

LA TRANSICIÓN HACIA EL VEHÍCULO ELÉCTRICO:
CAMBIOS Y DIMENSIONES CLAVE

*THE TRANSITION TO ELECTRIC VEHICLES:
KEY CHANGES AND DIMENSIONS*

Manuel Gracia Santos

Universidad Complutense de Madrid
Insitudo Complutense de Estudios Internacionales (ICEI-UCM)
migsantos@ucm.es

María J. Paz

Universidad Complutense de Madrid
Insitudo Complutense de Estudios Internacionales (ICEI-UCM)
mjpazant@ucm.es

Mario Risquez Ramos

Universidad Complutense de Madrid
Insitudo Complutense de Estudios Internacionales (ICEI-UCM)
mrisqueza@ucm.es

Recibido: junio 2023; aceptado: mayo 2024

RESUMEN

La transición al vehículo eléctrico supone un cambio disruptivo, que va a producir transformaciones significativas en múltiples dimensiones asociadas a las cadenas globales de producción de la industria automotriz. El objetivo de este artículo es identificar las dimensiones y los mecanismos fundamentales que pueden actuar de dinamizadores o, por el contrario, limitar este proceso de transición al vehículo eléctrico. Las principales dimensiones identificadas son: 1) Demanda y financiación, 2) Innovación y desarrollo tecnológico, 3) Instituciones y políticas públicas y 4) Crisis climática y disponibilidad de recursos.

El surgimiento de la batería como componente estratégico del vehículo eléctrico supone un cambio disruptivo en la composición del vehículo que introduce un conflicto de liderazgo entre los fabricantes tradicionales del sector y nuevas empresas proveedoras. Además, la posición avanzada de empresas asiáticas implica un cambio en la geografía productiva del sector que puede diluir su grado de regionalización tradicional. El aumento de medidas proteccionistas -arancelarias y no arancelarias- no son sino la expresión política de esta pugna por la jerarquía en la transición, que afectará al tejido productivo y al nivel de empleo. Todo ello plantea desafíos a las políticas públicas, tanto en organismos de gobernanza nacionales como supranacionales, que pueden dinamizar u obstaculizar la transición.

Palabras clave: cadenas globales de producción, industria automotriz, organización industrial, cambio tecnológico.

ABSTRACT

The transition to electric vehicles is a disruptive change that will produce significant transformations in multiple dimensions associated with the global production chains of the automotive industry. The aim of this article is to identify these changes and to analyse the fundamental dimensions and mechanisms that can act as drivers or constraints in this transition process. The main dimensions identified are: 1) Demand and financing, 2) Innovation and technological development, 3) Institutions and public policies, and 4) Climate crisis and resource availability.

The emergence of the battery as a strategic component of electric vehicles represents a disruptive change in the vehicle composition, introducing a leadership conflict between traditional manufacturers in the sector and new supplier companies. Moreover, the advanced position of Asian companies implies a shift in the sector's production geography that may dilute its traditional degree of regionalization. The increase in protectionist measures - both tariff and non-tariff - is nothing but the political expression of this struggle for hierarchy in the transition, which will affect production and employment levels. All this poses challenges to public policies, both at the national and supranational governance levels, which can either drive or hinder the transition.

Keywords: Global production chains, Automotive industry, Industrial organization, Technological change.

JEL Classification/ Clasificación JEL: F12, L62, L16, O33.

1. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz experimenta en la actualidad una transición hacia el vehículo eléctrico, como alternativa al vehículo de combustión. Esta transición reconfigura las cadenas de producción del sector y abre la puerta a la entrada de nuevos actores que pueden disputar el liderazgo de la industria o, al menos, de segmentos concretos de la cadena. Todo ello impacta sobre la especialización tecnológica y la organización de los procesos productivos en las plantas ensambladoras de vehículos y en las proveedoras que nutren las cadenas de suministro. Al mismo tiempo es una transición condicionada por múltiples factores que exceden al ámbito de lo estrictamente productivo y tecnológico. Elementos como la demanda de consumo, la financiación para acometer las inversiones necesarias, el entramado institucional y regulatorio, entre otros, condicionarán sin duda el alcance de esta transición.

El sector del automóvil es una industria fundamental en el entramado socioeconómico actual. Es una de las más dinámicas en el campo de la innovación y el desarrollo, y tradicionalmente actúa de vanguardia en la génesis de innovaciones tecnológicas y organizacionales cuya aplicación posteriormente se extiende a otros sectores. Se trata, además, de un sector con importantes efectos de arrastre sobre otras industrias manufactureras y de servicios, lo que lo convierte en un sector estratégico. La especialización en segmentos de alto valor añadido dentro de las cadenas de producción automotriz también favorece la generación de rentas y una inserción exterior más favorable. Por tanto, un mayor conocimiento sobre la transición que está experimentando este sector puede revelar aspectos cruciales en materia de políticas públicas, pues se trata de un proceso que está en curso, que puede tomar distinto grado de profundidad y que se puede desarrollar a diferentes velocidades incluso en distintos espacios geográficos, y sobre el que diferentes actores están teniendo o pueden tener capacidad de incidencia.

Con el objetivo de ahondar en el análisis de este proceso de transición al vehículo eléctrico, en este artículo se identifican y analizan distintas dimensiones clave en este marco de cambio disruptivo. En el siguiente apartado se describen las principales transformaciones en la industria automotriz en el marco de esta transición. Principalmente, cómo cambia el diseño del vehículo, la configuración de las cadenas de suministro y la disputa que emerge en torno al dominio de la tecnología de vanguardia en este nuevo tipo de vehículo. En el tercer apartado se identifican y analizan una serie de dimensiones clave

que pueden suponer mecanismos dinamizadores u obstáculos a este proceso. Finalmente, se aportan algunas consideraciones finales.

2. NUEVO TIPO DE VEHÍCULO, CAMBIOS EN LA CADENA DE VALOR Y ENTRADA DE NUEVOS ACTORES

La transición al vehículo propulsado por energías alternativas induce cambios significativos en el diseño del propio vehículo. Los vehículos de combustión generan la fuerza a través de un motor central, situado generalmente en la parte delantera del vehículo, dirigida a través del sistema de transmisión y del embrague hacia las ruedas. Existen además una serie de componentes periféricos responsables del control del motor, de los procesos de encendido, del mantenimiento de la energía o del calentamiento y la refrigeración, entre otros.

