en el concesionario.	Fortaleza
Bienias et al. (2020)	Compra del vehículo en mercados de segunda mano.	Compra subvencionada por parte del gobierno.	Oportunidad
Lefeng et al. (2020)	Beneficios ambientales del vehículo eléctrico.	Reducción de las emisiones contaminantes.	Fortaleza

Kostopoulos et al. (2020)	Estudio de forma experimental en unas condiciones de conducción reales	El vehículo consume más de lo que realmente marca en la pantalla del vehículo	Debilidad
Ajanovic et al. (2020)	Analiza los costos y perspectivas en los próximos años de los BEV	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	Oportunidad
Baars et al. (2020)	Reducción de la extracción de materias primas para las baterías de iones de litio	Reducir fundamentalmente la dependencia del cobalto	Oportunidad
Palmer et al. (2018)	Reducción de emisión de CO ₂ dentro del sector eléctrico	Variación de precios del carbono repercutirá en el coste de la generación de energía	Amenaza
Horschutz Nemoto et al. (2021)	Desafíos urbanos del vehículo eléctrico.	Método para medir los impactos de los vehículos eléctricos automatizados compartidos	Oportunidad
Nana O. Bonsu. (2020).	Primera vida útil del vehículo eléctrico.	Implementar un modelo comercial cerrado para las baterías.	Oportunidad
Carrese et al. (2021)	Avance de la tecnología del vehículo eléctrico.	Introducción de flotas de transporte eléctrico en las zonas urbanas.	Oportunidad
Piperigkos et al. (2021)	Posibles impactos de los ataques falsos.	Modifica la cantidad real de oferta y demanda energética.	Amenaza
Thiel et al. (2020)	Visión amplia de los aspectos de mercado	Convertir el vehículo eléctrico en un sistema de movilidad que sea sostenible y más asequible.	Debilidad

Tabla 1: Revisión de la literatura.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Factores influyentes a la hora de la compra de un vehículo eléctrico.

A pesar de que el mercado del vehículo eléctrico lleva años en continuo crecimiento, existen una serie de factores por los que los consumidores son reacios a la adquisición de un vehículo eléctrico. Dichos factores, son más importantes dependiendo del país en el cual estemos realizando el estudio. En el siguiente gráfico, se pueden observar las mayores preocupaciones con respecto a los vehículos eléctricos que funcionan exclusivamente con baterías. La falta de autonomía, la falta de infraestructura y el coste son las principales preocupaciones de los consumidores en la mayoría de los países en los que se realiza el estudio. Sin embargo, en China la prioridad es la seguridad que tiene el vehículo eléctrico.

Concern	United States	Germany	Japan	Rep. of Korea	China	India
Driving range	28%	28%	22%	11%	25%	13%
Lack of charging infrastructure	25%	22%	29%	32%	20%	26%
Cost/price premium	20%	16%	23%	17%	9%	16%
Time required to charge	13%	13%	15%	18%	13%	14%
Safety concerns	8%	12%	10%	19%	29%	25%
Lack of choice	4%	5%	1%	3%	4%	6%
Other	2%	4%	0%	0%	0%	0%

Tabla 2: Factores por los que no se compran vehículos eléctricos en diferentes países.

Fuente: Deloitte.

2.3. Análisis DAFO.

Una vez realizado la revisión de la literatura, a continuación, se va a diseñar una matriz DAFO a partir de los artículos anteriores. El DAFO (cuyas iniciales significan Debilidades, Amenazas y Oportunidades) es un instrumento que nos posibilita examinar la realidad de una empresa, marca o producto como es el caso que se está tratando, para poder llegar a diversas conclusiones de cara al futuro. La matriz DAFO es un buen comienzo a la hora de plantear un nuevo proyecto para contribuir a las posibles estrategias que se pueden tomar para que éste sea viable.

En el análisis DAFO, se consideran que existen dos partes diferenciadas:

1. Análisis interno: Se trata de la fase en la cual se haría una fotografía del estado del proyecto considerando sus fortalezas y debilidades.
2. Análisis externo: Se considera a las amenazas y a las oportunidades porque tienen lugar en el mundo exterior al proyecto, pero han de ser tratadas para superarlas si nos referimos a las amenazas, o de aprovecharlas en el caso de las oportunidades.

Así, una vez asimilado los conceptos básicos de la herramienta DAFO, se realiza una matriz DAFO quedando de la siguiente manera:

Análisis interno	
Fortalezas	Referencia
Ahorro a largo plazo mediante el ahorro de combustible.	Henze et al. (2021)
Necesidad de un menor mantenimiento.	Sanguesa et al. (2021)
Bajada del precio por kWh	Henze et al. (2021)
Contamina menos.	Lefeng et al. (2020)
Produce menos ruido.	Lefeng et al. (2020)
Debilidades	
	Referencia
Tiene un mayor coste de adquisición.	Nian et al. (2019)
Dispone de una baja autonomía.	Bello et al. (2021)
Posee un alto tiempo de recarga.	Sanguesa et al. (2021)
Análisis externo	
Oportunidades	Referencia
Ayudas con subvenciones.	Bienias et al. (2020)
Políticas actuales y futuras a favor del vehículo eléctrico.	Carrese et al. (2020)
Alta demanda en el mercado del automóvil.	Thomas P. Narins (2017)
Sector en desarrollo con posibles mejoras.	Sanguesa et al. (2021)
Amenazas	
	Referencia
Ausencia de infraestructura de recarga.	Lefeng et al. (2020)
La variación de precios del carbono repercutirá en el coste de energía.	Palmer et al. (2018)

Tabla 3: Matriz DAFO.

Fuente: Elaboración propia.

3 ORIGEN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS.

Tras una década de continuo y rápido desarrollo, en el año 2020 el stock mundial de vehículos eléctricos consiguió obtener la marca de los 10 millones (Agencia Internacional de la Energía, 2021), lo que supuso un aumento del 43% con respecto al año anterior. Asimismo, los vehículos eléctricos de batería (BEV) representaron el 66% de las nuevas matriculaciones de los vehículos eléctricos y del stock en el año 2020. Aunque China tiene la mayor flota de vehículos eléctricos con un total de 4,5 millones de ellos, Europa consiguió el mayor incremento anual en su flota llegando a alcanzar un total de 3,2 millones de vehículos eléctricos.

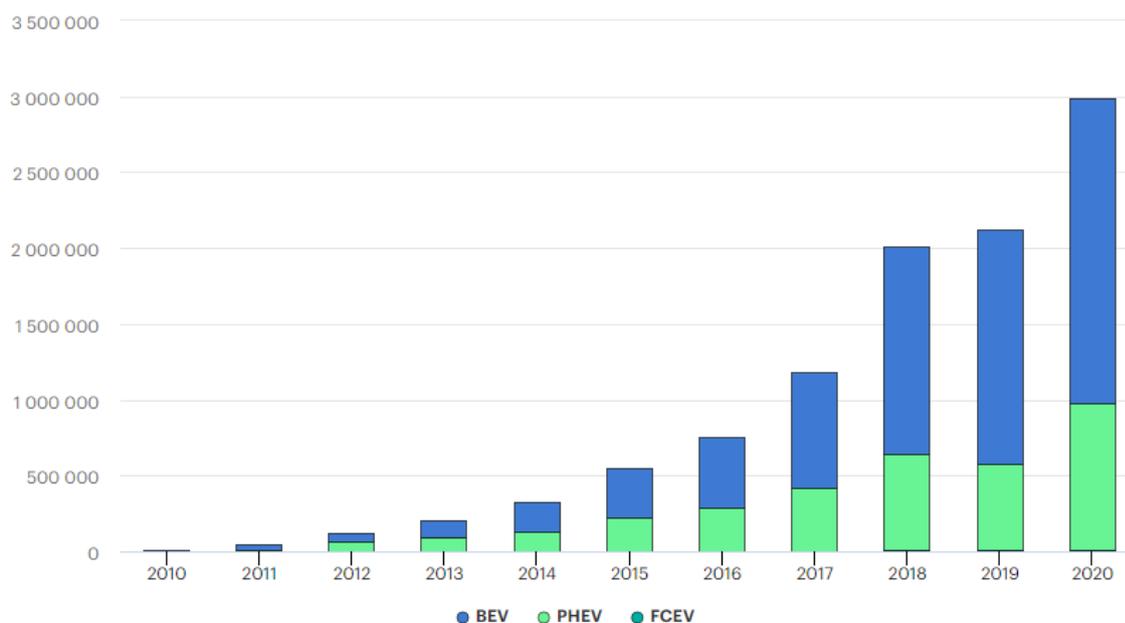


Figura 2: Ventas de vehículos eléctricos mundiales entre 2010-2020.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

A pesar de todo esto, el mercado global para todos los tipos de vehículos se vio afectado de modo significativo debido a las repercusiones económicas de la pandemia de la Covid-19. En la primera parte del año 2020, las matriculaciones de nuevos vehículos se desplomaron en torno a un tercio en comparación con 2019 aunque esto fue equilibrado en la segunda mitad del año y la caída general en las matriculaciones de vehículos solo se redujo en un 16% una vez transcurrido todo el año. La participación en el negocio mundial de vehículos eléctricos aumentó un 70%. Con todo esto, en 2020 se matricularon alrededor de 3 millones de vehículos eléctricos. A la cabeza de las matriculaciones se encuentra por primera vez Europa, que lideró las nuevas matriculaciones con un total de 1,4 millones de registros, seguido de China con 1,2 millones y Estados Unidos con un total de 295.000 nuevos vehículos eléctricos (Agencia Internacional de la Energía, 2021). En el siguiente gráfico se muestra el aumento de las matriculaciones de vehículos eléctricos desde el año 2015 hasta 2020:

