

Digitalización vs. sostenibilidad ambiental. Un análisis crítico de los vehículos eléctricos conectados en España *

Digitalização vs. sustentabilidade ambiental. Uma análise crítica dos veículos elétricos conectados na Espanha

Digitalization vs. Environmental Sustainability. A Critical Analysis of Connected Electric Vehicles in Spain

Genoveva Sánchez Fernández,
Cristina García Casañas  y Zora Kovacic  **

En las políticas públicas de la Comisión Europea, las tecnologías digitales son consideradas clave para abordar desafíos medioambientales. En este artículo analizamos críticamente cómo la política de la doble transición ecológica y digital se implementa en España, tomando como estudio de caso el Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica, destinado al vehículo eléctrico conectado. El análisis se basa en un mapeo de las tecnologías digitales, las funciones, el dominio de actuación, los beneficios esperados y las empresas beneficiarias de los fondos europeos dirigidos al vehículo eléctrico y a la digitalización. Los resultados revelan que: i) los beneficios que se persiguen son en primer lugar económicos, quedando la sostenibilidad ambiental supeditada al interés económico; ii) se apuesta por los vehículos eléctricos bajo el supuesto de que son sostenibles y las tecnologías digitales que se desarrollan dejan sin responder muchas incertidumbres respecto a su sostenibilidad; y iii) la gobernanza ambiental se redirige hacia el desarrollo de soluciones tecnológicas y digitales, excluyendo debates más amplios sobre la sostenibilidad del sector transporte.

33

Palabras clave: coches eléctricos; gobernanza ambiental; doble transición; innovación

* Recepción del artículo: 18/02/2025. Entrega del dictamen: 21/04/2025. Recepción del artículo final: 05/05/2025.

** Genoveva Sánchez Fernández: Universitat Oberta de Catalunya, España. Correo electrónico: genovevasanchezfernandez@gmail.com. Cristina García Casañas: Urban Transformation and Global Change (TURBA) Lab, Universitat Oberta de Catalunya, España. Correo electrónico: cgarciasan@uoc.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6727-3690>. Zora Kovacic: Estudis d'Economia i Empresa y Urban Transformation and Global Change (TURBA) Lab, Universitat Oberta de Catalunya, España. Correo electrónico: zkovic@uoc.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0911-9273>.

Nas políticas públicas da Comissão Europeia, as tecnologias digitais são vistas como fundamentais para enfrentar desafios ambientais. Neste artigo, analisamos criticamente como a política da dupla transição ecológica e digital é implementada no território espanhol, tomando como estudo de caso o Projeto Estratégico para a Recuperação e Transformação Econômica do veículo elétrico conectado. A análise se baseia em um mapeamento das tecnologias digitais, suas funções, domínios de atuação, benefícios esperados e empresas beneficiárias dos fundos europeus destinados ao veículo elétrico e à digitalização. Os resultados revelam que: i) os benefícios buscados são, em primeiro lugar, econômicos, ficando a sustentabilidade ambiental subordinada ao interesse econômico; ii) aposta-se nos veículos elétricos sob a suposição de que são sustentáveis, enquanto as tecnologias digitais desenvolvidas não esclarecem muitas incertezas sobre a sustentabilidade desses veículos; e iii) a governança ambiental é redirecionada para o desenvolvimento de soluções tecnológicas e digitais, excluindo debates mais amplos sobre a sustentabilidade do setor de transporte.

Palavras-chave: automóveis elétricos; governança ambiental; dupla transição; inovação

In the public policies of the European Commission, digital technologies are regarded as crucial for addressing environmental challenges. This article critically examines the implementation of the twin green and digital transition policy in Spain, using the Strategic Project for Economic Recovery and Transformation focused on connected electric vehicles as a case study. The analysis is based on mapping digital technologies, their functions, areas of application, expected benefits, and the companies benefitting from European funds allocated to electric vehicles and digitalization. The findings reveal that: i) the primary benefits pursued are economic, with environmental sustainability subordinated to economic interests; ii) the promotion of electric vehicles is based on the assumption that they are sustainable, while the digital technologies being developed fail to address many uncertainties about their sustainability; and iii) environmental governance is redirected toward the development of technological and digital solutions, excluding broader debates on the sustainability of the transport sector.

Keywords: electric cars; environmental governance; twin transition; innovation

Introducción

Varios autores argumentan que se está produciendo un giro digital en la gobernanza medioambiental (Kloppenburg *et al.*, 2022; Kovacic *et al.*, 2024). A nivel europeo, esto se observa de manera notable en el Pacto Verde Europeo, que promueve el reto de emparejar la transición ecológica y digital (*twin transition*) (Comisión Europea, 2019a). Es decir, las tecnologías digitales son consideradas clave para abordar desafíos medioambientales, pero también para lograr objetivos económicos como mejorar la competitividad en muchos sectores. En este artículo analizamos críticamente el reto de emparejar estas dos transiciones, a partir del caso de estudio de políticas públicas dirigidas a fomentar los coches eléctricos en el territorio español.

La doble transición se implementa en Europa a través de los fondos NextGenerationEU que se diseñaron para la recuperación socioeconómica en el contexto de la pandemia del COVID-19. Dicha recuperación se canaliza a través inversiones y reformas en línea con las prioridades del Pacto Verde Europeo sobre emparejar la transición ecológica y digital. Los estados miembros de la UE desarrollaron planes de recuperación para acceder a estos fondos. En España se configuró el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (en adelante, PRTR), y en el marco de este plan se desarrollan los “Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica” (en adelante, PERTE), con un carácter permanente para canalizar fondos europeos en diversos ámbitos y con un alto componente de colaboración pública-privada. Lo notable es que se dedica uno de los PERTE relacionados con la transición ecológica a una tecnología en concreto: el coche eléctrico, el PERTE del vehículo eléctrico y conectado (en adelante, PERTE VEC).

35

Los coches eléctricos han sido objeto de atención y crítica en la literatura académica. Las críticas han ido desde las tensiones geopolíticas y conflictos de justicia medioambiental y social que genera la extracción e importación de materiales críticos como el litio para la producción de baterías (Agusdinata *et al.*, 2018; Banza Lubaba Nkulu *et al.*, 2018; Chohan, 2022; Faber *et al.*, 2017; Lave *et al.*, 1995; Ortar & Ryghaug, 2019; Temper *et al.*, 2015; Tsurukawa *et al.*, 2011) hasta los problemas de contaminación en los procesos de fabricación del vehículo eléctrico (Smil, 2016), sin olvidar el manejo de residuos al final de su vida útil (Dolganova *et al.*, 2020; EEA, 2018). Para muchos autores, las promesas tecnooptimistas de los coches eléctricos también traen consigo incertidumbres de varios tipos (Di Felice *et al.*, 2021; Holtsmark & Skonhoft, 2014; Sovacool *et al.*, 2017). Por ejemplo, Buekers *et al.* (2014), Holland *et al.* (2016) y Jochem *et al.* (2016) señalan incertidumbres sobre el vehículo eléctrico de “cero o bajas emisiones” ya que las emisiones dependen en gran medida de la mezcla de electricidad utilizada en los contextos locales.