El vehículo eléctrico presenta modificaciones significativas con respecto al vehículo tradicional de combustión. Se pueden distinguir tres tipos de vehículos eléctricos: los eléctricos puros (BEV) -exclusivamente alimentados por batería eléctrica-, los eléctricos híbridos (HEV) y los híbridos eléctrico-enchufables (PHEV). Los vehículos híbridos, aunque disponen de alimentación eléctrica, son fundamentalmente vehículos de combustión. Diversos factores como la paulatina reducción de los costes de fabricación de las baterías y el despliegue de las infraestructuras de recarga permiten anticipar que a medio plazo el vehículo eléctrico puro pueda convertirse en la tecnología dominante (Scholtes, 2019: 114).

El vehículo eléctrico puro tiene un motor central o motores separados para cada rueda y un pack de baterías, mientras que tienen menor número de componentes periféricos y de menor complejidad. El sistema de propulsión de los vehículos de combustión está compuesto por alrededor de 1.400 piezas, y se estima que supone aproximadamente un tercio del valor total de la cadena de suministro del automóvil. En cambio, los sistemas de propulsión de los vehículos eléctricos tienen alrededor de 200 piezas, lo que supone una reducción del volumen de piezas de alrededor del 86% con respecto al de combustión (Casper y Sudin, 2021: 127). El diseño de los vehículos eléctricos es más simple y cuenta con menos componentes que el de combustión, como el motor y la caja de cambios, los sistemas de escape, los silenciadores, alternadores y bombas de combustible, incluidos también sus sensores (Dombrowski *et al.*, 2011). Por otro lado, asociado al vehículo eléctrico surgen o se adaptan nuevos módulos del vehículo como las baterías, el motor eléctrico, el sistema de transmisión, los frenos, las bombas de agua o los sistemas de dirección (Klug, 2014).

Todos estos cambios impactan en una reconfiguración de las cadenas de producción del sector. En la actualidad la cadena se organiza, fundamentalmente, en torno a una planta ensambladora de vehículos y una red de proveedoras organizadas en distintos niveles de aprovisionamiento. Generalmente en cualquier planta terminal se desarrollan las cuatro fases del proceso: embutición,

ferraje, pintura y montaje. Asimismo, la arquitectura técnica y organizacional del diseño de los vehículos y de los procesos productivos se basa en una concepción modular de la producción. El vehículo consta de distintos módulos o subsistemas, que son estructural y funcionalmente independientes entre sí, y que se pueden combinar de diversas formas para dar lugar a una mayor variedad de productos, sobre la base de compartir un creciente porcentaje de piezas comunes. Las plataformas modulares constituyen el soporte básico sobre el que se ensambla el vehículo, e incluye elementos como el chasis, los soportes del motor, la caja de dirección o los puntos de fijación para las suspensiones (Lampón *et al.*, 2017). Las plataformas desarrolladas durante la última década permiten ensamblar tanto modelos de un mismo segmento como fabricar sobre la misma plataforma modelos de diferentes tamaños.¹

Las plataformas modulares dotan a las fábricas de unas instalaciones técnicas versátiles y polivalentes, capaces de producir una amplia variedad de modelos. Y esta modularización también imprime cambios en las cadenas de suministro. Los fabricantes han llevado a cabo un creciente proceso de externalización de fases productivas, desprendiéndose de la fabricación de cada vez más subconjuntos del vehículo, subcontratándolos a fábricas preensambladoras, y externalizándolos “aguas abajo” (López *et al.*, 2020).² Todo ello modifica sustancialmente la tipología de empresas proveedoras del vehículo eléctrico. Obviamente aquellos proveedores de las piezas y componentes características del vehículo de combustión, que no tienen presencia en los vehículos eléctricos, perderán volumen de producción a medida que avance esta transición (Risque y Ruiz-Gálvez, 2024). Igualmente, cobrarán importancia proveedores de piezas y componentes nucleares del vehículo eléctrico, particularmente de la industria química y electrónica con competencias clave en la fabricación de baterías, incluido lo relacionado con el software de gestión de la potencia, la temperatura y el mantenimiento de las baterías, o la optimización de su funcionamiento (Hensley *et al.*, 2009).

Los fabricantes automotrices han dominado tradicionalmente el diseño y fabricación de los sistemas de propulsión de combustión. En la transición al vehículo eléctrico, a pesar de que los fabricantes seguirán controlando segmentos clave, las empresas vinculadas a las tecnologías y la producción de baterías, y componentes electrónicos asociados a las mismas, tendrán un papel creciente. Buena parte de ellas son asiáticas, particularmente de China, Japón y Corea del Sur. Como desarrollaremos más adelante, las innovaciones

1 En general los grandes fabricantes vienen impulsando durante los últimos años una política de reducción de plataformas, con el propósito de incrementar los niveles de producción (Cepal, 2017). Destacan, por ejemplo, Volkswagen y su plataforma modular MQB, la alianza Renault-Nissan y su plataforma Common Module Family (CMF), o la plataforma UKL del fabricante BMW. Se trata de un proceso, además, altamente concentrando en Europa (Lampón *et al.*, 2019: 713).

2 En el proceso de modularización de la producción el fabricante -la gran empresa transnacional que lidera la cadena de producción- es el actor que diseña la arquitectura del producto, y por ende de los procesos productivos -en este caso fragmentados y organizados en cadenas o redes de producción-.

que finalmente se materialicen en las baterías serán un elemento central en la transición.

Por tanto, nos encontramos ante un cambio disruptivo en la industria del automóvil, que va a reconfigurar múltiples dimensiones del sector. La transición al vehículo eléctrico plantea desafíos en la dimensión productiva, pues el grado de avance en Europa marcará el reposicionamiento de las compañías e industrias automotrices europeas. También plantea un desafío tecnológico, fuertemente disputado en esta transición, en el que algunos fabricantes ya consolidados en el vehículo de combustión compiten con nuevos actores en segmentos fundamentales de la cadena, como es el diseño y producción de la batería eléctrica. Asimismo, existen condicionantes externos a la propia industria, como el papel de la demanda, el rol de las instituciones y los marcos regulatorios a la hora de facilitar u obstaculizar esta transición, o el marco de crisis ecológica que incentiva y al mismo tiempo compromete el propio proceso. A continuación, se analizan las dimensiones y mecanismos clave que pueden actuar como dinamizadores o limitantes de esta transición.