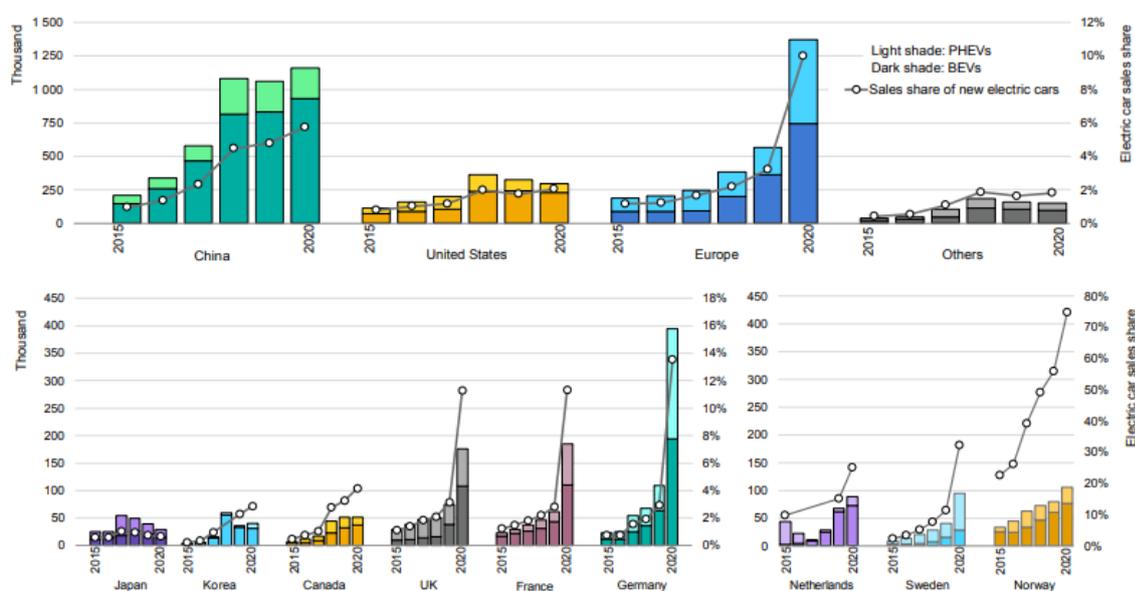


Figura 3: Matriculaciones de vehículos eléctricos entre 2015 y 2020.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

3.1. Subvenciones gubernamentales

Fueron diversos factores los que contribuyeron al incremento de las matriculaciones de vehículos eléctricos en el año 2020. Cabe destacar que los vehículos eléctricos están creciendo paulatinamente en aquellos países sobre la base del costo total de la propiedad. Varios gobiernos facilitaron o prorrogaron incentivos fiscales que amortiguaron las compras de automóviles eléctricos ante la recesión que sufría el mercado del automóvil. A continuación, se muestran las principales metas e incentivos fiscales que están desarrollando los gobiernos de la Unión Europea, China, Estados Unidos, Japón, Canadá, e India recogiendo en una tabla elaborada por el IEA:

En Europa, la Directiva de Infraestructura de Combustibles Alternativos muestra como principal objetivo el aumento de las estaciones de carga para vehículos eléctricos. Los países miembros de la UE están obligados a implementar objetivos para cargadores de acceso público para los vehículos eléctricos con una proporción orientativa de un cargador para cada diez vehículos eléctricos. Se ha marcado el objetivo de implementar 1 millón de cargadores públicos ya instalados para el año 2025 estableciendo una hoja de ruta para tal fin. Para tal efecto, se ha dotado para esta implementación un total de 672.500 millones de euros (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Asimismo, los principales países de la Unión Europea como Alemania, Francia, Suecia, Países Bajos e Italia ya cuentan con políticas y objetivos para promover el desarrollo desde subvenciones e incentivos fiscales como la recarga gratuita en zonas urbanas.

China declaró su intención de realizar un programa de gasto público en infraestructura digital de un total de 1,4 billones de dólares en la que entraba financiación para estaciones de recarga de vehículos eléctricos. Esto además de realizarlo a nivel estatal, ya son más de diez ciudades con el propósito de instalar alrededor de 1.2 millones de cargadores para el año 2025 (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Con todo esto, existen recompensas financieras a los gobiernos locales que realicen los objetivos para nuevos puntos de recarga domésticos.

		Canada	China	European Union	India	Japan	United States
Regulations vehicles	ZEV mandate	British Columbia: 10% ZEV sales by 2025, 30% by 2030 and 100% by 2040. Québec: 9.5% EV credits in 2020, 22% in 2025.	New Energy Vehicle dual credit system: 10-12% EV credits in 2019-2020 and 14-18% in 2021-2023.				California: 22% EV credits by 2025. Other states: Varied between ten states.
	Fuel economy standards (most recent for cars)	114 g CO ₂ /km or 5.4 L/100 km*** (2021, CAFE)	117 g CO ₂ /km or 5.0 L/100 km (2020, NEDC)	95 g CO ₂ /km or 4.1 L/100 km (2021, petrol, NEDC)	134 g CO ₂ /km or 5.2 L/100 km (2022, NEDC)	132 g CO ₂ /km or 5.7 L/100 km (2020, WLTP Japan)	114 g CO ₂ /km or 5.4 L/100 km*** (2021, CAFE)
Incentives vehicles	Fiscal incentives	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Regulations chargers**	Hardware standards.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Building regulations.	✓ *	✓ *	✓	✓		✓ *
Incentives chargers	Fiscal incentives	✓	✓	✓	✓	✓	✓ *

Tabla 4: Regulaciones e incentivos en diversos países.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

En Estados Unidos, la mayoría de los estados de EE. UU. cuentan con políticas específicas para deducir créditos fiscales o incentivos para la compra de vehículos eléctricos y asistencia técnica para la instalación de infraestructura de carga en los domicilios de las familias que compren un vehículo eléctrico (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Además de esos créditos fiscales, se propuso un plan para el año 2021 en el cual se subvencionarían unos 500.000 cargadores además de los más de 100.000 puntos de carga ya existentes (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Los estados líderes del país como California y Nueva York ofrecen

diversos incentivos fiscales y promover la colaboración con las empresas eléctricas para promover los vehículos eléctricos despliegue.

Japón mostró su intención de ser neutral en carbono para 2050 en una declaración del primer ministro en octubre de 2020. En diciembre de ese mismo año, el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) lanzó el programa a seguir con planes de acción de 14 sectores para lograr ese objetivo (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Para el transporte, dicho programa se focaliza en una mayor electrificación, así como el uso de baterías de próxima generación, haciendo uso de una combinación de subvenciones, reformas relacionadas con el reabastecimiento de hidrógeno y la infraestructura de carga de vehículos eléctricos e incentivos fiscales para la inversión de capital y la I+D. METI informó que, para mediados de la década de 2030, Japón pretende tener todos los nuevos vehículos de pasajeros electrificados. Para alcanzar este objetivo, propuso revisar regulaciones de eficiencia de combustible, contratación pública de vehículos eléctricos, expansión de infraestructura de carga e inversión a gran escala en el suministro de vehículos eléctricos.

Por su parte en Canadá, existe un programa para promover la infraestructura de vehículos de cero emisiones el cual recibió una financiación de 112 millones de euros para su implementación (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Su atención se centra en cargadores de nivel 2 en unidades múltiples edificios residenciales y lugares de trabajo, y flota e infraestructura de carga de alta potencia. El fondo de combustibles de carbono y cero emisiones fue un programa que se anunció en el año 2020 para aumentar la producción y el uso de combustibles bajos en carbono, mientras que los principales programas de implementación de infraestructura de recarga para el vehículo eléctrico recibieron financiación adicional.

Por último, en el marco del programa FAME II de la India, se han presupuestado 133 millones (Agencia Internacional de la Energía, 2021) de dólares para nueva infraestructura de carga, aunque hasta ahora los fondos han estado inutilizados. En octubre de 2020, el Ministerio de Industria publicó una expresión de interés que invita a los inversores a sacar rédito del programa e instalar un mínimo de 1 estación de carga cada 25 km a lo largo de las principales carreteras nacionales y cada 100 km para acomodar a los vehículos más pesados.

3.2. Influencia de los cargadores

A pesar de que la mayor parte de la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos tiene lugar en el hogar o en el trabajo, la implementación de una infraestructura de recarga de acceso público será un punto de inflexión ya que los países líderes en el auge del vehículo eléctrico entran en una etapa crítica debido a que los propietarios piden una mayor autonomía de su vehículo. Los cargadores públicos alcanzaron los 1,3 millones de unidades en 2020, entre los que el 30% son cargadores rápidos (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Asimismo, la instalación de cargadores de acceso público aumentó un 45%, un 85% más lento que el en 2019, probablemente debido a que el trabajo fue interrumpido por el impacto en nuestras vidas de la pandemia. China es el país líder en disponibilidad de cargadores rápidos y lentos públicos.

3.2.1. Cargadores lentos

Las instalaciones de cargadores lentos (potencia de carga inferior a 22 kW) en China en 2020 aumentaron en un 65% a alrededor de 500.000 cargadores lentos de acceso público. Esto simboliza más de la mitad del stock mundial de cargadores lentos (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Por su parte, Europa ocupa el segundo lugar con alrededor de 250.000 cargadores lentos, en gran parte debido a que sus instalaciones han aumentado en un tercio en 2020. Los Países Bajos es el país que lidera en Europa con más de 63.000 cargadores lentos. Finlandia, Suecia e Islandia duplicaron su stock de cargadores lentos en 2020. La instalación de cargadores lentos en Estados Unidos se vio incrementada en un 28 % en el año 2020 con respecto al año anterior pasando a un total de 82.000 (Agencia Internacional de la Energía, 2021).