Este artículo contribuye a la literatura que cuestiona el objetivo de emparejar la transición ecológica y digital (Kloppenburg *et al.*, 2022; Kolk & Ciulli, 2020; Kovacic *et al.*, 2024; Mäkitie *et al.*, 2023; Piscicelli, 2023; Sareen & Haarstad, 2021). Andersen *et al.* (2021) argumentan que los discursos sobre la *twin transition* están poco cuestionados. Además de las dudas sobre los beneficios de emparejar sostenibilidad y digitalización, autores críticos apuntan a cómo la digitalización cambia la gobernanza ambiental. Para Kloppenburg *et al.* (2022), la optimización se ha convertido en la principal forma

política de intervención en la gobernanza medioambiental. Para Kovacic *et al.* (2024), los problemas creados por la digitalización, como por ejemplo el consumo energético de las tecnologías digitales, crean nuevos problemas que deben ser gobernados y pueden desviar y quitar la atención de otros problemas centrales a la gobernanza ambiental. Por tanto, este artículo contribuye a llenar vacíos importantes en esta literatura a través de: i) explorar las implicaciones que las tecnologías digitales podrían tener (si las hay) para la propia sostenibilidad ambiental del coche eléctrico; y ii) más allá de la sostenibilidad de los coches eléctricos, entender qué tipo de efecto podría tener la innovación digital en la gobernanza ambiental.

La política de la *twin transition* se enmarca en una larga trayectoria de políticas públicas que invocan a la innovación como medio central para lograr objetivos medioambientales, económicos y sociales simultáneamente (Comisión Europea, 2010, 2015, 2016a). Los coches eléctricos representan un claro ejemplo de invocar innovación para prometer “beneficios para todos” (Kovacic *et al.*, 2020, 2024). Los coches eléctricos se promueven en Europa simultáneamente como i) una innovación tecnológica de “cero o bajas emisiones”; y ii) una oportunidad de mercado para la industria automovilística y de creación de nuevos empleos (Comisión Europea, 2018, 2019b; Electrical Contractors Association, 2019; Ryghaug & Toftaker, 2014). La innovación tiene un rol fundamental en legitimar las políticas públicas: frente al desafío de hacer más sostenibles sectores difíciles de descarbonizar, como el del transporte, la innovación permite argumentar que se pueden desarrollar soluciones al problema. Dicho de otra manera, la innovación presenta el problema de la descarbonización como si fuese fácil de gobernar. Por otro lado, las “soluciones” tecnológicas permiten obviar debates más difíciles sobre la distribución desigual de los impactos ambientales en el territorio y en la sociedad, y sobre cambios más radicales a los modelos existentes de movilidad y consumo más en general. En este sentido, nuestro artículo también contribuye a los debates existentes sobre los coches eléctricos al añadir evidencia empírica sobre cómo la implementación de políticas de innovación digital refuerza y ayuda a legitimar la innovación del coche eléctrico, sin resolver las incertidumbres respecto a su sostenibilidad ambiental y social.

El artículo se estructura de la siguiente manera. En la primera sección, introducimos una revisión de la literatura y los debates que existen en torno al coche eléctrico y al reto de emparejar las transiciones. En la segunda sección, presentamos el estudio de caso. La tercera sección describe la metodología y los materiales usados. En la cuarta sección, presentamos los resultados del mapeo. En la quinta sección, discutimos los resultados obtenidos. La sexta sección finaliza con algunas conclusiones.

1. Revisión de la literatura

Para contextualizar este estudio, presentamos la revisión de dos tipos de fuentes: la literatura académica y las políticas públicas.

1.1. Revisión de la literatura académica

Los primeros coches eléctricos se desarrollan en Estados Unidos y Alemania a finales del siglo XIX y ganaron cierta popularidad a principios del siglo pasado (Westbrook, 2001). Sin embargo, la pesadez y capacidad limitada de las baterías de la época, el bajo coste del petróleo y su mayor ligereza y disponibilidad, propiciaron el declive de los coches eléctricos en favor de los de combustión interna durante casi todo el siglo XX (Anderson & Anderson, 2005). Desde finales del siglo pasado, el interés por el coche eléctrico resurge, pero ahora promovido como una tecnología más limpia y eficiente energéticamente en un contexto de problemas relacionados con el cambio climático y la dependencia de combustibles fósiles (Helmers & Marx, 2012; Van Mierlo & Maggetto, 2007; Wilberforce *et al.*, 2017). Los avances tecnológicos en componentes clave como las baterías (por ejemplo, el litio) facilitaron este resurgimiento, ya que se mejoró la autonomía del coche eléctrico (Eberhard & Tarpenning, 2006; Oman, 2002).

Al mismo tiempo, el coche eléctrico no ha estado exento de críticas y debates en la literatura académica. Desde finales del siglo pasado, ya se alertaron las implicaciones medioambientales de producir grandes cantidades de baterías eléctricas (Lave *et al.*, 1995). A medida que la producción del coche eléctrico se extendió en el siglo XXI, los problemas medioambientales se hicieron más evidentes y se denunciaron en la literatura (Dolganova *et al.*, 2020; Ellingsen *et al.*, 2014; Jones, 2019). Smil (2016) ha argumentado que, aunque los vehículos eléctricos pueden producir cero emisiones durante su fase operativa cuando son alimentados por fuentes de energía renovable, su fabricación implica una serie de procesos industriales que actualmente dependen en gran medida de combustibles fósiles y otras fuentes de energía intensivas en carbono. Descarbonizar estos procesos de producción requeriría cambios significativos en la infraestructura y las prácticas industriales. Además, las emisiones de contaminantes locales pueden depender en gran medida de la mezcla de electricidad utilizada para cargar los vehículos eléctricos (Buekers *et al.*, 2014). Los estudios de Holland *et al.* (2016) y Jochem *et al.* (2016) sugieren que, en algunos casos, como en áreas con una mezcla eléctrica rica en carbón, los vehículos eléctricos podrían llevar a una mayor contaminación local en comparación con los vehículos de combustión interna.