3. ELEMENTOS DINAMIZADORES Y LIMITANTES DE LA TRANSICIÓN EN LA INDUSTRIA

3.1. DEMANDA Y FINANCIACIÓN

El comportamiento de la demanda final de los nuevos vehículos incide de manera importante en la velocidad de esta transición.³ Un crecimiento sostenido de la demanda puede dinamizar la productividad, potenciar economías de escala, y al mismo tiempo posibilitar una reducción del precio de los suministros y de los vehículos. Esta relación es bidireccional, en tanto que la expansión de la demanda es una condición determinante para el incremento de la productividad, del mismo modo que el aumento de la eficiencia, y el consecuente abaratamiento del producto, es fundamental para incentivar un mayor consumo. La demanda de vehículos eléctricos e híbridos eléctrico-enchufables ha crecido significativamente durante los últimos años, fuertemente impulsada por el consumo en China, y en menor medida en otras regiones, y por la venta de vehículos de pasajeros y no tanto por furgonetas o por otros vehículos industriales.

Aunque la producción de vehículos eléctricos se está acelerando durante los últimos años, en porcentaje sobre el total de vehículos aún representa cifras pequeñas, menos del 10% de la cuota de mercado mundial, según la Agencia Internacional de la Energía. En 2022 el país con mayor número de vehículos eléctricos era China, con 10,78 millones (13,8 si incluimos PHEV), superando a Europa (4,4 millones de BEV y 3,4 millones de PHEV) y a EEUU (2,1 millones de BEV y 0,9 de PHEV) (IEA, 2023). En 2023 se matricularon alrededor de

³ Elementos como los cambios en las pautas de consumo, el perfil de consumidores y su poder adquisitivo, los patrones de distribución de la renta, el acceso a financiación, o aquellos relacionados con la evolución del precio de los vehículos, son claves en cualquier proceso de innovación (Boon y Edler, 2018).

10 millones de vehículos eléctricos en el mundo -en 2012, tan sólo 120.000 unidades- y más del 70% de esas nuevas matriculaciones fueron de eléctricos puros. En China se produjeron el 60% de las nuevas matriculaciones de VE contando este país con más del 50% de los VE que circulan por el mundo. También se incrementa el número de modelos disponibles en el mercado (450 modelos en 2022, 5 veces más que en 2015). Pero al mismo tiempo se mantiene una alta concentración de mercado –7 modelos de eléctricos puros representan más del 75% del mercado, dominado por la marca Tesla con un 17% de cuota– (IEA, 2022). Hoy un 38% de los vehículos que se producen en el mundo, se producen en China, cifra que asciende al 57% si solo nos referimos al vehículo eléctrico (Sebastian, 2021).

Por ello las proyecciones de organismos internacionales como la Agencia Internacional de la Energía señalan el papel central del mercado chino en el desarrollo del vehículo eléctrico. El hecho de que buena parte de la demanda de consumo esté en China puede incentivar que las inversiones y la aplicación de las principales innovaciones necesarias se realicen en el país asiático. En tanto que los costes asociados a transformar las plantas ensambladoras son todavía elevados, una demanda alta puede garantizar las economías de escala suficientes para rentabilizar dichas inversiones, generando a su vez una acumulación de *know-how* y la mejora de eficiencia en esas nuevas plantas. En otras regiones, donde la demanda crece más lentamente, como en la UE, EEUU o Japón, este proceso de transformación productiva puede ser más lento.

No obstante, existen diversos factores de inestabilidad que pueden impactar en esta transición en China. Entre otros, la evolución de las políticas chinas sobre inversión extranjera directa, las disputas tecnológicas y comerciales con EEUU, el establecimiento de medidas proteccionistas en la UE, el patrón de distribución de la renta como fuente de incremento de la demanda, o la crisis energética y de materiales, entre otras cuestiones. Sobre algunas de ellas profundizaremos más adelante.

En el caso de la UE, el marco de relaciones laborales ha estado guiado desde 2008 por políticas de ajuste estructural y contención de los salarios, principalmente en la Europa meridional, como en España (Villanueva *et al*, 2020; Rísquez, 2016). Aun a riesgo de simplificar, el patrón de distribución de la renta inequitativo de la última década ha mermado la capacidad de consumo de buena parte de la sociedad, afectando al consumo de bienes duraderos como los automóviles. Esta debilidad crónica del consumo afecta a la rentabilidad de los fabricantes, pues las plantas europeas vienen operando con importantes niveles de sobreproducción.

El precio de los vehículos eléctricos fabricados en Europa es considerablemente más elevado que el de los vehículos de combustión, por lo que su demanda será baja en el corto y medio plazo en la UE y con un desigual desarrollo en su interior. Así, en Suecia u Holanda, las matriculaciones de vehículos eléctricos (en sus tres modalidades) representaron en 2023 un 68%, mientras que en la República Checa fue del 23,6%. Si atendemos sólo a los vehículos eléctricos puros, las diferencias son aún mayores: Suecia

(38,7%), Holanda (30,8%), Dinamarca (36,3%), Alemania (18,4%) frente a España (5,4%), Italia (4,1%) o República Checa (3%), entre otros (ACEA). Estos factores internos, junto con la potencial guerra de precios entre fabricantes estadounidenses y asiáticos incrementan la vulnerabilidad europea en la transición.

La demanda de los eléctricos se concentra potencialmente en las ciudades, y todavía en sectores minoritarios de la población: principalmente personas relativamente jóvenes y segmentos con muy elevados ingresos. Pero para generar la demanda suficiente se requiere de un mayor consumo de las generaciones más jóvenes, cuyas inserciones laborales precarias les alejan de la posibilidad de compra de un vehículo eléctrico. Esto, a su vez, está incentivando cambios en los patrones de consumo que no conllevan la compra en propiedad del vehículo, como la modalidad del vehículo compartido o la proliferación de otros tipos de movilidad en los núcleos urbanos (bicicletas, patinetes, etc.) (Turienzo *et al.*, 2022).

Por ello, en ausencia de políticas que dinamicen la compra del vehículo eléctrico, cabe presuponer una insuficiente demanda de consumo para rentabilizar la transición lo que, claramente, puede suponer un factor que limite o ralentice la misma. En la mayoría de las regiones será gradual, coexistiendo modelos de combustión y vehículos de fuentes alternativas concebidos sobre los anteriores, adaptando únicamente los módulos asociados al sistema de propulsión, sin la necesidad de elevadas inversiones en fábricas ensambladoras ya instaladas. Además, buena parte de los consumidores adquieren vehículos a través de financiación, que supone una fuente importante de liquidez y ganancia para los propios fabricantes de vehículos, que cuentan con divisiones financieras propias. Ante la insuficiente demanda, el incremento del coste de la financiación asociado a las subidas de tipos de interés podría comprometer esta vía de acceso al consumo del vehículo eléctrico.