3.2.2. Cargadores rápidos

Las instalaciones de cargadores rápidos (potencia de carga superior a 22 kW) en China en 2020 se incrementaron en un 44% alcanzando la cifra de casi 310.000 cargadores rápidos, aunque fue más lento que el ritmo de crecimiento anual del 93 % que se obtuvo en el año 2019 (Agencia Internacional de la Energía, 2021). El número relativamente alto de cargadores rápidos disponibles públicamente en China es para equilibrar la escasez de opciones de carga privadas y para facilitar el logro de los objetivos marcados para la rápida expansión de los vehículos eléctricos. En cambio, en Europa, los cargadores rápidos se están implementando a un ritmo mayor que los lentos. En la actualidad, existen más de 38.000 cargadores rápidos públicos, hasta 55% en 2020, de los cuales casi 7.500 son fabricados en Alemania, 6.200 en el Reino Unido, 4 000 en Francia y 2 000 en los Países Bajos. Estados Unidos cuenta con 17.000 cargadores rápidos, de los cuales casi el 60% son supercargadores de Tesla (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Los cargadores rápidos de acceso público facilitan los viajes más largos ya que se puede parar en cualquier lugar a recargar el vehículo. Como ellos están cada vez más desplegados, permitirán viajes más largos y alentar a los usuarios tardíos sin acceso a la carga privada a comprar un vehículo eléctrico.

En el siguiente gráfico se muestra el stock de cargadores rápidos (izquierda) y lentos (derecha) de acceso público para vehículos ligeros de 2015 a 2020:

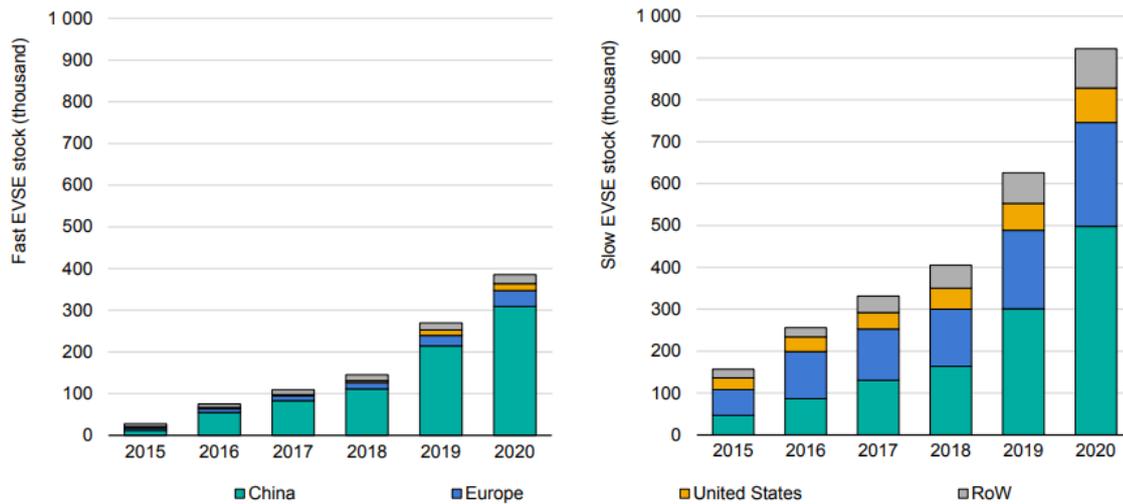


Figura 4: Cargadores rápidos y lentos públicos para vehículos ligeros.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

3.3. Coste de las baterías en los vehículos eléctricos

En una encuesta anual realizada en noviembre de 2021 por BloombergNEF (BloombergNEF, 2021), muestra como los precios cayeron en un 6 % del año 2020 a 2021. Los precios de los paquetes de baterías de iones de litio, los cuales estaban por encima de \$1200/kWh en 2010, han en términos reales a \$132/kWh en 2021, lo que sería una caída del precio de un 89%. Las continuas rebajas en el precio son indican una buena previsión para la expansión del vehículo eléctrico, ya que éste depende de la tecnología de iones de litio. A pesar de esta reducción del precio, el impacto que conlleva el aumento de los precios de las materias primas y el aumento de los costos de materiales clave como los electrolitos ha ejercido presión sobre la industria en la segunda mitad del año 2021. En el siguiente gráfico se muestra el descenso de los precios en las baterías de iones de litio:

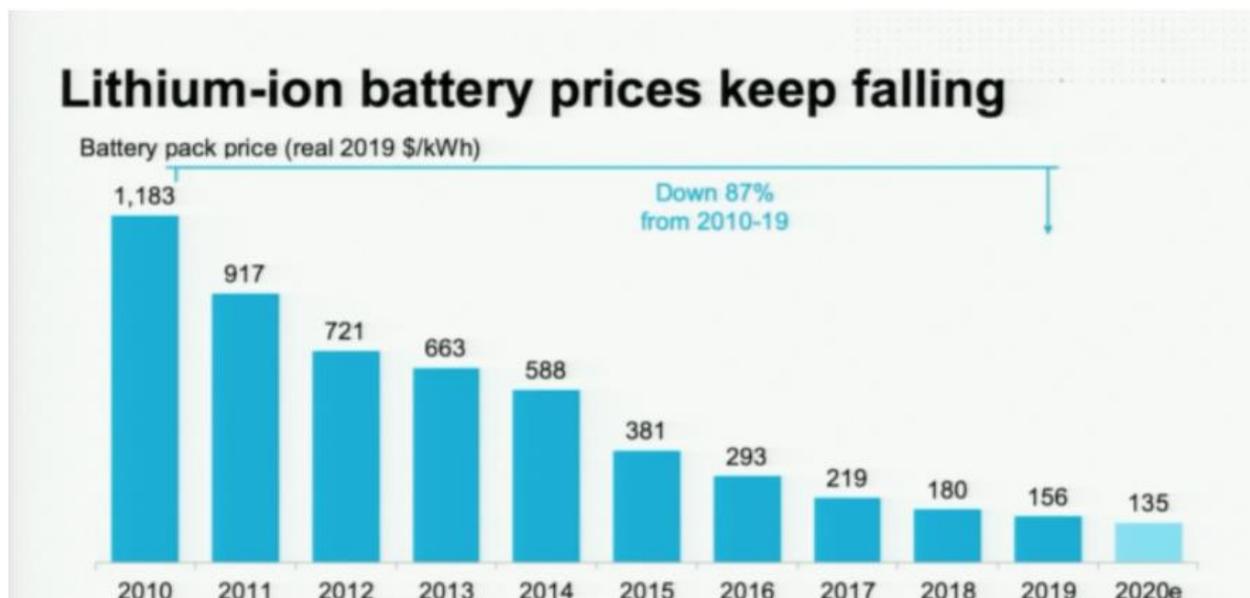


Figura 5: Precio de las baterías de litio entre 2010 y 2020.

Fuente: BloombergNEF, 2020.

Estos precios son una media de los diferentes usos finales de baterías, incluyendo los diversos tipos de vehículos eléctricos, autobuses y proyectos de almacenamiento estacionario. Si nos centramos en los paquetes destinados a los vehículos eléctricos de batería (BEV) en particular, los precios fueron de \$118/kWh sobre una base promedio ponderada por volumen a lo largo del año 2021 (BloombergNEF, 2021).

A nivel regional, China fue el país donde el precio de los paquetes de baterías fue más bajo, a \$111/kWh. Los paquetes de baterías tanto en EE.UU. como en Europa cuestan un 40 % y un 60 % más, respectivamente, que en China. Esto refleja la relativa inmadurez de los mercados estadounidense y europeo, la variada gama de aplicaciones y, para el extremo superior de la gama, el bajo volumen y los pedidos personalizados que se realizan. Los precios continuaron desplomándose en 2021 a medida que aumentó la adopción de la química de cátodos de bajo costo conocida como fosfato de hierro y litio (LFP) y el uso de cobalto costoso en cátodos a base de níquel continuó reduciéndose (BloombergNEF, 2021).

Observando las tendencias históricas, la encuesta de precios de baterías de 2021 realizada por BNEF (BloombergNEF, 2021), pronostica que para el año 2024 el precio medio de los paquetes de baterías debería estar por debajo de \$100/kWh.

Pese a lo mencionado anteriormente, los precios más altos de las materias primas denotan que, en el corto plazo, el valor promedio de los paquetes podría aumentar a \$135/kWh a lo largo del año 2022 en términos nominales. Ante la escasez de otras mejoras que puedan paliar este impacto, esto podría significar que el punto en el que los precios caen por debajo de \$100/kWh podría retrasarse hasta dos años (BloombergNEF, 2021), lo

que afectaría la obtención de un vehículo eléctrico por parte de un comprador.

El procedimiento para alcanzar los 100 \$/kWh está definido, aunque actualmente el momento parece más incierto. En 2021, una ola de fabricantes de automóviles marcó unas hojas de ruta de tecnología de baterías que describen cómo los precios pueden bajar de \$100/kWh. En la actualidad, ya hay diferentes empresas como Renault y Ford han anunciado públicamente objetivos de 80 \$/kWh para 2030 (BloombergNEF, 2021).

3.4. Densidad energética en el vehículo eléctrico

El caso de los vehículos eléctricos que pasan a la corriente principal o salen de la etapa de crecimiento de los primeros usuarios se ha visto fomentado por el aumento de la densidad de energía en las baterías de iones de litio y la correspondiente caída en su costo que esto conlleva. La densidad de energía de la batería es la cantidad de energía que se puede almacenar en la misma cantidad de peso. A medida que se incrementa la densidad de energía, se puede extraer aún más energía de un paquete de baterías con el mismo peso.

Estas mejoras son sorprendentes y facilitaron el camino para un futuro en el que el transporte utilizado sea mayoritariamente eléctrico. A medida que se mejoran las densidades de energía, los vehículos eléctricos de mayor autonomía irrumpen en el mercado sin necesidad de paquetes físicamente más grandes y pesados. Esto se puede observar en el Tesla Model S, que se presentó al mercado con una autonomía de unos 402 kilómetros por carga. Sin embargo, el Model S, que se trata de un vehículo más nuevo, con su paquete de baterías Long Range Plus puede alcanzar 628 kilómetros de autonomía por carga. También se pueden ver otros ejemplos como puede ser el Nissan LEAF (BloombergNEF, 2020), que ha conseguido aumentar su autonomía continuamente desde 2011, pasando de 117 kilómetros de autonomía en ese año a 346 kilómetros por carga en 2020, como se puede ver en el gráfico a continuación:

Nissan LEAF Range Evolution

Range on a full charge (in miles).