37

Di Felice *et al.* (2021) contribuyen al debate explorando críticamente narrativas políticas europeas en torno a la adopción masiva de vehículos eléctrico que se espera para 2030. Destacan cómo estas narrativas presentan los vehículos eléctricos dentro de un imaginario tecno-optimista que influencia la percepción pública, ocultando las incertidumbres y complejidades de su implementación. Por ejemplo, su adopción masiva podría aumentar significativamente la demanda eléctrica, especialmente durante los picos de consumo, lo que plantea interrogantes sobre la capacidad de la infraestructura eléctrica para manejar estos picos. En una dirección similar, Sovacool *et al.* (2017) han cuestionado la posibilidad de que los vehículos eléctricos actúen como sistemas de almacenamiento a través de visiones como la Vehículo-a-Red y Vehículo-a-Hogar, señalando incertidumbres sobre su efectividad y sus implicaciones. Otro riesgo identificado por Holtsmark y Skonhoft (2014) es el que los vehículos eléctricos no sustituyan completamente a los de combustión interna, sino que simplemente agreguen viajes adicionales que de otra manera se habrían realizado a pie, en bicicleta o en transporte público. En contraposición, Ryghaug y Toftaker (2014)

han sugerido que la adopción de coches eléctricos puede aumentar la conciencia sobre el consumo de energía y promover valores proambientales.

La justificación del coche eléctrico en relación con la creación de nuevos empleos también se ha puesto en cuestión. En varios informes se sugiere que su fabricación requerirá menos empleados debido a la simplificación de los procesos de producción de las baterías eléctricas (Canis, 2019; Deloitte LLP, 2019; Fraunhofer IAO, 2020; Girardi *et al.*, 2015; Transport & Environment, 2017), mientras que otros argumentan que los nuevos empleos podrían requerir habilidades y ubicaciones diferentes (Burkert, 2019; Hamilton, 2011) que compensarían los empleos perdidos en la fabricación de vehículos tradicionales (Electrical Contractors Association, 2019). En debates públicos (Ortar & Ryghaug, 2019), los ciudadanos también han argumentado preocupaciones sobre la equidad y la justicia social en torno al coche eléctrico y el manejo de residuos al final de la vida útil de los coches y de las baterías.

También se cuestiona si la UE será capaz de producir los vehículos eléctricos que anuncia, dada la dependencia de la importación de vehículos y baterías de países como China, Japón y Corea (Chung *et al.*, 2016; Lebedeva *et al.*, 2017; Schott *et al.*, 2015). Además, la UE carece de materias primas necesarias para las baterías de los vehículos eléctricos como el litio y el cobalto. La concentración geográfica de la producción de estas materias primas en países como la República Democrática del Congo para el cobalto, y Australia, Chile y Argentina para el litio (Kane, 2019), plantea preocupaciones adicionales sobre la sostenibilidad y la ética de la extracción (Banza Lubaba Nkulu *et al.*, 2018; Chohan, 2022; Faber *et al.*, 2017; Tsurukawa *et al.*, 2011). A esto se le añaden los impactos socioambientales de la extracción de estas materias primas, incluida la contaminación del agua y los conflictos de justicia ambiental (Flexer *et al.*, 2018; Temper *et al.*, 2015).

1.2. Revisión de políticas públicas

En un informe comisionado por la Comisión Europea (Draghi, 2024), se argumenta la política pública orientada a la digitalización de la industria automovilística del coche eléctrico en términos de competitividad. En Europa, la industria automovilística tiene un papel destacado, siendo la industria que más invierte en I+D, pero el fuerte apoyo estatal que han recibido los coches eléctricos en China en los últimos años se percibe como una amenaza (Draghi, 2024). Producir coches eléctricos se ha vuelto más barato en China y la demanda de coches eléctricos europeos se ha ido debilitando en favor de importaciones desde China. La empresa china BYD ha logrado posicionarse como líder mundial de ventas en 2022 y 2023 (Fu & Barbieri, 2024) frente a los tres mayores inversores europeos en I+D en 2022, las compañías alemanas Volkswagen, Mercedes-Benz y Bosch (Draghi, 2024). En el citado informe, también se alude a la gran dependencia para importar minerales críticos desde China y cómo esto podría hacer a Europa más vulnerable a la coacción.

Ante esta situación, la recomendación para la Comisión Europea es reforzar el apoyo institucional hacia el coche eléctrico, el cual se justifica no solo en términos de supuestos beneficios medioambientales, sino para incrementar la competitividad y reducir las dependencias externas a través de una política industrial que englobe

toda la cadena de suministro del vehículo eléctrico (materiales críticos, baterías), tal y como ha hecho China desde 2012 (Draghi, 2024). Concretamente, la circularidad y la innovación, en la forma de tecnología digital avanzada, son entendidas como claves en esta política industrial (Draghi, 2024). Tecnologías digitales como la inteligencia artificial (IA) se ven como una forma de ir más allá de la automatización de la industria automovilística (una de las más automatizadas de hecho) y propiciar una transformación más profunda en la forma en la que los vehículos eléctricos se diseñan, manufacturan y operan (Draghi, 2024). Algunos ejemplos mencionados son: optimizar el diseño de prototipos y el mantenimiento predictivo, reducir fallos en las líneas de ensamblaje, predecir demanda, agilizar operaciones logísticas, asistencia a la conducción (por ejemplo, la detección de objetos) o incluso automatizar completamente la conducción (Draghi, 2024).

Este tipo de política pública orientada a apoyar el coche eléctrico y la digitalización también viene recogida en el Pacto Verde Europeo. El coche eléctrico se presenta como una tecnología de transporte “de cero o bajas emisiones” que debe desarrollarse a gran escala para contribuir a los objetivos de descarbonización y transición energética (EC, 2019, p. 11). Al mismo tiempo, se promueve la digitalización de la industria para reforzar su competitividad, y que dicha industria sea más “sostenible” y se alinee con los objetivos de una economía circular (EC, 2019). Por ejemplo, en relación con las baterías eléctricas, se pretende asegurar una cadena de valor “circular y sostenible para todas las baterías” (EC, 2019, p. 9), lo cual implicaría que sus materiales críticos sean reciclados para evitar nueva extracción. Para lograr estos objetivos medioambientales, las tecnologías digitales también se presentan como tecnologías facilitadoras.