3.2. INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Distintos actores privados desarrollan y lideran los circuitos de innovación vinculados a la transición al vehículo eléctrico. Estos circuitos pueden definirse como el conjunto de actores (laboratorios privados y públicos, empresas, universidades, etc.) que participan en procesos de innovación planeados y dirigidos por un actor líder (Rikap, 2019: 2). Estas empresas líderes externalizan diferentes fases o módulos del proceso a distintos actores dispersos geográficamente, articulando e institucionalizando redes globales funcionales a la propia empresa líder. A nivel nacional se desarrollan sistemas de innovación compuestos por empresas, el Estado y otras instituciones público-privadas, generalmente también bajo un esquema que orienta las innovaciones hacia las necesidades e intereses del sector privado.

Los fabricantes tradicionales de la industria automotriz –principalmente europeos, estadounidenses y japoneses– disponen del núcleo de competencias clave sobre el diseño del vehículo, elemento a partir del cual

se define la organización de su proceso de producción. En el vehículo de combustión, la industria europea dispone de autosuficiencia tecnológica y de aprovisionamiento: un elevado flujo de comercio de partes y componentes es intrarregional y de proximidad; solo un pequeño porcentaje de las importaciones provienen de otras regiones como el Este de Europa y el Norte de África, aunque en las últimas dos décadas ha crecido el suministro desde Japón, China y, en menor medida, EEUU.

Y estos fabricantes tradicionales han liderado el proceso de fabricación del vehículo de combustión, pero ahora es la fuente de alimentación, la batería, el componente estratégico que supone entre el 30 y 40% del valor del vehículo eléctrico (IEA, 2022). Como plantea Jetin (2020: 159) solo los países que desarrollen localmente la producción de baterías tendrán la oportunidad de liderar la producción de vehículos eléctricos. Y este subsector de baterías presenta una estructura de mercado oligopólica con una concentración en menos de una decena de empresas de China, Japón y Corea del Sur (Gerócs y Pinkasz, 2019: 185).⁴

Junto con las baterías, los semiconductores se sitúan como otro de los elementos clave en la industria automotriz. Es una cuestión común con los vehículos de combustión, dado el creciente número de componentes electrónicos que incluyen, pero se intensifica con el vehículo eléctrico y los sistemas de asistencia de conducción. Los cuellos de botella generados por la pandemia evidenciaron la dependencia productiva de estos componentes que recaía sobre un número reducido de productores asiáticos. Su escasez ha llegado a interrumpir en diversas ocasiones la producción en varias plantas europeas, afectando a las ventas y al aumento del precio de los vehículos usados (Frieske y Stieler, 2022).

La entrada de estos nuevos actores en un eslabón fundamental como la batería está alterando el marco de jerarquía en la arquitectura de las cadenas y en la geografía productiva del sector. Por ello las empresas automotrices están tratando de reposicionarse en este segmento, desarrollando alianzas y conformando *joint ventures* con los productores de baterías asiáticos y con empresas energéticas. La alemana Volkswagen y el francés ACC (*joint venture* conformada por Stellantis, TotalEnergies y Mercedes-Benz) son los actores europeos que han adoptado un papel más activo en la fabricación de baterías. A pesar de ello, prácticamente el 50% de las exportaciones de baterías se concentran en Hungría y Polonia, con fuertes inversiones de empresas europeas, pero también coreanas (LG y Samsung) y chinas (CATL).

Existen diversos elementos en este subsector que pueden dinamizar u obstaculizar la transición. Por un lado, dado que se trata de un producto novedoso que se incorpora a un producto tradicional como el vehículo, han surgido ya disputas entre grandes empresas (acompañadas por un papel activo de los Estados) por el dominio de las tecnologías más avanzadas, la captura

4 En concreto proveedores chinos Envision AESC, BYD y CATL, japoneses como Panasonic y coreanas SK Battery, Samsung SDI y Energy Solution LG.

de la cuota de mercado o la definición de los estándares de producción de servicios digitales o componentes clave. Esta carrera por lograr monopolios de innovación puede actuar de dinamizador de esta transición, de modo que estimule el esfuerzo en I+D+i sobre aspectos vinculados al vehículo eléctrico.

Por otro lado, se trata de una carrera en la que están surgiendo disputas tecnológicas y conflictos entre empresas y Estados, que pueden obstaculizar dicha transición. Esta disputa se está expresando, por ejemplo, en la guerra comercial y tecnológica que se ha desarrollado entre Estados Unidos y China durante los últimos años (Zahoor et al., 2023). Esta guerra comercial, que se ha intensificado especialmente en el intervalo 2018-2020, ha llegado a afectar a alrededor de dos tercios de las exportaciones chinas a Estados Unidos, con una subida de la tarifa arancelaria media del 3% a comienzos de enero de 2018 al 21% a finales del año 2020. Asimismo, esta escalada arancelaria ha afectado a en torno el 58% de las exportaciones estadounidenses a China, con un incremento de la tarifa arancelaria media que ha ascendido del 8% a comienzos del año 2018 a un casi 22% a finales de 2020 (Bown, 2021). En el ámbito de los microchips avanzados, Estados Unidos viene implementando sanciones desde comienzos del año 2020 que impiden a empresas chinas acceder a software y tecnología clave para su producción, tanto de manera directa, a través de limitaciones a las exportaciones de empresas estadounidenses, como indirecta, impidiendo que empresas chinas puedan importar y utilizar chips sofisticados, maquinaria y software que contenga propiedad intelectual estadounidense.⁵ Estas disputas tecnológicas resultan cruciales en este contexto de transición al vehículo eléctrico, dado el elevado volumen de componentes electrónicos que incorpora.

Por otro lado, la innovación en las baterías resultará clave para una mayor velocidad en esta transición. A pesar del incremento de la demanda de determinados materiales críticos (cobalto, litio, manganeso, cobre, aluminio, etc.), y su traslación a precios, los costes por kWh se han reducido significativamente gracias al desarrollo tecnológico y a las economías de escala, desde los 1.000 \$/kWh en 2010 a los 150 \$/kWh en 2022. También se ha incrementado durante esta última década su densidad energética lo que incide directamente en la autonomía y peso del vehículo, en el coste de producción, en su impacto ambiental y, en última instancia, en su rentabilidad (Tsiropoulos et al, 2018).