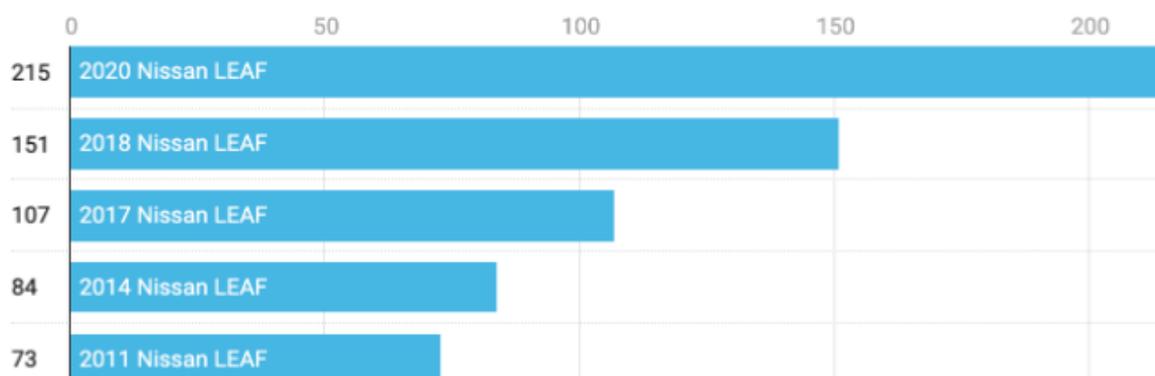


Figura 6: Autonomía del Nissan LEAF.

Fuente: BloombergNEF, 2020.

Mejorar la densidad de energía permite otras ganancias significativas en todos los ámbitos con vehículos eléctricos. A medida que mejora la densidad, el mismo paquete de 100 kWh se vuelve más ligero. Los paquetes de baterías más ligeros conllevan a disminuir gastos de carga y manejo a lo largo de la cadena de suministro, lo que reduce aún más el costo de la batería (BloombergNEF, 2021).

4 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

En este capítulo se van a describir los modelos estadísticos que se aplicarán posteriormente para la elaboración del panel de datos.

4.1. Modelo de efectos fijos

Un modelo de efectos fijos es un modelo estadístico en el que los parámetros del modelo son valores fijos. Esto difiere con los modelos de efectos aleatorios (que se verá en el siguiente punto) y los modelos mixtos en los que todos o algunos de los parámetros del modelo son variables aleatorias. Dicho modelo se refiere a un modelo de regresión en el que las medias de grupo son invariables. Generalmente, los datos se pueden agrupar de acuerdo con varios elementos observados. Las medias de los grupos se pueden modelar como efectos fijos o aleatorios para cada agrupación. En un modelo de efectos fijos, la media de cada grupo es una cantidad fija específica del grupo.

En los datos de panel donde existen observaciones longitudinales para el mismo sujeto, los efectos fijos representan los medios específicos del sujeto. En el análisis de datos de panel, el término estimador de efectos fijos se utiliza para referirse a un estimador de los coeficientes en el modelo de regresión, incluidos los efectos

fijos (una intersección invariante en el tiempo para cada sujeto).

El modelo de efectos fijos sirve para controlar el sesgo de las variables omitidas debido a la heterogeneidad no observada cuando esta es constante en el tiempo. Esta heterogeneidad se puede eliminar de los datos mediante la diferenciación, por ejemplo, restando el promedio a nivel de grupo a lo largo del tiempo, o tomando una primera diferencia que eliminará los componentes invariantes en el tiempo del modelo.

El supuesto de efectos fijos es que los efectos específicos de cada individuo están correlacionados con las variables independientes. El modelo de efectos fijos tiene dos grandes inconvenientes:

1. Al incluir implícitamente demasiadas variables ficticias, se pierden numerosos grados de libertad (al eliminar el intercepto, ahorramos un grado de libertad). Si se consiguiera encontrar alguna manera de evitar esta pérdida, conseguiríamos producir una estimación más eficiente de la pendiente común.
2. La transformación involucrada en este proceso de estimación borra toda explicación variable que no varían dentro de un individuo. Esto significa que cualquier explicación variable que es invariable en el tiempo, desaparece, y por lo que no podemos estimar un coeficiente de pendiente para esa variable.

4.2. Modelo de efectos aleatorios

El modelo de efectos aleatorios está diseñado para superar los dos inconvenientes que presenta el modelo de efectos fijos como se ha visto anteriormente. Este modelo se asemeja al modelo de efectos fijos en que postula un punto de intersección diferente para cada individuo, pero se diferencia en que interpreta estos puntos de intersección de distinta manera.

Este procedimiento ve las diferentes intersecciones como si hubieran sido extraídas de un bol de posibles intersecciones, por lo que pueden interpretarse como aleatorias (generalmente se supone que son normalmente aleatorias) y tratadas como si fueran parte del término de error. Como resultado, se tiene una especificación en la que hay un intercepto general, un conjunto de variables explicativas con coeficientes de interés y un término de error compuesto. Este error compuesto tiene dos partes. Para un individuo en particular, una parte es el término de "intersección aleatoria", que mide la medida en que el intercepto de este individuo difiere del intercepto general. La otra parte es solo el error aleatorio tradicional con el que estamos familiarizados, que indica una desviación aleatoria para ese individuo en ese período de tiempo.

Para un individuo en particular la primera parte es la misma en todos los períodos de tiempo; la segunda parte es diferente en cada tiempo período. La clave para la estimación usando el modelo de efectos aleatorios es reconocer que en la matriz de varianza-covarianza de este error compuesto no todos los elementos fuera de la diagonal son cero. Observaciones sobre diferentes se supone que los individuos tienen una correlación cero entre

sus errores compuestos. Este crea una matriz de varianza-covarianza con un patrón especial. El estimador de efectos aleatorios estima esta matriz de varianza-covarianza y realiza cálculos generalizados estimados mediante el método de los mínimos cuadrados (EGLS).

4.3. Efectos fijos vs efectos aleatorios. Test de Hausman

El modelo de efectos aleatorios produce un estimador más eficiente de los coeficientes de pendiente que el modelo de efectos fijos dado que tiene menos grados de libertad. Además, la transformación utilizada para el procedimiento de estimación de efectos aleatorios no elimina las variables explicativas que son invariantes en el tiempo. Estos resultados sugieren que el azar modelo de efectos es superior al modelo de efectos fijos, aunque en la práctica no sucede así. El modelo de efectos aleatorios tiene una calificación importante que lo hace aplicable solo en circunstancias especiales.

Para decidir entre efectos fijos o aleatorios, se ha de observar el resultado del p-valor teniendo los dos siguientes escenarios:

- Si $p\text{-value} < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula de igualdad al 95% de confianza y se deben asumir las estimaciones de efectos fijos. Por el mismo criterio, si $p\text{-value} < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula de igualdad al 95% de confianza y se debe rechazar la hipótesis de independencia o irrelevancia de las variables.
- Por el contrario, si $p\text{-value} > 0.05$ se debe admitir la hipótesis nula de igualdad de estimaciones y entonces el estimador más eficiente, el método de efectos aleatorios es el que debe ser seleccionado. Igualmente, si el $p\text{-valor} > 0.05$ debe asumirse con el 95% de confianza, que la variable introducida en el modelo de contraste no es irrelevante.

5 APLICACIÓN

En este capítulo se va a aplicar la metodología estadística detallada en el apartado anterior a los datos recogidos en el capítulo 3 de origen y descripción de datos.

Para la elaboración del panel de datos, se han tenido en cuenta las siguientes variables como las que más afectan a la expansión del vehículo eléctrico: Como variable a explicar de los modelos se va a emplear el flujo de nuevos vehículos eléctricos (matriculaciones anuales). Por su parte, entre las variables explicativas se van a tener en cuenta los stocks de cargadores lentos y rápidos y el coste y la densidad de la batería (datos incluidos en el capítulo 3), 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-grupo. Todas las variables se van a declarar como logarítmicas para así poder controlar posibles relaciones no lineales entre las variables en niveles. De esta manera, los coeficientes estimados representan las elasticidades. El modelo se va a estimar por efectos fijos para manejar adecuadamente la posible existencia de correlación entre las variables explicativas y el término de error.

De igual forma, cabe mencionar 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 los datos pero que sin embargo sí que afectan a la variable estudiada, como puede ser la posición que adopta cada Gobierno nacional en cuanto a la regulación y a los incentivos a la industria del vehículo eléctrico.

5.1. Datos

Los datos usados para la elaboración del panel de datos se han obtenido en el capítulo 3 de este trabajo. Estos se obtuvieron en la web de la Agencia Internacional de la energía (ventas de BEV, stock de BEV, número de cargadores lentos y cargadores rápidos) y de BloombergNEF (coste y densidad de las baterías), como se mencionó en dicho capítulo. Estos datos quedan recogidos en el Anexo 1 de este trabajo. En dicha tabla, los datos de ratio y ratio 1 se han calculado realizando la división de Cell entre Densidad y Pack entre Cell respectivamente, siendo Cell y Pack referentes al coste de las baterías. Como se dijo previamente, todas las variables se han declarado como logarítmicas.

5.2. Programación

Lo que se persigue con la realización del panel de datos, es comprobar que variables tienen mayor importancia de cara a la expansión del vehículo eléctrico con el fin de aumentar la cantidad de vehículos eléctricos mundiales.

Las variables seleccionadas para realizar el panel de datos son las que más influyen en el consumidor a la hora de la compra de un vehículo eléctrico.

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 VE. A las medidas públicas de estímulo de la oferta y la demanda de VE se une la necesidad de crear toda una oferta de accesorios del VE, donde la disponibilidad de puntos de carga juega un papel fundamental.

La relación con la densidad de la batería resulta significativamente positiva; ambas relaciones son no lineales. Por tanto, resulta evidente que a medida que las baterías han abaratado su coste y han mejorado sus prestaciones, el coche eléctrico se ha convertido en mayor medida en un sustitutivo plausible del coche tradicional.