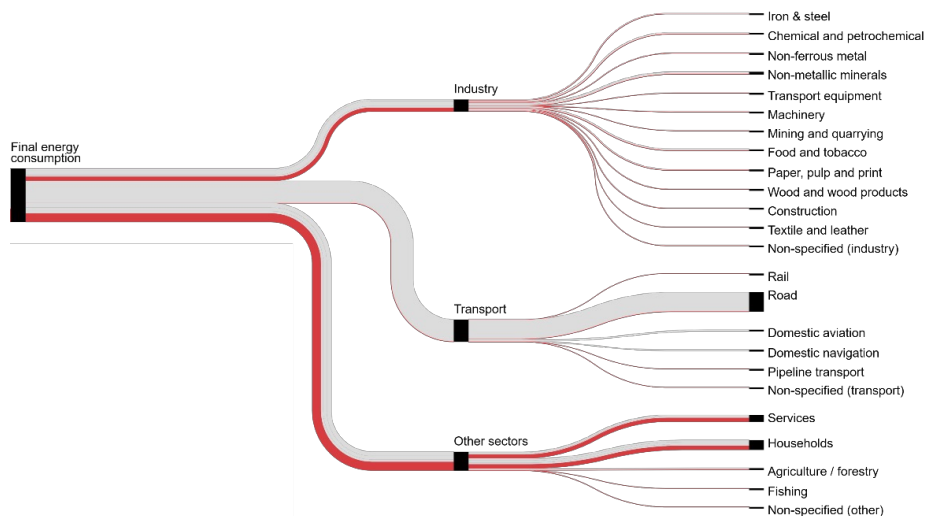
2. El estudio de caso

2.1. Los coches eléctricos en la transición energética

El sector del transporte es uno de los sectores más dependientes del consumo de combustibles fósiles. Esto se debe a que las energías renovables (solar, eólica, hidráulica, geotérmica), así como la nuclear, no se pueden transformar en combustibles líquidos, pero pueden sustituir los combustibles fósiles en la producción de electricidad. Ante esta situación, el coche eléctrico se ha promovido como tecnología prometedora en la transición hacia las energías renovables. Es decir, una solución alternativa a cambiar las fuentes primarias de energía es cambiar el vector energético que se usa en el transporte, con el cambio de motores de combustión a motores eléctricos.

Al mismo tiempo, la solución del motor eléctrico es una solución parcial. Vehículos pequeños como los coches pueden ser adaptados al uso de motores eléctricos. En cambio, otros medios de transporte como el avión, los buques o el transporte pesado por carretera son más difíciles de electrificar. Por esa razón, el sector del transporte se considera un sector difícil de descarbonizar. En el caso de España, se puede observar en la **Figura 1** que la electricidad representa solo un 1% del consumo final de energía en transporte (Eurostat, 2024).

Figura 1. Diagrama flujo de energía eléctrica en España (2022)



Fuente: Eurostat (2024).

40

Dentro del sector del transporte por carretera, se incluyen tanto camiones para el transporte de bienes como vehículos de pasajeros. La electricidad representa el 0,1% del consumo del transporte por carretera (Eurostat, 2024), que corresponde principalmente al consumo de vehículos de pasajeros (principalmente autobuses urbanos eléctricos, automóviles eléctricos, motos eléctricas). La adopción de vehículos eléctricos requiere cambios en varios niveles: usuarios, tecnologías, infraestructuras, etc. (Giampietro *et al.*, 2013). Por ejemplo, una de las limitaciones se halla en la infraestructura existente (falta de puntos de recarga, tensiones con la necesidad de mantener la estabilidad de la red de distribución de la electricidad ante el hecho de electrificar una parte del sector del transporte).

2.2. La financiación pública de la digitalización del coche eléctrico

El PERTE VEC se define como una estrategia destinada a transformar el sector automotriz, de gran peso en la economía española,¹ en un referente europeo en la fabricación de coches eléctricos (Ministerio de Industria y Turismo, 2021). Además, se espera que la digitalización juegue un papel clave en la cadena industrial del coche eléctrico, en propiciar una movilidad “conectada” y en la gestión de recursos y residuos a lo largo de su cadena de valor (Ministerio de Industria y Turismo, 2021), lo cual se alinea estrechamente con el discurso de la doble transición del Pacto Verde Europeo.

1. En 2021 el sector de la automoción representaba el 11,4% del valor agregado bruto; a nivel internacional, España era el segundo fabricante de vehículos en Europa (Ministerio de Industria y Turismo, 2021, p. 5).

El PERTE VEC previó una inversión total de más de 24.000 millones de euros en el periodo 2021-2023, con una contribución del sector público de 4295 millones de euros y una inversión privada de 19.714 millones de euros (Ministerio de Industria y Turismo, 2021, p. 13). La cuantía total máxima de ayuda pública que se concedió en la convocatoria de 2022 (única publicada hasta la fecha) fue de 267.742.919 de euros en forma de préstamos y 525.978.681 de euros en forma de subvenciones (Ministerio de Industria y Turismo, 2023, p. 2). En esta convocatoria se recogen tres grupos de bloques de actuación (Ministerio de Industria y Turismo, 2022). En primer lugar, los bloques industriales obligatorios incluyen tres bloques de fabricación de: i) equipos originales y ensamblaje; ii) baterías o pilas de hidrógeno; y iii) otros componentes esenciales adaptados al vehículo eléctrico. En segundo lugar, los llamados bloques adicionales incluyen: i) la fabricación de componentes del vehículo inteligente; ii) la conectividad del vehículo; y iii) la fabricación de sistemas de recarga. Por último, los bloques transversales obligatorios incluyen planes de: i) economía circular; ii) digitalización; y iii) formación y reciclaje profesional (Ministerio de Industria y Turismo, 2022). La digitalización es, pues, un elemento transversal y obligatorio de la convocatoria.

Para acceder a la financiación del PERTE VEC, promotores industriales, empresas, centros tecnológicos y de investigación y universidades forman lo que se conoce como “proyecto tractor”, compuesto por proyectos primarios que deben desarrollarse para abordar todos los bloques señalados. Los proyectos elegibles pueden incluir actividades de investigación aplicada, desarrollo experimental, innovación tecnológica, demostración y transferencia de tecnología. Cabe destacar además que, para desarrollar los PERTE -y en particular el PERTE VEC-, tuvo una notable influencia la reflexión conjunta en el periodo post COVID-19 de dos plataformas que reúnen representantes académicos, empresariales e institucionales: la Comunidad IND+I (Industria e Innovación) y el Foro de Empresas Innovadoras (FEI & IND+I, 2020). Estas dos plataformas publicaron un manifiesto en mayo de 2020 que recogía diez de propuestas de acción para la recuperación económica y anhelaba “recuperar el rol público emprendedor, que acompañe a un sector privado en plena reinversión” (FEI & IND+I, 2020, p. 7). Concretamente, la sexta propuesta proponía que el Estado definiera misiones estratégicas (como las ya definidas en la Unión Europea) y estableciera macroproyectos tractores que apoyasen la cooperación entre centros de investigación e industrias consideradas de alto valor (FEI y IND+I, 2020, p. 41). El objetivo de estas misiones no era simplemente asignar fondos, sino transformar las cadenas de valor industriales vía innovación tecnológica y digitalización y crear ventajas competitivas empresariales. También se hace referencia a la “transición ecológica” cuando se insta la creación de una “Agencia para la Transformación Digital y Transición Ecológica de la Industria”² (FEI y IND+I, 2020, p. 41) como instrumento para ejecutar, financiar y controlar las estrategias.