La construcción de una fábrica de baterías implica una inversión elevada y no resulta sencillo incrementar su polivalencia si variara, por ejemplo, la tecnología actual de iones de litio con electrolito líquido a uno sólido (CCOO, 2018: 35). A ello se añade que la existencia de capacidades productivas de vehículos de combustión no garantiza necesariamente la transición a la

5 Estados Unidos es una de las economías líderes en el segmento del diseño de microchips avanzados, pero parte de su producción se encuentra externalizada en países como Taiwán o Corea del Sur, por lo que estas medidas van orientadas a impedir que sus socios comerciales transfieran tecnología a empresas chinas.

producción de vehículos eléctricos. Más bien al contrario, la reconversión de plantas existentes puede ser más lenta que la instalación de plantas nuevas dada la necesidad de recuperar inversiones previas y el coste asociado a la propia electrificación de la planta. Por ello la transición de fabricantes europeos puede resultar más difícil que la de fabricantes chinos, para quienes la menor relevancia en la producción de vehículos de combustión está facilitando una mayor velocidad en el desarrollo de los vehículos eléctricos.

3.3. INSTITUCIONES Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Las instituciones pueden dinamizar esta transición a través de políticas públicas en diferentes niveles. Como se apuntaba anteriormente, los mercados más dinámicos están principalmente concentrados en tres regiones: principalmente en China, y en menor medida en Europa y Estados Unidos (Sanguesa et al., 2021). En estas tres regiones se están promoviendo recientemente una serie de políticas públicas para impulsar este proceso de electrificación del sector. En China se han impulsado medidas continuas de apoyo a la oferta y la demanda para las empresas nacionales, y se ha fomentado la creación de empresas conjuntas con fabricantes de automóviles internacionales. En Europa, en febrero de 2023, la Unión Europea presentó el Plan Industrial del Pacto Verde, que se asienta en cuatro pilares para impulsar el proceso de electrificación: simplificar y hacer previsible el marco regulador, el apoyo financiero y la flexibilización del marco que regula las ayudas estatales al sector privado, el impulso de la formación y de las capacidades técnicas de la industria y el reforzamiento de un marco de comercio abierto basado en acuerdos de libre comercio. En Estados Unidos, la Ley de Reducción de la Inflación (IRA), aprobada en agosto de 2022, incluye varios incentivos fiscales y programas de financiación para fomentar la adopción de vehículos eléctricos (Pichler et al., 2021; Wu et al., 2021; IEA, 2023).

Las políticas fiscales pueden estimular la demanda de vehículos eléctricos, principalmente con incentivos fiscales y subvenciones a la compra (o penalizando fiscalmente al vehículo contaminante). Asimismo, son relevantes los planes de estímulo industrial: políticas de fomento de I+D e inversiones productivas, tanto públicas como canalizadas a través del sector privado, orientadas al aumento de producción de baterías eléctricas, al despliegue de infraestructuras de recarga o la promoción de la intermodalidad en el transporte.

Las políticas de estímulo fiscal supranacionales tras la pandemia han dinamizado el consumo y las inversiones en el sector, y particularmente en lo relativo a las baterías⁶, pero la política monetaria juega en este sentido un rol crucial. El contexto actual de incrementos de tipos de interés puede obstaculizar la inversión, sobre todo si requiere de financiación externa

6 Un ejemplo de ello es la denominada Alianza Europea de las Baterías: https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance_fr

cuyo coste ahora es más elevado. También perjudica a la demanda de un bien habitualmente adquirido mediante endeudamiento, como se señalaba anteriormente. Por ello, junto a la política fiscal y monetaria, para dinamizar la demanda la política de rentas⁷ también adopta un papel relevante; dado que el precio actual de los vehículos eléctricos es todavía elevado y constituye un bien duradero, el patrón distributivo de la renta condiciona el acceso a la financiación y a la compra de vehículos eléctricos.

Por otro lado, las políticas de movilidad y de ordenación del territorio, como el establecimiento de zonas de circulación de bajas emisiones o la renovación del parque móvil del transporte público, dinamizan también esta transición. Pero, simultáneamente, el fomento de otras modalidades de transporte alternativas al vehículo afecta negativamente a la demanda de vehículos eléctricos particulares, y el desarrollo de la infraestructura de recarga plantea retos urbanísticos.⁸

Las regulaciones europeas sobre la descarbonización del transporte constituyen otro elemento clave de la transición. En la UE son relevantes las políticas de regulación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Szász et al., 2021). En 2009 la Comisión Europea aprobó el denominado Reglamento de CO²-Turismos, fijando un umbral de emisiones de CO² de 95g/Km de media en la flota de vehículos producidos por fabricante. Las multas son severas cuando superan ese umbral (95 euros por gramo excedido, multiplicado por las unidades vendidas); una regulación que va endureciéndose paulatinamente. En 2011 se desarrolló un reglamento de emisiones para vehículos comerciales ligeros, situando el umbral en 147g/Km para 2020 en aquellos vehículos con una masa de referencia inferior a 2.610 Kg.

Más recientemente se ha aprobado el fin de la producción de vehículos⁹ –turismos y furgonetas– de combustión en 2035, así como otras legislaciones específicas como la denominada Euro 7.¹⁰ A pesar de las dudas sobre el alcance de esta prohibición, las normativas sobre emisiones han impactado en

7 Las políticas de ajuste estructural sobre el mercado de trabajo en varias economías de la zona euro durante la última década se encuentra en el origen de la caída de la demanda y, en consecuencia, de la sobrecapacidad productiva del sector de automoción en la región europea.

8 Según Prieto (2019) en el caso español la red de distribución de energía y de acceso eléctrico está solo parcialmente adaptada, dado que alrededor de 12 millones de vehículos no disponen de garaje y pernoctan en la calle, lo que dificulta el despliegue de puntos de recarga.

9 Aunque aprobada por el Parlamento Europeo, la medida estuvo bloqueada en el Consejo por la presión de varios Estados miembro, entre ellos Alemania, para que los vehículos propulsados por combustibles sintéticos no se vieran afectados por esta restricción.