Se ha implementado un código en R studio el cual elabora el panel de datos para el modelo de efectos fijos, aleatorios y realiza el test de Hausman para comprobar cuál es mejor. El código que se ha programado es el que se muestra a continuación:

```
library(foreign)
```

```
library(haven)
```

```
library(plm)
```

```
#Cargo datos stata
```

```
Panel<-read_dta("C:/Users/Usuario/Desktop/Ingenieria Industrial/TFG/EV1.dta")
```

```
Panel1 <- subset(Panel, Año>2014)
```

```
#Efectos fijos1
```

```
fixed_1 <- plm(log_stockBEV ~ log_Carg_lentos + log_Carg_rapidos + log_Densidad, data=Panel1,  
index=c("Country","Año"), model="within")
```

```
summary(fixed_1)
```

```
#Efectos aleatorios1
```

```
random_1 <- plm(log_stockBEV ~ log_Carg_lentos + log_Carg_rapidos + log_Densidad, data=Panel1,  
index=c("Country","Año"), model="random")
```

```
summary(random_1)
```

```
#Test de Hausman
```

```
phptest(fixed_1, random_1)
```

5.3. Resultado al modelo de efectos fijos

La primera estimación incluye en el modelo explicativo del stock de vehículos eléctricos, los cargadores, lentos y rápidos y la densidad de la batería. Se trata de un modelo contemporáneo, en el sentido de que no se consideran posibles retardos en las variables explicativas. El modelo de efectos fijos muestra efectos significativos de las características de la densidad de la batería, con una elasticidad positiva e igual a 1.83. El cargador lento parece tener un efecto significativo sobre el vehículo eléctrico ligeramente superior al cargador rápido, siendo sus elasticidades de 0.23 y 0.21, respectivamente.

Por último, El valor de R-Squared es una medida estadística de qué tan cerca están los datos de la línea de regresión ajustada. El resultado que nos da del mismo indica que el modelo explica la mayor parte de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media, dado que su valor es cercano a la unidad. El resultado obtenido para el modelo de efectos fijos mediante el lenguaje de programación R Studio es el siguiente:

```

Oneway (individual) effect Within Model

Call:
plm(formula = log_stockBEV ~ log_Carg_lentos + log_Carg_rapidos +
     log_Densidad, data = Panell, model = "within", index = c("Country",
     "Año"))

Unbalanced Panel: n = 29, T = 3-7, N = 183

Residuals:
      Min.      1st Qu.      Median      3rd Qu.      Max.
-0.7692856 -0.1583683 -0.0073647  0.1163756  0.7598200

Coefficients:
              Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
log_Carg_lentos  0.236155   0.048508  4.8684 2.807e-06 ***
log_Carg_rapidos 0.210154   0.048871  4.3002 3.049e-05 ***
log_Densidad     1.814016   0.143511 12.6402 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares:    153.5
Residual Sum of Squares: 11.673
R-Squared:                0.92395
Adj. R-Squared:          0.90834
F-statistic: 611.543 on 3 and 151 DF, p-value: < 2.22e-16

```

Figura 7: Modelo de efectos fijos.

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Resultado al modelo de efectos aleatorios

La segunda estimación del panel de datos se realiza con el modelo de efectos aleatorios. En este caso, al igual que en el anterior, incluye en el modelo explicativo del stock de vehículos eléctricos, los cargadores, lentos y rápidos y la densidad de la batería, en el que tampoco se consideran posibles retardos en las variables explicativas. En el modelo de efectos aleatorios, los resultados son ligeramente diferentes a los resultados proporcionados por el modelo de efectos fijos. En este caso, la elasticidad de la densidad de la batería sigue siendo positiva y mayor que la unidad, pero siendo menos importante que en el modelo anterior, con un valor igual a 1.32. Por su parte el cargador lento parece continuar teniendo un efecto significativo sobre el vehículo eléctrico ligeramente superior al cargador rápido, pero en este caso, sus elasticidades de 0.34 y 0.32, respectivamente.

En este caso, el valor de R-Squared sigue siendo un resultado próximo a uno, pero menor al que se

```
Oneway (individual) effect Random Effect Model
(Swamy-Arora's transformation)

Call:
plm(formula = log_stockBEV ~ log_Carg_lentos + log_Carg_rapidos +
     log_Densidad, data = Panell, model = "random", index = c("Country",
     "Año"))

Unbalanced Panel: n = 29, T = 3-7, N = 183

Effects:
              var std.dev share
idiosyncratic 0.07731 0.27804 0.128
individual    0.52797 0.72662 0.872
theta:
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.7843 0.8569  0.8569  0.8502 0.8569  0.8569

Residuals:
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-1.03776 -0.16570  0.00533  0.00386 0.18642  0.70805

Coefficients:
              Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
(Intercept)    6.417349   0.472458 13.5829 < 2.2e-16 ***
log_Carg_lentos 0.347105   0.046635  7.4431 9.837e-14 ***
log_Carg_rapidos 0.327265   0.046554  7.0299 2.067e-12 ***
log_Densidad   1.324103   0.123796 10.6959 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares:    166.78
Residual Sum of Squares: 16.321
R-Squared:                0.9022
Adj. R-Squared:           0.90056
Chisq: 1685.95 on 3 DF, p-value: < 2.22e-16
```

obtuvo con el método de efectos fijos. El modelo de efectos aleatorios es el siguiente:

Figura 8: Modelo de efectos aleatorios.

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Test de Hausman

Una vez obtenidos los resultados para el modelo de efectos fijos y para el modelo de efectos aleatorios, se realiza el test de Hausman a nuestros datos para decidir con cual de los dos nos quedamos. Así, los resultados conseguidos por el test de Hausman son los siguientes, que quedamos con el modelo de efectos fijos por delante del modelo de efectos aleatorios:

Hausman Test

```
data: log_stockBEV ~ log_Carg_lentos + log_Carg_rapidos + log_Densidad
chisq = 40.533, df = 3, p-value = 8.214e-09
alternative hypothesis: one model is inconsistent
```

Figura 9: Test de Hausman.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el p-value obtenido en el Test de Hausman es menor que 0.05, nos decantamos por el modelo de efectos fijos. Dicho modelo, como se ha mencionado previamente, señala como principal factor para la expansión del vehículo eléctrico en la sociedad, la densidad del mismo, es decir, su autonomía. El hecho de que el cargador lento sea más importante que el cargador rápido es algo temporal, ya que los cargadores rápidos llevan implantados menos tiempo y por tanto hay muchos menos. Como se ha señalado anteriormente, valor de R-Squared es una medida estadística de qué tan cerca están los datos de la línea de regresión ajustada, siendo el valor de este igual a 0.94, lo que nos quiere decir que los datos se encuentran muy cercanos a la línea de regresión ajustada.

El modelo de efectos fijos es el siguiente:

Oneway (individual) effect Within Model

Call:

```
plm(formula = log_stockBEV ~ log_Carg_lentos + log_Carg_rapidos +
      log_Densidad, data = Panell, model = "within", index = c("Country",
      "Año"))
```

Unbalanced Panel: n = 29, T = 3-7, N = 183

Residuals:

	Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
	-0.7692856	-0.1583683	-0.0073647	0.1163756	0.7598200

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)	
log_Carg_lentos	0.236155	0.048508	4.8684	2.807e-06	***
log_Carg_rapidos	0.210154	0.048871	4.3002	3.049e-05	***
log_Densidad	1.814016	0.143511	12.6402	< 2.2e-16	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 153.5

Residual Sum of Squares: 11.673

R-Squared: 0.92395

Adj. R-Squared: 0.90834

F-statistic: 611.543 on 3 and 151 DF, p-value: < 2.22e-16

Figura 10: Modelo de efectos fijos.

Fuente: Elaboración propia.

6 DISCUSIÓN

Desde un punto de vista econométrico, son varios los factores que parecen estar influyendo o que influirán en el despliegue y la penetración del vehículo eléctrico en los próximos años. Estos factores son los que se han considerado en los paneles de datos elaborados en el apartado anterior para aumentar el stock del vehículo eléctrico son la influencia de los cargadores (lentos y rápidos), el coste y la densidad de las baterías que usan los vehículos eléctricos para su funcionamiento.

Habiéndonos decantado por el modelo de efectos fijos, mostrándose la ecuación utilizada posteriormente, entre los factores analizados en este trabajo, se encuentran el precio del vehículo eléctrico y su autonomía, muy relacionados ambos con el coste y la densidad de las baterías. Este despliegue conjunto del coche eléctrico se produce en un escenario donde los costes de fabricación del coche eléctrico y de la batería de almacenamiento descienden período tras período (como se puede observar en la tabla de datos), dotando al coche eléctrico de un precio cada vez más competitivo.

$$\log(\text{StockBEV}) = \log(\text{Cargadores lentos}) + \log(\text{Cargadores rápidos}) + \log(\text{Densidad})$$

Los coeficientes de las variables estudiadas representan las elasticidades de las mismas. La elasticidad se define como la sensibilidad de variación que presenta una variable a los cambios experimentados por otra. En nuestro caso, como varía porcentualmente el stock de vehículos eléctricos ante el cambio de la densidad de las baterías y de la implementación de cargadores lentos y rápidos.

Como se muestra en el panel de datos elaborado, la densidad se muestra como el factor más importante a la hora del avance y despliegue del vehículo eléctrico en nuestra sociedad, teniendo una elasticidad mayor que 1,

resultando una variable elástica. Los datos nos muestran que si la densidad de las baterías del vehículo eléctrico aumentan en un 1%, el stock de vehículos eléctricos se incrementará en un 1.81%.