2. La cursiva es de las autoras.

3. Métodos y materiales

El enfoque metodológico combina la recopilación y el análisis cuantitativo y cualitativo de la información, siguiendo la metodología de mapeo de Prause *et al.* (2021). El análisis de Prause *et al.* (2021) permite pasar de discursos genéricos a información detallada, identificando las tecnologías digitales y relacionándolas con el punto de la cadena agroalimentaria, tema en que se centra ese estudio. Siguiendo esta aproximación, nuestro enfoque se basa en mapear e identificar los siguientes elementos en el proyecto tractor que recibió más fondos del PERTE VEC en la resolución de la convocatoria de ayudas 2022 (Ministerio de Industria y Turismo, 2023): i) el tipo de beneficiario; ii) las tecnologías digitales financiadas; iii) sus funciones; iv) donde actúa la tecnología digital; y v) el tipo de beneficios esperados. La identificación de estos elementos se realiza a través del análisis de texto.³

La resolución de la convocatoria de 2022 otorgó ayudas a 10 proyectos tractores, de los cuales analizamos el proyecto Future: Fast Forward (F3) que aglutinó aproximadamente el 45% del total de la ayuda concedida (Ministerio de Industria y Turismo, 2023). La ayuda concedida a este proyecto ascendió a 357.011.771 euros, de los cuales el 61% corresponde a subvenciones directas y el resto a préstamos. La resolución de la convocatoria se ha publicado recientemente y los proyectos están en fase inicial por lo que la recopilación y el análisis se realizan con la información disponible y de alcance público en páginas web del proyecto tractor (Future: Fast Forward, 2023) y de los socios involucrados. A pesar de estas limitaciones, los datos disponibles y la importancia del proyecto tractor objeto de análisis en cuanto a ayuda captada, nos han permitido obtener una visión lo suficiente amplia y relevante para discutir la relación entre la digitalización y sostenibilidad en el desarrollo de los coches eléctricos. De manera complementaria, hemos usado artículos y publicaciones de los proyectos primarios.

Future: Fast Forward (F3) está liderado por SEAT S.A. y el Grupo Volkswagen, y se concibe como la “mayor agrupación empresarial de la historia de la automoción en España” (Altech, 2022). Su principal objetivo es la descarbonización del sector de la movilidad en España y transformar al país en un hub europeo de la movilidad eléctrica (Future: Fast Forward, 2023). Concretamente, el proyecto aspira a: i) electrificar las fábricas SEAT de Martorell y Pamplona; ii) crear el ecosistema de baterías para coches eléctricos en España, lo que engloba desde la extracción del litio en las minas hasta el ensamblaje de baterías, incluida una gigafactoría de baterías en Sagunto (Valencia); iii) localizar en España los componentes esenciales para vehículos eléctricos y desarrollar planes sobre la formación, la digitalización y la economía circular (Altech, 2022). El proyecto engloba 86 proyectos primarios distribuidos en 11 comunidades autónomas y participan 52 socios activos, de forma que un socio puede participar en varios proyectos primarios (por ejemplo, SEAT S.A. participa en diez proyectos) y un proyecto puede tener varios socios al mismo tiempo (Altech, 2022). Hemos mapeado

3. Hubiese sido igualmente relevante analizar a qué elementos específicos se destinan los fondos percibidos (por ejemplo, cuánto se destina a qué tecnología digital, o cuánto se destina a qué beneficio esperado). Sin embargo, el material empírico disponible no permitió realizar este tipo de análisis de flujos económicos.

en qué contribuye cada socio a qué proyecto desde el punto de vista de la digitalización; sin embargo, no ha sido posible encontrar información para todos los socios. Además, los proyectos de formación laboral no se han considerado porque la digitalización no es el principal propósito en estos casos. En total, se han analizado 41 casos en los que hemos categorizado los siguientes campos: el tipo de socio, la tecnología digital, su función, donde actúa la tecnología digital y los beneficios esperados.

En una primera fase se mapearon todas las tecnologías digitales encontradas explícitamente en la documentación, independientemente de si se trataba de una subdisciplina de otra categoría. En una segunda fase, la categorización se realiza a través de un proceso iterativo que consiste en asignar categorías relativamente genéricas que engloben características afines entre los casos analizados, buscando cierto equilibrio entre la concreción analítica y el número de categorías generadas. Se agruparon en una categoría los siguientes casos:

- *Software*, aplicaciones y plataforma de gestión, en “Plataforma de gestión”.
- La nube y *cloud manufacturing*, en “La nube”.
- IA, *machine learning* y *deep learning*, en “IA”.

Las demás tecnologías como big data se han categorizado tal y como se expresan. En la **Tabla 1**, se relacionan las categorías identificadas y una breve descripción.

43

Tabla 1. Tecnologías digitales

TECNOLOGÍA DIGITAL	BREVE DESCRIPCIÓN
Industria 4.0	Término que se refiere a la integración de tecnologías digitales inteligentes en la fabricación y los procesos industriales
<i>Big Data</i>	Término caracterizado por las cuatro “V”: volumen, variedad, veracidad y velocidad
Inteligencia artificial	Técnicas que se desarrollan mediante la combinación de diferentes áreas de la informática, la estadística, la matemática y la ingeniería
<i>Blockchain</i>	Tecnología de registro distribuido que permite almacenar datos de manera segura e inmutable mediante criptografía
Ciberseguridad	Salvaguardar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información
IoT	Red de dispositivos físicos equipados con sensores, <i>software</i> y otras tecnologías que les permiten conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet
Visión artificial	Capacidad de las máquinas para interpretar y comprender el mundo visual mediante el procesamiento de imágenes y videos
Gemelo digital	Réplica virtual de un proceso o sistema del mundo real
La nube	Tecnologías que utilizan servicios de computación en la nube que permite la interconexión y gestión eficiente de recursos de fabricación distribuidos a través de Internet
Plataforma de gestión	Aplicaciones móviles y plataformas en tiempo real para gestionar diversas operaciones y procesos
Reconocimiento de imagen	Identificar y clasificar objetos
Robótica	Máquina programable que puede realizar tareas complejas o repetitivas de manera autónoma o semiautónoma

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al tipo de socio, identificamos cuatro tipos principales: a) pymes; b) centro de investigación y universidades; c) grupo empresarial; y d) empresa grande (incluyendo a SEAT S.A.).