10 Normativa europea para regular las emisiones de todos los tipos de vehículos a lo largo de su vida útil, que complementa la normativa específica sobre emisiones. Incluye por ejemplo la consideración de límites de emisiones de partículas en los frenos o microplásticos en los neumáticos, aumentando las condiciones para la homologación de vehículos en la UE. Su entrada en vigor a supuesto el fin de producción de modelos históricos, como el Ford Fiesta, el Fiat 500 o el VW Polo.

la industria europea.¹¹ Incluso algunos procesos de fusiones entre fabricantes (Ej. PSA y FCA) y de asociaciones entre grandes grupos (Ej. FCA y Tesla) están influenciadas en parte por estas normativas.¹² Un proceso de centralización del capital en un contexto como el europeo de sobrecapacidad productiva, puede desencadenar procesos de reestructuración, de cierres de plantas ensambladoras, principalmente de aquellas especializadas en los vehículos de mayores emisiones. No obstante, no existe unidad en las estrategias de los grandes grupos automotrices, sino diferentes fechas objetivo de electrificación total de su producción, independientemente de la legislación comunitaria, lo que ha derivado en la ruptura de la patronal del sector (ACEA). En 2022 tanto el grupo Stellantis como Volvo –participada por la empresa china Geely– abandonaban la asociación por las diferencias en la velocidad de transición al vehículo eléctrico.

3.4. CRISIS CLIMÁTICA Y DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

La transición al vehículo eléctrico entronca con la crisis ecológica. En la UE el transporte es responsable aproximadamente de una cuarta parte de las emisiones de GEI, de las que un 72% proviene del transporte por carretera. En España, el peso del transporte por carretera asciende al 95%. Por tanto, la reducción de GEI pasa en buena medida por cambios profundos en el transporte.

A diferencia de un vehículo de combustión, un modelo eléctrico no emite CO² cuando circula, pero es necesario tener en cuenta el ciclo completo de vida del producto. La producción y desecho de un automóvil eléctrico es más perjudicial en términos de emisiones de CO² que la de un automóvil con motor de combustión interna. Además, no se pueden desligar las emisiones de los vehículos eléctricos de la matriz energética con la que se produce dicha electricidad, que supone un insumo fundamental en la producción y para la recarga del vehículo. Según Prieto (2019), un vehículo eléctrico consume alrededor de 34.700 kWh de energía en su fabricación, mientras que un vehículo de combustión en torno a 20.800 kWh. De este modo, a un consumo promedio de 25 kWh/100Km, al salir de fábrica un vehículo eléctrico ha consumido lo equivalente a unos 55.600 Km circulados por uno de combustión.

Las matrices energéticas de los países siguen estando muy alimentadas de energías fósiles crecientemente escasas: a nivel global sobre el 60% de la

11 En China, Japón o EEUU, las regulaciones en este ámbito son más laxas, fijando umbrales de emisiones superiores. Pero en estas regiones la velocidad de la transición es muy diferente, estando Asia mucho más avanzada que Norteamérica en cuanto al grado de electrificación de sus respectivas flotas de vehículos.

12 No obstante, las fusiones y las alianzas entre fabricantes a escala global responden a múltiples factores. Además, la tipología de acuerdos y alianzas entre grandes fabricantes difiere; generalmente, las empresas europeas están tendiendo a establecer alianzas tecnológicas, mientras que los fabricantes japoneses generan alianzas para compartir infraestructuras productivas, y en el caso de las empresas chinas *joint ventures* con grandes fabricantes del sector (CEPAL, 2017: 111).

electricidad se genera con combustibles fósiles y nucleares (en el caso de España, casi un 50% se genera a partir de energías no renovables). Por tanto, para una reducción efectiva de las emisiones asociadas al transporte no solo se debería acelerar la transición al vehículo eléctrico, sino también avanzar hacia una transformación profunda de la matriz energética nacional.

En un contexto en el que la sustitución del parque de vehículos puede tardar en transitar hacia la electrificación, concretamente en regiones como la europea y estadounidense, es de esperar que el alargamiento de la vida útil de los vehículos de combustión y la dinamización del mercado de segunda mano pueda provocar un mayor envejecimiento medio del parque móvil y en consecuencia ralentizar la reducción de las emisiones. De Blas *et al.* (2020) estiman que, en un escenario hipotético de alta electrificación de la movilidad personal y considerando que el 80% de los vehículos pesados serían híbridos, las emisiones de GEI podrían reducirse únicamente un 15%. Además, la preponderancia de vehículos utilitarios deportivos (*SUVs*, por sus siglas en inglés), que consumen alrededor de un 25% más por kilómetro que un coche medio, dificulta más la reducción de emisiones (IEA, 2021). Por tanto, la dependencia para este despliegue del vehículo eléctrico de energías fósiles crecientemente escasas y la necesidad de renovar gran parte del parque móvil, suponen un nodo problemático de la transición al vehículo eléctrico.

Frente a la magnitud de esta problemática climática, las políticas públicas orientadas a avanzar en este proceso de descarbonización pueden actuar de catalizador de esta transición hacia el vehículo eléctrico. Asimismo, una transición de las matrices energéticas hacia las energías renovables puede generar mayor certidumbre en relación al sistema de precios en la provisión de energía e incluso abaratar el aprovisionamiento en el consumo energético de sectores tan intensivos en energía como el del automóvil, estimulando el proceso de transición al vehículo eléctrico.

Existe además una creciente preocupación por la disponibilidad de otros recursos materiales. El consumo de minerales ha experimentado un enorme crecimiento, generando un escenario en el que el ritmo de crecimiento de la demanda compromete su disponibilidad futura. Dicho de otro modo, la hipotética universalización del vehículo eléctrico bajo los patrones de movilidad actual, junto con el despliegue de las infraestructuras necesarias y la transformación simultánea de la matriz energética, se enfrenta a serios límites físicos.

El vehículo eléctrico requiere más de una cuarentena de elementos diferentes, muchos de ellos escasos (IEA, 2021). Son minerales utilizados en la fabricación de vehículos eléctricos, particularmente en las baterías, pero también de los semiconductores o paneles, por lo que su escasez se agrava por distintas en el marco del proceso de descarbonización de las economías. Al igual que con los recursos energéticos fósiles, se están alcanzando picos de extracción en varios de estos elementos (Fernández y González, 2018).