Asimismo, la disponibilidad de infraestructuras de recarga se muestra como un factor importante. Esta disponibilidad, principalmente de cargadores rápidos, emerge, por tanto, como uno de los elementos que van a favorecer el despliegue del coche eléctrico en las próximas décadas, aunque hoy en día, sigue siendo más importante los cargadores lentos que los cargadores rápidos, dado que existen muchas más unidades de los primeros que de los segundos (563.910 cargadores rápidos y 1.189.980 cargadores lentos) (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Los datos de las elasticidades mostrados en los datos de panel del modelo de efectos fijos, ambas elasticidades son inelásticas. Con respecto a los cargadores lentos, el stock de vehículos eléctricos aumenta un 0.23% cuando los cargadores lentos aumentan un 1%. Por su parte, el stock de vehículos eléctricos aumenta un 0.21% si se aumenta el número de cargadores rápidos en 1%. Comprobando que hoy en día, la influencia de los cargadores lentos es ligeramente superior a la de los cargadores rápidos. En las siguientes gráficas, se muestran las proyecciones de cargadores lentos y cargadores rápidos en todo el mundo:

EV charging points, World, STEPS scenario 2020-2030
charging points

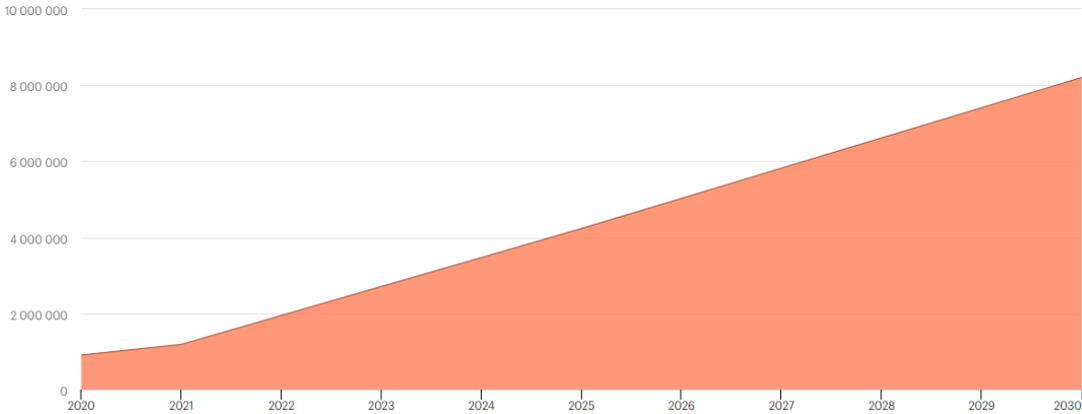


Figura 11: Proyección de cargadores lentos hasta el año 2030.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

EV charging points, World, STEPS scenario 2020-2030
charging points

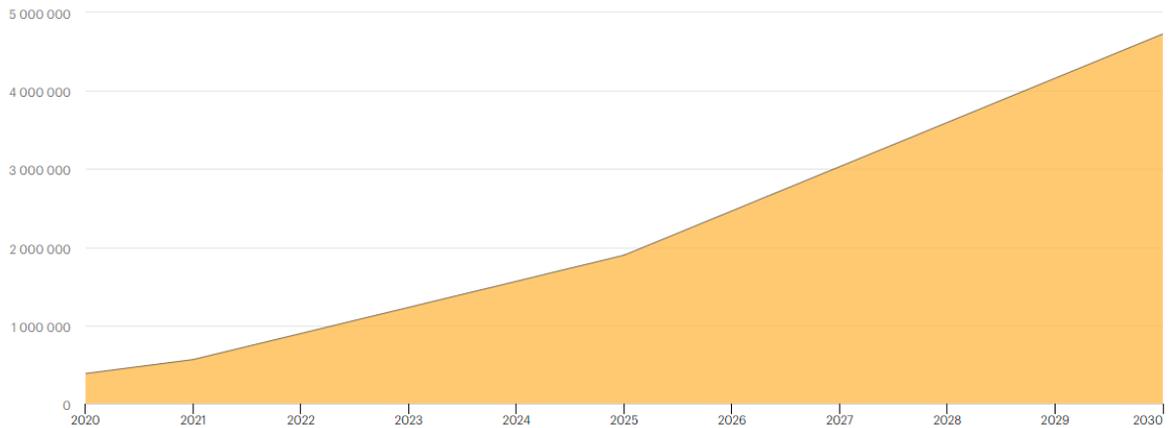


Figura 12: Proyección de cargadores rápidos hasta el año 2030.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

Una vez se han visto las proyecciones de implantación de cargadores lentos y rápidos para vehículos eléctricos, y teniendo en cuenta el descenso continuado del coste de la baterías, unido a su vez al aumento de la densidad de las mismas (lo que conllevaría al aumento de la autonomía del vehículo eléctrico), la Agencia Internacional de la Energía marca unas proyecciones de stock de más de 125.000.000 de vehículos eléctricos en todo el Mundo, cifra notablemente superior a los poco más de 11.000.000 de vehículos que existen en la actualidad (Agencia Internacional de la Energía, 2021). El gráfico de proyección del stock mundial del vehículo eléctrico es el siguiente:

EV stock, cars, World, STEPS scenario 2020-2030
stock

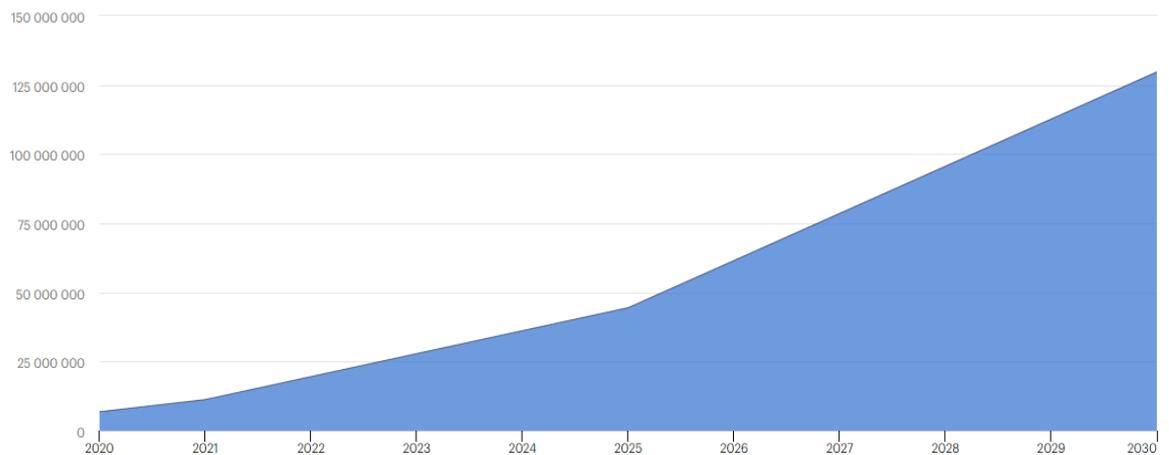


Figura 13: Proyección en el stock de vehículos eléctricos hasta el año 2030.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

A raíz de los datos obtenidos por las proyecciones obtenidas por la Agencia Internacional de la Energía, con previsiones para el año 2030, si los cargadores rápidos aumentan un 11.9%, y los cargadores rápidos aumentan en un 14.15% como marcan las proyecciones, el stock de vehículos eléctricos se incrementará en un 8.69%. Estas proyecciones nos marcan que la influencia de los cargadores tendrá un mayor impacto en el stock del vehículo eléctrico que el que marca el panel de datos elaborado en este trabajo.

7 CONCLUSIONES

El objetivo de este capítulo es recoger una serie de conclusiones generales del estudio realizado, con el objetivo de identificar las medidas necesarias para la eliminación de barreras en el despliegue y expansión del vehículo eléctrico.

Las políticas para el desarrollo de la movilidad eléctrica aplicadas en diferentes países europeos se basan principalmente en esquemas de ayudas. Si bien los incentivos aplicados son muy diversos, la mayor parte de dichos incentivos se centran en la ayuda destinada a la compra del vehículo eléctrico y, en menor medida, a la mejora y al aumento de la infraestructura de recarga. El coste actual del vehículo, en descenso en los últimos años, se debe principalmente a las baterías, aunque se prevé continuar disminución paulatina de su coste conforme la tecnología vaya progresando y al aumento de su densidad. De forma adicional, el papel de la infraestructura ayuda al despliegue de la movilidad eléctrica, dado que la implantación de cargadores rápidos y lentos de acceso público son importantes a la hora de superar las barreras que tiene el vehículo eléctrico para su expansión.

Desde un punto de vista econométrico, son varios los factores que parecen estar influyendo o que influirán 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 las baterías. Asimismo, la disponibilidad de infraestructuras de recarga de cargadores lentos y rápidos es un factor importante. 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 la batería de almacenamiento descienden todos los años, proporcionando al coche eléctrico de un precio cada vez más competitivo. El modelo estadístico desarrollado en este trabajo, una vez nos hemos decantado por el modelo de efectos fijos, nos muestra que el factor más importante a la hora del desarrollo del vehículo eléctrico es la densidad de carga, es decir, su autonomía, por encima de la importancia de los cargadores rápidos y cargadores lentos.