En cuanto a las funciones de las tecnologías digitales, se ha tratado responder a la pregunta: ¿para qué se usa la tecnología? En la **Tabla 2**, se establece una relación de las funciones categorizadas y sus descripciones de acuerdo a cómo se mencionan en los proyectos.

Tabla 2. Funciones de las tecnologías digitales

FUNCIONES	BREVE DESCRIPCIÓN
Asistencia a la conducción	Detectar obstáculos, facilitando el aparcamiento y mejorando la conducción en general
Automatización	Realizar tareas con poca intervención humana
Conducción autónoma	Capacidad de los vehículos para operar sin intervención humana, utilizando sensores, cámaras, radares y algoritmos de inteligencia artificial
Conectividad	Capacidad del vehículo para comunicarse con redes móviles (4G, 5G), infraestructuras viarias y sistemas de señalización (V2X)
Control de calidad	Detectar y clasificar defectos, reduciendo el rechazo de metales defectuosos y optimizando procesos
Gestión intercambio de baterías	Permitir a los usuarios intercambiar baterías descargadas por otras completamente cargadas en estaciones especiales
Gestión de flotas	Proceso de administración y optimización de vehículos de una flota, que implica la recopilación, consolidación y análisis de datos relacionados con la geolocalización, telemetría, reservas, usuarios y otros indicadores
Monitorización	Recopilar y analizar datos sobre el rendimiento y la eficiencia de las baterías y la red eléctrica, los procesos de producción, etc.
Optimización	Mejora de la eficiencia de la cadena de suministro del vehículo eléctrico, particularmente la logística de vacíos y el suministro secuenciado de piezas
Optimización energía domestica	Gestión y optimización del uso de energía en una micro red que incluye baterías de vehículos eléctricos, paneles solares y cargadores eléctricos
Predicción	Anticipar variables o comportamientos
Securización	Mejorar la seguridad en áreas de trabajo automatizadas
Simulación	Relacionada con los gemelos digitales para representar y simular los procesos productivos
Trazabilidad	Documentación de la trayectoria de los metales a lo largo de toda la cadena de valor

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a dónde actúa la tecnología digital, hemos identificado cuatro categorías claramente diferenciadas: a) proceso de fabricación del coche eléctrico; b) servicios

al usuario final del coche eléctrico; c) desensamblaje, recuperación y reciclado; y d) baterías.

Para categorizar los beneficios esperados, hemos adoptado un enfoque similar al aplicado por Di Felice *et al.* (2021), quienes identifican cuatro principales justificaciones para adoptar los vehículos eléctricos. En nuestro caso, hemos categorizado cuatro tipos de beneficios esperados: a) económicos (competitividad, eficiencia, nuevas líneas de producción y clientes, etc.); b) medioambientales (reducción de emisiones, reutilización de baterías de segunda vida, reducción de impactos porque se reciclan materiales y metales, etc.); c) bienestar del usuario (seguridad, confort y ayuda a la conducción, reducir tiempos de espera de recarga, baterías más eficientes y con ciclos de vida más largos, cuestiones de micromovilidad y movilidad urbana); d) soberanía (capacidad para reducir la dependencia de importaciones de metales de alto valor para el vehículo eléctrico; por ejemplo, a través de reciclaje y reutilización). Hay que tener en cuenta que algunas acciones de digitalización pueden agruparse en varios beneficios simultáneos. Por ejemplo, con tecnologías enfocadas al reciclaje y la reutilización de metales de alto valor para el vehículo eléctrico, se espera generar un beneficio tanto medioambiental como para la soberanía, al reducir la dependencia de importaciones. Para aquellos casos en los que no hay información pública suficiente en alguno de los campos, hemos creado una categoría llamada “sin especificar”.

4. Resultados

En la **Tabla 3**, resumimos los resultados cuantitativos del mapeo de tipos de socio, tecnologías digitales, funciones, dónde actúa y beneficios esperados.

45

Tabla 3. Resultados cuantitativos del mapeo

TIPO DE SOCIO	TECNOLOGÍA DIGITAL	FUNCIÓN	DÓNDE ACTÚA	BENEFICIO ESPERADO
PYME (61%)	Industria 4.0 (26%)	Monitorización (14%)	Proceso de fabricación (54%)	Beneficios económicos (90%)
Grandes empresas (33%)	IA (22%)	Automatización (14%)	Servicios al usuario final (22%)	Beneficios medioambientales (65%)
Centros de investigación (4%)	Plataforma de gestión (10%)	Predicción (12%)	Desensamblaje, recuperación y reciclado (15%)	Bienestar usuario (60%)
Grupo empresarial (2%)	IoT (7%)	Control de calidad (12%)	Baterías (10%)	Soberanía (15%)
	Visión artificial (7%)	Simulación (8%)		
	Gemelos digitales (6%)	Conducción autónoma (7%)		
	Robótica (5%)	Conectividad (7%)		

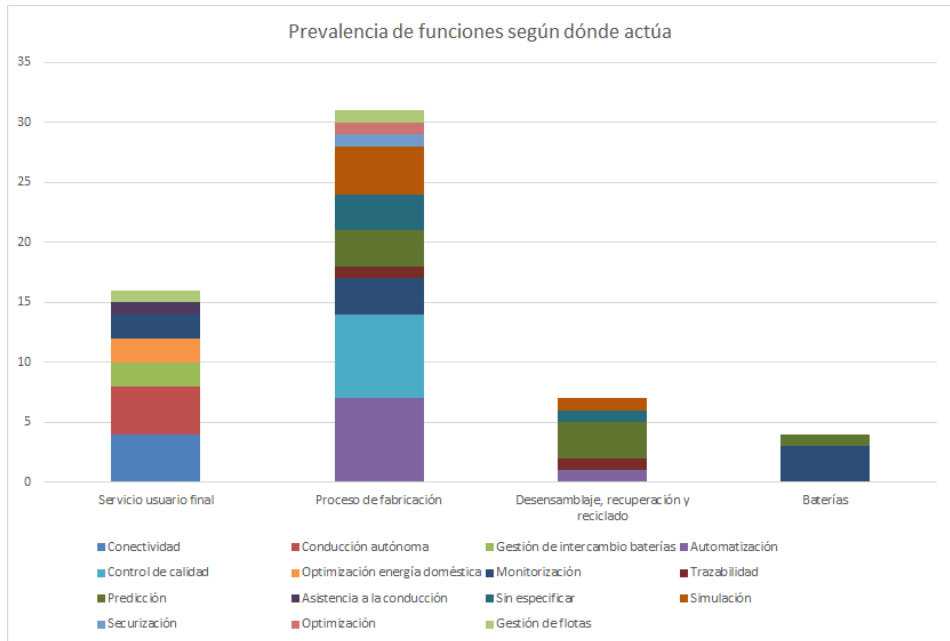
Fuente: elaboración propia.