El indicador de rareza termodinámica (RT) permite asignar un valor a los materiales en función de su escasez y de cuánta energía requiere su extracción. Asigna un valor económico a los recursos, pero sobre bases físicas y de manera independiente de las fluctuaciones de los precios de mercado (Valero *et al.* 2021). Las diferencias entre un vehículo de combustión y uno eléctrico radican principalmente en los componentes que los componen y en la propia composición material de dichos componentes. Los componentes necesarios para la batería eléctrica (cobalto, litio y níquel) presentan un elevado valor de rareza termodinámica (Iglesias-Émbil *et al.*, 2020), superior al de los vehículos de combustión. Por tanto, esta transición puede generar cuellos de botella en el suministro de materiales clave (Valero *et al.* 2018). El posible alcance de picos de extracción de estas materias primas críticas también incidirá en el incremento y volatilidad de sus precios, incrementando la incertidumbre y los conflictos en torno a su control y distribución. Y es que algunos materiales críticos se encuentran fuertemente concentrados en pocos países: el cobre en Chile y China, el níquel en Indonesia, el cobalto en Congo R.D, las tierras raras en China y el litio en Australia. China lidera también el procesamiento de estos materiales para su uso industrial (IEA, 2021).

En resumen, la transición al vehículo eléctrico se enmarca en una crisis ecológica multidimensional que hay que tener en consideración. Por un lado, la crisis ecológica es climática, energética y de recursos minerales, existiendo una retroalimentación entre ellas: no hay energía sin materiales, del mismo modo que no hay materiales sin energía. Por otro lado, la transición sin cambios en los patrones de movilidad requiere una profunda transformación del mix energético. Todo ello presenta límites físicos y cuellos de botella que suponen obstáculos para la transición.

TABLA. SÍNTESIS: FACTORES DINAMIZADORES Y LIMITANTES

| | Factores dinamizadores | Factores limitantes |
|---|---|---|
| Demanda y financiación | Economías de escala | Capacidad adquisitiva |
| | Disminución de costes y precios | Inflación y política monetaria |
| Innovación y desarrollo tecnológico | Alianzas entre fabricantes y proveedores baterías | Políticas proteccionistas Coste de financiación inicial |
| | Competencia tecnológica | |
| Instituciones y políticas públicas | Regulación de emisiones | Política monetaria |
| | Regulación de la movilidad | Política fiscal |
| | Política industrial y de innovación | Política comercial |
| | Desarrollo de infraestructuras | |
| Crisis climática y disponibilidad de recursos | Política de rentas | |
| | Estímulo social y político | Matriz energética |
| | | Disponibilidad de recursos minerales Control de recursos minerales |

Fuente: elaboración propia a partir de lo expuesto en las cuatro dimensiones analizadas

4. CONSIDERACIONES FINALES

Este documento identifica los principales cambios que conlleva la transición al vehículo eléctrico en la industria automotriz, describiendo los mecanismos que pueden actuar de dinamizadores o limitantes de la misma. De ello se derivan diversas consideraciones sobre las implicaciones económicas, políticas y sociales de este proceso.

Por un lado, emerge una disputa por el dominio tecnológico de un componente estratégico del vehículo eléctrico como es la batería. Este cambio disruptivo en la composición del vehículo introduce un conflicto de liderazgo entre los fabricantes tradicionales del sector y las empresas transnacionales de baterías. Aunque algunos fabricantes tradicionales se están repositionando en este nuevo eslabón de la cadena, pocas empresas dominan en capacidad de innovación y producción, lo que les permite establecer fuertes barreras de entrada.

El anclaje territorial de las empresas incide en la dimensión geográfica de esta transición. En un contexto de producción fragmentada y dispersa geográficamente, la localización de las actividades de mayor valor añadido supone un elemento clave en el posicionamiento exterior de las economías nacionales. La ubicación de estas empresas en Asia, su dominio tecnológico y el mayor dinamismo del mercado de vehículos eléctricos en China, supone un factor atractor de inversión que dinamiza la transición, en detrimento de Europa y EEUU, hasta el momento más rezagados. La entrada de nuevos competidores puede reconfigurar una de las características históricas del sector automotriz, su alto grado de regionalización (Rugman y Collison, 2004). Un escenario posible en una primera etapa es la mayor participación de empresas asiáticas en la producción europea vía importaciones de insumos y la paulatina estandarización de vehículos entre regiones, diluyendo así el grado de regionalización del sector.

La transición está, a su vez, condicionada por una crisis ecológica multidimensional, relacionada con la problemática que suponen las emisiones de GEI, la escasez de recursos energéticos fósiles y minerales. Esta crisis climática puede contribuir a que las instituciones públicas estimulen la transición hacia el vehículo eléctrico, en aras de impulsar un proceso de descarbonización que necesariamente debe ser ambicioso para hacer frente a la creciente concentración de GEI en la atmósfera. Asimismo, la escasez de recursos minerales genera una pugna por el control de aquellos materiales donde, de nuevo, China ocupa una posición destacada, tanto por la disponibilidad de materiales en su territorio como por su capacidad de procesamiento.

Se trata por tanto de una transición disputada en lo tecnológico, en lo productivo y en lo ecológico, entre empresas pero que escala al ámbito estatal. El aumento de medidas proteccionistas -arancelarias y no arancelarias- no son sino la expresión política de esta pugna por la jerarquía en los sectores más dinámicos, como es el de los semiconductores, clave para la transición en el sector automotriz.

En las economías nacionales esta transición puede traer consecuencias importantes sobre sus estructuras productivas. La reordenación geográfica de las actividades nucleares del vehículo eléctrico ya está reconfigurando la posición de cada país en las cadenas globales automotrices. Esta reordenación geográfica, junto con las consecuencias del abandono progresivo de la producción de vehículos de combustión y los componentes asociados, reducirá el tejido productivo de regiones articuladas alrededor del sector automotriz. Asimismo, la sobrecapacidad productiva existente y la menor carga de trabajo asociada a la fabricación del vehículo eléctrico impactarán en los niveles de empleo del sector.