REFERENCIAS

- [1] Ajanovic, A., & Haas, R. (2020). On the economics and the future prospects of battery electric vehicles. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 10(6), 1151-1164.
- [2] Baars, J., Domenech, T., Bleischwitz, R., Melin, H. E., & Heidrich, O. (2021). Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials. *Nature Sustainability*, 4(1), 71-79.
- [3] Bienias, K., Kowalska-Pyzalska, A., & Ramsey, D. (2020). What do people think about electric vehicles? An initial study of the opinions of car purchasers in Poland. *Energy Reports*, 6, 267-273.
- [4] BloombergNEF. (2021, 26 noviembre). *Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite*. Recuperado el 25 de mayo de 2022, de <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/>
- [5] Bonsu, N. O. (2020). Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120659.
- [6] Carrese, F., Colombaroni, C., & Fusco, G. (2021). Accessibility analysis for urban freight transport with electric vehicles. *Transportation Research Procedia*, 52, 3-10.
- [7] Deloitte, (2021) *Global Automotiva Consumer Study*. Recuperado el 1 de abril de 2022, de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-2021-global-automotive-consumer-study-global-focus-countries.pdf>
- [8] Dillman, K. J., Fazeli, R., Shafiei, E., Jónsson, J. Ö. G., Haraldsson, H. V., & Davíðsdóttir, B. (2021). Spatiotemporal analysis of the impact of electric vehicle integration on Reykjavik's electrical system at the city and distribution system level. *Utilities Policy*, 68, 101145.
- [9] Field, K. (2020, 20 febrero). BloombergNEF: *Lithium-Ion Battery Cell Densities Have Almost Tripled Since 2010*. *CleanTechnica*. Recuperado el 25 de mayo de 2022, de <https://cleantechnica.com/2020/02/19/bloombergnef-lithium-ion-battery-cell-densities-have-almost-tripled-since-2010/>
- [10] Global EV Data Explorer – Analysis. (s. f.). *IEA*. Recuperado el 25 de junio de 2022, de <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>
- [11] Gupta, R., Pena-Bello, A., Streicher, K. N., Roduner, C., Farhat, Y., Thöni, D., ... & Parra, D. (2021). Spatial analysis of distribution grid capacity and costs to enable massive deployment of PV, electric mobility and electric heating. *Applied Energy*, 287, 116504.
- [12] Hernández, F. N., & ARCOS-VARGAS, Á. N. G. E. L. (2019). Análisis comparativo a nivel internacional de

la expansión del vehículo eléctrico. *Economía industrial*, (411), 55-68.

[13] IEA, (2022), *Global EV Outlook 2021*. Recuperado el 25 de junio de 2022, de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcba637/GlobalEVOutlook2021.pdf>

[14] Kejun, J., Chenmin, H., Songli, Z., Pianpian, X., & Sha, C. (2021). Transport scenarios for China and the role of electric vehicles under global 2° C/1.5° C targets. *Energy Economics*, 103, 105172.

[15] Kennedy, P. (2008). *A guide to econometrics*. John Wiley & Sons.

[16] Kostopoulos, E. D., Spyropoulos, G. C., & Kaldellis, J. K. (2020). Real-world study for the optimal charging of electric vehicles. *Energy Reports*, 6, 418-426.

[18] Lefeng, S., Shengnan, L., Chunxiu, L., Yue, Z., Cipcigan, L., & Acker, T. L. (2020). A framework for electric vehicle power supply chain development. *Utilities Policy*, 64, 101042.

[18] Mantriota, G., & Reina, G. (2021). Dual-motor planetary transmission to improve efficiency in electric vehicles. *Machines*, 9(3), 58.

[19] Narins, T. P. (2017). The battery business: Lithium availability and the growth of the global electric car industry. *The Extractive Industries and Society*, 4(2), 321-328.

[20] Nemoto, E. H., Issaoui, R., Korbee, D., Jaroudi, I., & Fournier, G. (2021). How to measure the impacts of shared automated electric vehicles on urban mobility. *Transportation research part D: transport and environment*, 93, 102766.

[21] Ou, S., Hsieh, I. Y. L., He, X., Lin, Z., Yu, R., Zhou, Y., & Bouchard, J. (2021). China's vehicle electrification impacts on sales, fuel use, and battery material demand through 2050: Optimizing consumer and industry decisions. *Iscience*, 24(11), 103375.

[22] Palmer, K., Tate, J. E., Wadud, Z., & Nellthorp, J. (2018). Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan. *Applied energy*, 209, 108-119.

[23] Piperigkos, N., & Lalos, A. S. (2021). Impact of False Data Injection attacks on Decentralized Electric Vehicle Charging Protocols. *Transportation Research Procedia*, 52, 331-338.

[24] Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404.

[25] Roa, M. M. (2022, 17 febrero). *¿Cómo avanza la transición hacia la movilidad eléctrica?* Statista Infografías. Recuperado el 23 de junio de 2022, de <https://es.statista.com/grafico/22026/paises-con-mayor-porcentaje-de-vehiculos-electricos-respecto-a-las-ventas-matriculaciones-de-turismos-nuevos-en-2019/>

[26] Thiel, C., Tsakalidis, A., & Jäger-Waldau, A. (2020). Will electric vehicles be killed (again) or are they the next mobility killer app?. *Energies*, 13(7), 1828.

[27] Wang, L., Nian, V., Li, H., & Yuan, J. (2021). Impacts of electric vehicle deployment on the electricity sector in a highly urbanised environment. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126386.

[28] Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory econometrics: A modern approach*. Cengage learning.

Anexo

País	Año	ventasBEV	stockBEV	Carg_lentos	Carg_rapidos	Cell	Pack	Coste	Densidad	ratio	ratio1
Australia	2017	1208	3419	436	40	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Australia	2018	1803	5222	665.92334	61.093887	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Australia	2019	6283	11505	1679	251	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Australia	2020	5238	16743	1950	350	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Australia	2021	17300	34043	1951	351	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Belgium	2013	613	1205	331	47	469	215	684	0.1	3350	0.4584222
Belgium	2014	1448	2196	559	55	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
Belgium	2015	1685	3308	1335	77	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
Belgium	2016	2292	5186	1485	110	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Belgium	2017	3040	7524	1493	222	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Belgium	2018	4168	10853	2716	242	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Belgium	2019	8947	18660	6070	359	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Belgium	2020	15071	31692	8006	476	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Belgium	2021	22229	52336	12023	793	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Brazil	2018	71	351	454.40771	4.8926806	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Brazil	2019	538	889	454.40771	4.8926806	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Brazil	2020	683	1572	454.40771	4.8926806	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Brazil	2021	2041	3613	454.40771	4.8926806	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Canada	2012	620	840	722	2	904.6			0.1		
Canada	2013	1640	2480	1172	7	469	215	684	0.1	3350	0.4584222
Canada	2014	2825	5305	2266	55	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
Canada	2015	4380	9685	3361	63	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
Canada	2016	5220	14905	3900	135	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Canada	2017	8715	23620	5168	673	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Canada	2018	22660	46280	7100	840	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Canada	2019	32402	78682	7976.1401	975	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Canada	2020	36912	127487	10936	2258	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Canada	2021	59400	187765	12314	3055	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307

Chile	2011	6	6	1	1	1	1301.8	0.1	0.1
Chile	2012	5	11	4	6	4	904.6	0.1	0.1
Chile	2013	5	16	5	8	5	684	0.1	0.1
Chile	2014	3	19	5	13	5	412	0.2	0.2
Chile	2015	13	32	5	22	5	263	0.2	0.2
Chile	2016	22	54	22	22	5	221	0.2	0.2
Chile	2017	118	172	35	35	6	159	0.3	0.3
Chile	2018	109	281	61	61	8	134	0.3	0.3
Chile	2019	161	428	128	128	42	112	0.4	0.4
Chile	2020	112	540	268	268	84	104	0.5	0.5
Chile	2021	266	806	364	364	116	101	0.5	0.5
China	2014	48906	59400	21000	21000	9000	412	0.2	0.2
China	2015	146719	206119	46657	46657	12101	263	0.2	0.2
China	2016	257000	463119	86364.664	86364.664	54889.332	221	0.2	0.2
China	2017	468000	931119	130508.34	130508.34	83394.664	159	0.3	0.3
China	2018	815870	1746989	163666.67	163666.67	111333.34	134	0.3	0.3
China	2019	834197	2581186	301238	301238	214670	112	0.4	0.4
China	2020	931291	3512477	498000	498000	309000	104	0.5	0.5
China	2021	2734013	6246490	677000	677000	470000	101	0.5	0.5
Denmark	2012	486	1244	449	449	3	904.6	0.1	0.1
Denmark	2013	495	1538	496	496	56	684	0.1	0.1
Denmark	2014	1508	2918	813	813	117	412	0.2	0.2
Denmark	2015	4239	7891	1043	1043	271	263	0.2	0.2
Denmark	2016	1218	8665	2114	2114	314	221	0.2	0.2
Denmark	2017	693	8767	2114	2114	370	159	0.3	0.3
Denmark	2018	1545	10040	2170	2170	387	134	0.3	0.3
Denmark	2019	5532	15506	2244	2244	449	112	0.4	0.4
Denmark	2020	14227	31892	2699	2699	555	104	0.5	0.5
Denmark	2021	24956	66619	3491	3491	681	101	0.5	0.5
Finland	2013	50	169	250	250	17	469	0.1	0.1
Finland	2014	183	360	357	357	26	412	0.2	0.2
Finland	2015	243	614	706	706	130	263	0.2	0.2
Finland	2016	223	844	706	706	141	221	0.2	0.2
Finland	2017	502	1449	706	706	141	159	0.3	0.3
Finland	2018	776	2404	706	706	225	134	0.3	0.3
Finland	2019	1897	4661	1786	1786	338	112	0.4	0.4
Finland	2020	4245	9697	3870	3870	408	104	0.5	0.5
Finland	2021	10151	22921	5820	5820	767	101	0.5	0.5
France	2012	5661	8595	800	800	9	904.6	0.1	0.1
France	2013	8781	17376	1700	1700	102	684	0.1	0.1
France	2014	10567	27943	1700	1700	114	412	0.2	0.2
France	2015	17270	45213	9865	9865	580	263	0.2	0.2
France	2016	21758	66971	18620	18620	998	82	0.2	0.2
France	2017	25983	92954	20153	20153	1031	159	0.3	0.3
France	2018	31055	124009	22569	22569	1713	134	0.3	0.3
France	2019	42800	166809	27661	27661	2040	112	0.4	0.4
France	2020	110000	281603	30843	30843	3284	104	0.5	0.5
France	2021	170863	452466	49795	49795	4465	101	0.5	0.5