De los 52 socios que desarrollan los 86 proyectos primarios, un 61% son pymes (32 socios). Este resultado está directamente relacionado con el propio requisito establecido por la convocatoria del PERTE-VEC de incluir un mínimo del 40% de pymes en las agrupaciones para el desarrollo del vehículo eléctrico, pues las pymes son parte del tejido económico español que se busca recuperar en el contexto de la pandemia del COVID-19. El 33% de los socios son grandes empresas, otro actor que también se busca recuperar por su peso económico. El 4% de los socios representa centros de investigación y universidades, y corresponde al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad de Zaragoza. El resto de los socios son grupos empresariales.

Respecto a las tecnologías digitales, industria 4.0 es la tecnología más mencionada (22 menciones), seguida de la IA (18). Estas dos tecnologías representan aproximadamente la mitad (48%) de las menciones a las tecnologías digitales. Con menor mención, tenemos plataformas de gestión (8), IoT (6), visión artificial (6) y gemelos digitales (5). Asimismo, cabe destacar que las tecnologías identificadas no operan independientemente, sino que están interrelacionadas y se complementan entre sí (por ejemplo, la IA suele estar asociada a big data). Este resultado indica que la industria automovilística es parte de la transición digital que promueve el Pacto Verde Europeo. Sin embargo, es preciso entender las funciones, las áreas de actuación y los beneficios esperados para averiguar si las tecnologías digitales también están relacionadas con los objetivos de la transición ecológica.

46

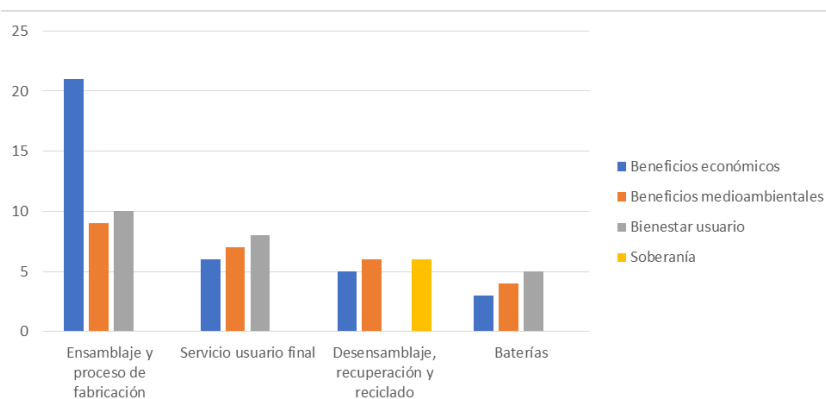
En la **Figura 2** se relaciona: i) el número de menciones de las funciones de las tecnologías digitales; y ii) el “dónde actúa”. La mayoría de las menciones de las funciones se sitúa en el proceso de fabricación (46%), seguido por servicio al usuario final (28%), desensamblaje, recuperación y reciclado (12%), y baterías (7%). Las funciones para las cuales se desarrollan -o se quieren desarrollar- las tecnologías digitales están mayoritariamente enfocadas a las necesidades de las empresas de la industria automovilística; por lo tanto, se centran en el proceso de fabricación y la experiencia del usuario final (77% del “dónde actúa”). De ahí que muchas funciones se refieran a servicios para la producción, como la automatización, el control de calidad, la monitorización, la optimización, la predicción, la simulación y la seguridad de los trabajadores en las fábricas; o a servicios orientados a mejorar la experiencia del usuario final de los vehículos eléctricos como la conducción autónoma y la conectividad, destinadas a hacer que la conducción sea más segura, conveniente y eficiente.

Figura 2. Prevalencia de las funciones de las tecnologías por ámbitos de actuación

Fuente: elaboración propia.

47

Finalmente, respecto a los beneficios esperados, hay que considerar que puede haber más de un beneficio por cada caso analizado. Los beneficios económicos son ampliamente mencionados (en 36 menciones: es decir, en el 90% de los casos), y se relacionan principalmente con la mejora en la competitividad y la eficiencia operativa en la cadena de valor del vehículo eléctrico. En la **Figura 3** se relacionan: i) los beneficios esperados del uso de la tecnología digital; y ii) el “dónde actúa”. Si prestamos atención al total de menciones de los tipos de beneficios esperados, los beneficios económicos se sitúan principalmente en el proceso de fabricación (19 menciones).

Figura 3. Relación entre beneficios esperados y dónde actúa la tecnología digital

Fuente: elaboración propia.

48

Los beneficios medioambientales y los beneficios sobre el bienestar del usuario son los siguientes más mencionados (en el 65% y 60% de los casos analizados respectivamente). Los beneficios medioambientales se sitúan principalmente en el proceso de fabricación (por ejemplo, monitorear el impacto ambiental de la producción de vehículos eléctricos: nueve menciones). Estos beneficios responden parcialmente a los debates identificados en la literatura respecto al impacto ambiental de la producción de los vehículos eléctricos. En segundo lugar, se encuentran los beneficios en servicios al usuario final (por ejemplo, proyectos que desarrollan *softwares* destinados a la optimización de una microrred basada en energía generada por placas solares y almacenada en baterías reutilizadas de VEC: ocho menciones). En este caso, los beneficios están relacionados con la visión de una transición energética habilitada por la tecnología, en línea con el imaginario digital de la doble transición identificado por Kovacic *et al.* (2024). En tercer lugar, aparecen beneficios ambientales relacionados al reciclaje en desensamblaje, la recuperación y el reciclado (seis menciones) donde los beneficios ambientales reflejan la preocupación por las necesidades materiales del coche eléctrico. Y en cuarto lugar, las baterías (dos menciones) (por ejemplo, baterías con segunda vida). En este último caso, hay una convergencia entre beneficios ambientales y económicos, que apoya el discurso de la doble transición.

Los beneficios esperados relacionados con la soberanía se mencionan en el 15% de los casos analizados. Los beneficios relativos a la soberanía se sitúan exclusivamente en el dominio del “desensamblaje, recuperación y reciclado”, lo cual no es sorprendente, dado que la soberanía está relacionada con cómo las tecnologías digitales pueden ayudar, por ejemplo, a mapear y reutilizar materiales necesarios para el vehículo eléctrico y reducir la dependencia de las importaciones.

5. Discusión

Los resultados del mapeo abren dos discusiones fundamentales. Por un lado, la doble transición en el ámbito del vehículo eléctrico se direcciona principalmente al beneficio de tipo económico y eso crea incertidumbre respecto a los beneficios para la sostenibilidad. Por otro lado, las tecnologías digitales se presentan como tecnologías facilitadoras para lidiar con algunas de las tensiones generadas por la misma tecnología del coche eléctrico (por ejemplo, los problemas vinculados a las baterías se quieren solucionar con más tecnología, en ese caso digital).