Todo ello plantea desafíos a las políticas públicas, tanto en organismos de gobernanza nacionales como supranacionales, que pueden dinamizar u obstaculizar la transición. Las políticas que se desarrollen condicionarán los incentivos y restricciones de los distintos actores involucrados, y por tanto la dinamización del proceso de transición y la mitigación de los efectos más nocivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Boon, W. y Edler, J. (2018): “Demand, challenges, and innovation. Making sense of new trends in innovation policy” *Science and Public Policy*, Volume 45, Issue 4, August, 435–447
- Bown, C. P. (2021): “The US–China trade war and Phase One agreement”, *Journal of Policy Modeling*, 43(4), 805-843.
- Casper, R. y Sundin, E. (2021): “Electrification in the automotive industry: effects in remanufacturing”, *Journal of Remanufacturing*, 11, 121-136.
- CEPAL. (2017): “El cambio disruptivo en un sector líder: relocalización, modelos de negocios y revolución tecnológica en la industria automotriz mundial”. En CEPAL (Ed.), *La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe*, Santiago: NNUU.
- CCOO. (2018): “Situación y perspectivas en el sector del automóvil: medidas ambientales, digitalización y automatización de la industria”, *Informe Área de Estrategias Sectoriales*.
- De Blas, I., Mediavilla, M., Capellán-Pérez, I., y Duce, C. (2020): “The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm”, *Energy Strategy Reviews*, 32.
- Dombrowski, U., Engel, C. y Schulze, S. (2011): “Changes and challenges in the after sales service due to electric mobility”, *International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*, Beijing, 77-82.
- Fernández Durán, R., & González Reyes, L. (2018): *En la espiral de la energía. Historia de la humanidad desde el papel de la energía (pero no sólo)*, Ed. Libros en Acción/Baladre.
- Frieske, B. y Stieler, S. (2022) “The “Semiconductor Crisis” as a Result of the COVID-19 Pandemic and Impacts on the Automotive Industry and Its Supply Chains”, *World Electric Vehicle Journal*, 13(10), 189;

- Geröcs, T. y Pinkasz, A. (2019): “Relocation, standardization and vertical specialization: Core–periphery relations in the European automotive value chain”, *Society and Economy*, 41(2), 171-192.
- Hensley, R., Knupfer, S. y Pinner, D. (2009): “Electrifying cars: How three industries will evolve”, *McKinsey Quarterly*, 3, 87-96.
- Iglesias-Émbil, M., Valero, A., Ortego, A., Villacampa, M., Vilaró, J. y Villalba, G. (2020): “Raw material use in a battery electric car – a thermodynamic rarity assessment”, *Resources, Conservation & Recycling*, 158, 1-11.
- International Energy Agency (IEA) (2021): “Global EV Outlook 2021: Accelerating ambitions despite the pandemic”, *IEA Publications*.
- International Energy Agency (IEA) (2022): “Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future”, *IEA Publications*.
- International Energy Agency (IEA) (2023): “Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions”, *IEA Publications*.
- Jetin, B. (2020): “Who will control the electric vehicle market?”, *International Journal of Automotive Technology and Management*, 20(2), 156-177.
- Klug, F. (2014): “Logistics implications of electric car manufacturing”, *International Journal of Services and Operations Management*, 17(3), 350-365.
- Lampón, J.F., Frigant, V. y Cabanelas, P. (2019): “Determinants in the adoption of new automobile modular platforms: what lies behind their success?”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 3(4), 707-728.
- Lampón, J.F., Cabanelas, P. y Frigant, V. (2017): “The new automobile modular platforms: from the product architecture to the manufacturing network approach” (Paper No. 79160), Munich Personal RePEc Archive (MPRA).
- López, P., Rísquez, M., y Ruiz-Gálvez, M.E. (2020): “Analysis of the effects of the modular design model of car production on working conditions: The cases of VW Navarra and PSA Vigo”, *Economics and Sociology*, 13(1), 90-101.
- Pichler, M., Krenmayr, N., Schneider, E., Brand, U. (2021): “EU industrial policy: Between modernization and transformation of the automotive industry”, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 38, 140-152.
- Prieto, P. (2019): “Consideraciones sobre la electrificación de los vehículos eléctricos en España”, *Revista 15/15/15*, Instituto Resiliencia.
- Rikap, C. (2019): “Asymmetric Power of the Core: Technological Cooperation and Technological Competition in the Transnational Innovation Networks of Big Pharma”, *Review of International Political Economy*, 26(5), 987-1021.
- Rísquez, M., y Ruiz-Gálvez, M.E. (2024). “The transformation of the automotive industry toward electrification and its impact on global value chains: Inter-plant competition, employment, and supply chains”, *European Research on Management and Business Economics*, 30(1).
- Rísquez, M. (2016): “Estrategia de devaluación interna y su impacto en la competitividad: España, 2008-2013”, *Investigación Económica*, 75(297), 125-154.

- Rugman, A. M., y Collinson, S. (2004): "The Regional Nature of the World's Automotive Sector", *European Management Journal*, Volume 22, Issue 5, pp. 471-482
- Scholtes, R. (2019): "Impacto del vehículo eléctrico en la industria española: disrupción económica en ciernes", *Revista Economía Industrial*. 411, 113-122.
- Sebastian, G. (2021): "In the driver's seat: China's electric vehicle makers target Europe. Key developments and challenges to European governments and companies", *MERICs China Monitor*, MERICs, septiembre.
- Szász, L., Csiki, O., y Rácz, B.G. (2021): "Sustainability management in the global automotive industry: A theoretical model and survey study", *International Journal of Production Economics*, 235, 108085.
- Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., & Lebedeva, N. (2018): "Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications: Scenarios for costs and market growth", *Publications Office of the European Union*.
- Turienzo, J., Cabanelas, P., y Lampón, J. F. (2022): "The mobility industry trends through the lens of the social analysis: a multi-level perspective approach", *Sage Open*, 12(1).
- Valero, A. y Calvo, G. (2021). *Thanatia: límites materiales de la transición energética*, Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Valero, A., Calvo, G., y Ortego, A. (2018): "Material bottlenecks in the future development of green technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 178-200.
- Villanueva, P., Cárdenas, L., Uxó, J. y Álvarez, I. (2020): "The role of internal devaluation in correcting external deficits: the case of Spain", *Structural Change and Economic Dynamics*, 54, 282-296.
- Wu, Y.A., Ng, A.W., Yu, Z., Huang, J., Meng, K., y Dong, Z.Y. (2021): "A review of evolutionary policy incentives for sustainable development of electric vehicles in China: Strategic implications", *Energy Policy*, 148, 111983.
- Zahoor, N., Wu, J., Khan, H. y Zaheer, K. (2023): "De-globalization, International Trade Protectionism, and the Reconfigurations of Global Value Chains", *Management International Review*, 1-37.