Germany	2012	2214	3864	1500	18	904.6	0.1	
Germany	2013	5311	9175	2400	47	684	0.1	3350 0.4584222
Germany	2014	8347	17522	2606	116	606	0.2	2614.265 0.4708738
Germany	2015	12081	29603	4587	471	393	0.2	1375.415 0.4942966
Germany	2016	11322	40925	22213	1688	303	0.2	960.376 0.3710407
Germany	2017	25065	59087	22213	1801	226	0.3	636 0.4213836
Germany	2018	36062	95149	23112	2612	186	0.3	413.8618 0.3880597
Germany	2019	63281	136617	34203	5088	160	0.4	295.8753 0.4285714
Germany	2020	194474	330780	37213	7456	140	0.5	231.1111 0.3461539
Germany	2021	355961	686741	41813	9159	132	0.5	200.4326 0.3069307
Greece	2019	190	469	12	22	160	0.4	295.8753 0.4285714
Greece	2020	679	1148	161	29	140	0.5	231.1111 0.3461539
Greece	2021	2176	3324	1133	79	132	0.5	200.4326 0.3069307
Iceland	2015	387	691	11	11	393	0.2	1375.415 0.4942966
Iceland	2016	375	1066	11	40	303	0.2	960.376 0.3710407
Iceland	2017	847	1910	32	36	226	0.3	636 0.4213836
Iceland	2018	784	2684	40	55	186	0.3	413.8618 0.3880597
Iceland	2019	914	3749	110	152	160	0.4	295.8753 0.4285714
Iceland	2020	2551	6271	288	190	140	0.5	231.1111 0.3461539
Iceland	2021	4268	10539	560	125	132	0.5	200.4326 0.3069307
India	2017	918	7000	222	25	226	0.3	636 0.4213836
India	2018	915	7915	326.65714	25	186	0.3	413.8618 0.3880597
India	2019	681	8596	326.65714	25	160	0.4	295.8753 0.4285714
India	2020	3122	11718	535	25	140	0.5	231.1111 0.3461539
India	2021	11698	23416	906	32	132	0.5	200.4326 0.3069307
Italy	2012	459	1218	1350	1	904.6	0.1	
Italy	2013	794	2012	1350	6	684	0.1	3350 0.4584222
Italy	2014	1040	3052	1350	10	606	0.2	2614.265 0.4708738
Italy	2015	1396	4448	1679	70	393	0.2	1375.415 0.4942966
Italy	2016	1382	5830	2298	166	303	0.2	960.376 0.3710407
Italy	2017	2022	7809	2424	393	226	0.3	636 0.4213836
Italy	2018	4978	12787	2860	573	186	0.3	413.8618 0.3880597
Italy	2019	10663	23450	8312	864	160	0.4	295.8753 0.4285714
Italy	2020	32485	55307	12150	1231	140	0.5	231.1111 0.3461539
Italy	2021	67273	122138	20224	2247	132	0.5	200.4326 0.3069307

Japan		2014	16109	70200	8640	2871	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
Japan		2015	10465	79100	16120	5971	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
Japan		2016	15300	88200	17260	7061	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Japan		2017	18100	102000	21507	7255	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Japan		2018	26530	112200	22287	7684	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Japan		2019	21300	122100	22536	7858	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Japan		2020	14600	136700	21916	7939	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Japan		2021	21700	158400	21150	8043	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Korea		2016	4685	10440	1095	919	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Korea		2017	13970	24410	10333	3343	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Korea		2018	55486	55486	22139	5213	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Korea		2019	33423	88909	37396	7396	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Korea		2020	31329	120238	54383	9805	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Korea		2021	71517	191755	91634	15067	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Mexico		2017	234	731	359	19	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Mexico		2018	201	932	846	30	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Mexico		2019	268	1200	976	46	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Mexico		2020	1906	3106	1191	79	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Mexico		2021	3283	6389	1250	92	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Netherlands		2012	786	1910	2782	21			904.6	0.1		
Netherlands		2013	2251	4161	5770	21	469	215	684	0.1	3350	0.4584222
Netherlands		2014	2664	6825	11860	121	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
Netherlands		2015	2543	9368	17786	222	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
Netherlands		2016	4054	13105	32120	404	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Netherlands		2017	9194	21115	32875	407	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Netherlands		2018	24434	44984	36010	819	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Netherlands		2019	62004	107536	49324	829	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Netherlands		2020	72299	182481	63586	2047	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Netherlands		2021	63153	245634	82876	2577	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
New Zealand		2018	4356	8939	89	204	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
New Zealand		2019	5280	13278	131	258	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
New Zealand		2020	3908	17120	146	312	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
New Zealand		2021	6751	23871	172	427	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307

Norway	2011	1996	3909	3105	18	1301.8	0.1
Norway	2012	3948	8031	3688	58	904.6	0.1
Norway	2013	7885	15013	4511	96	684	0.1
Norway	2014	18091	33103	5185	108	215	0.2
Norway	2015	25779	58882	5185	328	194	0.2
Norway	2016	24222	83104	7040	501	130	0.2
Norway	2017	33023	116129	8292	917	82	0.2
Norway	2018	46091	162272	9333	1226	67	0.3
Norway	2019	60271	222543	10337	3970	226	0.3
Norway	2020	76779	339105	11677	5299	186	0.4
Norway	2021	113715	452820	12608	6670	160	0.4
Other Europe	2011	871	1037	49	7	140	0.5
Other Europe	2012	1354	2391	1341	188	31	0.5
Other Europe	2013	1110	3501	1842	237	1301.8	0.1
Other Europe	2014	2738	6239	2596	342	904.6	0.1
Other Europe	2015	3312	9551	3363	634	684	0.1
Other Europe	2016	5414	14965	4426	885	215	0.2
Other Europe	2017	8772	23737	6732	1378	606	0.2
Other Europe	2018	12754	36491	7954	1836	303	0.2
Other Europe	2019	20346	56837	8767	2404	226	0.3
Other Europe	2020	36494	93331	14347	4095	636	0.4
Poland	2015	176	453	290	8	186	0.4
Poland	2016	329	782	290	32	160	0.5
Poland	2017	920	1702	410	113	140	0.2
Poland	2018	1143	2845	488	281	393	0.2
Poland	2019	2326	5171	529	308	226	0.3
Poland	2020	4832	10003	781	677	186	0.3
Poland	2021	8938	18795	2293	1381	160	0.4
Portugal	2011	189	908	1072	6	140	0.5
Portugal	2012	52	960	1120	7	132	0.5
Portugal	2013	141	1101	1158	17	1301.8	0.1
Portugal	2014	193	1294	1178	17	904.6	0.1
Portugal	2015	673	1967	1238	22	684	0.1
Portugal	2016	812	2779	1254	41	215	0.2
Portugal	2017	1893	4672	1452	153	194	0.2
Portugal	2018	4429	9101	1602	184	130	0.2
Portugal	2019	6883	15984	1602	359	82	0.2
Portugal	2020	8137	24121	2154	647	67	0.3
Portugal	2021	13451	37572	2752	1426	226	0.3
South Africa	2017	68	333	87	37	186	0.3
South Africa	2018	66	399	158	81	160	0.4
South Africa	2019	156	555	112	133	140	0.5
South Africa	2020	92	638	142	163	132	0.5
South Africa	2021	218	856	142	163	132	0.5

Spain	2013	811	1700	800	91	469	215	684	0.1	3350	0.4584222
Spain	2014	1405	3105	800	109	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
Spain	2015	1342	4447	1378	243	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
Spain	2016	2005	6452	3312	232	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Spain	2017	3920	10372	4312	596	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Spain	2018	6003	16375	4410	618	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Spain	2019	10044	26419	4500	1003	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Spain	2020	18314	44733	6045	2128	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Spain	2021	24706	69439	5607	2643	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Sweden	2012	266	603	500	5			904.6	0.1		
Sweden	2013	432	1010	1000	1000	469	215	684	0.1	3350	0.4584222
Sweden	2014	1239	2172	1064.7924	1064.7924	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
Sweden	2015	2962	4765	1251	1251	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
Sweden	2016	2951	7532	1737	1737	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Sweden	2017	4359	11034	2576	788	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Sweden	2018	7147	16664	3237	902	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Sweden	2019	15795	30343	4036	1030	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Sweden	2020	28097	55790	8804	1608	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Sweden	2021	57881	110177	12454	1640	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
Switzerland	2012	342	897	400	4			904.6	0.1		
Switzerland	2013	1156	2053	600	27	469	215	684	0.1	3350	0.4584222
Switzerland	2014	2688	4741	1300	99	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
Switzerland	2015	3257	7998	3399	207	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
Switzerland	2016	3295	11293	3460	278	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
Switzerland	2017	4775	16068	3460	503	159	67	226	0.3	636	0.4213836
Switzerland	2018	5138	21206	4422	652	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
Switzerland	2019	13190	34396	5414	786	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
Switzerland	2020	19311	53707	6676	1158	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
Switzerland	2021	31676	85383	6623	1585	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
USA	2015	71044	210328	28150	3524	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
USA	2016	86731	297059	35089	3079	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
USA	2017	104487	401546	39601	3436	159	67	226	0.3	636	0.4213836
USA	2018	238823	640369	50258	4242	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
USA	2019	241912	882281	64265	13093	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
USA	2020	231088	1138654	82263	16718	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
USA	2021	466328	1343370	91775	21752	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307
United Kingdom	2012	1705	4570	2804	36			904.6	0.1		
United Kingdom	2013	2679	7249	5435	256	469	215	684	0.1	3350	0.4584222
United Kingdom	2014	6812	14061	7182	524	412	194	606	0.2	2614.265	0.4708738
United Kingdom	2015	10095	20952	8174	1066	263	130	393	0.2	1375.415	0.4942966
United Kingdom	2016	10509	31461	11497	1763	221	82	303	0.2	960.376	0.3710407
United Kingdom	2017	13551	45012	13062	2179	159	67	226	0.3	636	0.4213836
United Kingdom	2018	15743	60755	14732	2692	134	52	186	0.3	413.8618	0.3880597
United Kingdom	2019	37972	98727	22359	4735	112	48	160	0.4	295.8753	0.4285714
United Kingdom	2020	107575	206302	27222	6248	104	36	140	0.5	231.1111	0.3461539
United Kingdom	2021	192107	398409	29231	7663	101	31	132	0.5	200.4326	0.3069307