El primer argumento se centra en cómo la digitalización se orienta hacia la competitividad empresarial del sector de la automoción. En este sentido, las tecnologías más financiadas (industria 4.0, inteligencia artificial, IoT, big data, robótica) se enmarcan dentro un imaginario basado en la puesta en marcha de fábricas “inteligentes” bajo el lema de la eficiencia y el crecimiento económico. El hecho de que en el 90% de los proyectos analizados uno de los beneficios esperados sea el económico es previsible, ya que el 98% de los socios son grandes empresas del sector automovilístico y pequeñas y medianas empresas que proporcionan servicios y tecnologías digitales al sector automovilístico.

Cabe señalar que los beneficios esperados identificados en el mapeo corresponden a lo declarado por la agrupación en la documentación del proyecto, sin que se cuantifique el alcance económico ni se disponga de información sobre la asignación de los fondos a cada uno de ellos. Por tanto, el análisis permite identificar una orientación discursiva predominante, pero no trazar los flujos económicos concretos. Este resultado lleva a una reflexión crítica sobre cómo se está implementando la política de la doble transición a través de los fondos NextGenerationEU. Al crear un fondo orientado a una solución tecnológica específica, se hace inevitable involucrar a la industria automovilística en el desarrollo y la producción de coches eléctricos. Por otro lado, es de esperar que dicha industria se enfoque principalmente en los beneficios de tipo económico. Dicho de otra manera, la idea de que con la digitalización en el ámbito de los coches eléctricos se generen tanto beneficios de tipo ambiental como económico -es decir, “beneficios para todos”, o *win-win* en inglés- se ve cuestionada por la implementación de esta política pública que (inevitablemente) se apoya en actores cuya principal prioridad es la viabilidad económica de su negocio.

En segundo lugar, se argumenta que la digitalización está orientada a abordar problemas específicos generados por los propios requerimientos materiales del coche eléctrico y reconocidos por los propios socios el proyecto tractor:

“Hay que tener en cuenta que un vehículo eléctrico necesita seis veces más metales que un vehículo de combustión. Avanzar en la recuperación de metales críticos y estratégicos será un paso de gigante en la sostenibilidad de la movilidad basada en el vehículo eléctrico” (CSIC, 2023).

En este contexto, la digitalización se orienta a cuestiones como la recuperación y el reciclado de materiales raros y las posibilidades de mejorar el desensamblaje del coche eléctrico, para reducir la dependencia de importaciones de metales raros que puede generar la adopción a gran escala del vehículo eléctrico. Por ejemplo, uno de los proyectos primarios, el proyecto RELOAD, se enfoca en la recuperación eficiente de metales valiosos, abordando el reciclaje y procesamiento de estos metales esenciales para la fabricación de baterías y otros componentes críticos. Asimismo, algunos proyectos también exploran las posibilidades de prolongar la vida útil de las baterías mejorando su rendimiento, o dándoles una segunda vida, con el objetivo de reducir el impacto ambiental asociado con su producción y desecho. En este sentido, las tecnologías digitales se enmarcan en un discurso de economía circular, que aspira simultáneamente a contribuir a la sostenibilidad medioambiental del vehículo eléctrico, y a la competitividad de la industria automovilística.

Por otro lado, se puede notar que las tecnologías destinadas a la recuperación de materiales raros se encuentran, en muchos casos, en niveles menos maduros de desarrollo. La función de trazabilidad de los metales a lo largo de toda la cadena de valor, desde la fabricación hasta la reutilización, es una función que se quiere desarrollar, pero que en la práctica aún está en fase experimental. En cambio, muchas tecnologías relacionadas con la producción del vehículo eléctrico y los servicios al usuario ya se están comercializando. Este resultado puede tener una doble lectura. En una lectura más optimista, se puede interpretar que acoplar la transición ecológica y la digital es una forma de empezar a desarrollar tecnologías digitales para la sostenibilidad, contando con la capacidad del sector de llevar la innovación a un nivel de madurez tal que pueda llegar a la comercialización. En una lectura más crítica, se puede pensar que el foco y el esfuerzo de la industria están en desarrollar tecnologías digitales que benefician a la producción y comercialización de los coches eléctricos. El desarrollo de tecnologías digitales con beneficios también ambientales queda supeditado primariamente a la obtención de un beneficio económico.

Este aspecto se puede observar analizando las funciones de las tecnologías digitales. De todas las funciones, cinco de las 14 funciones identificadas (36%) podrían traer también beneficios ambientales en lo que se refiere a baterías, metales raros y mejor uso de la energía. Este resultado nos lleva a pensar que las funciones para las cuales se desarrollan las tecnologías digitales no están primariamente pensadas para la sostenibilidad ambiental y que los beneficios ambientales están presentes siempre y cuando también representen un beneficio económico. Eso no sucede al revés: los beneficios económicos se persiguen, aunque no tengan beneficio ambiental. En otras palabras, la promesa de “beneficios para todos” se convierte en una condición que limita y determina que la sostenibilidad ambiental solo se incluya si genera beneficio económico. La transición ecológica queda supeditada a la transición digital y a la búsqueda de mayor competitividad.

Asimismo, la factibilidad económica y técnica de implementar procesos de recuperación y reciclaje a gran escala presenta varios desafíos. El reciclaje potencial de materiales raros, facilitado por la digitalización, apunta a ser muy limitado y la digitalización no garantiza que la dependencia de importaciones de metales (y sus tensiones) vaya a disminuir, puesto que los vehículos eléctricos se sitúan en un marco

en el que predomina maximizar sus ventas y hacer más competitiva a la industria automovilística. No es claro que la digitalización pueda lidiar con las tensiones geopolíticas generadas por los requerimientos materiales del coche eléctrico (Flexer *et al.*, 2018; Tempere *et al.*, 2015).

Conclusión

En este artículo, hemos analizado críticamente la integración o el emparejamiento de la transición ecológica y digital que se promueve en la gobernanza ambiental de la UE a través del caso de estudio del coche eléctrico en España.

Los resultados del mapeo revelan que no es claro que las tecnologías digitales vayan a contribuir a la propia sostenibilidad medioambiental del coche eléctrico, porque la innovación digital es una acción orientada; es decir, se introduce en un marco en el que predominan esencialmente objetivos económicos tales como la competitividad y eficiencia del sector de la automoción. De esta manera, la transición ecológica se supedita a la transición digital y los beneficios ambientales solo se persiguen si también representan beneficios económicos. En cambio, los beneficios económicos se persiguen independientemente de los impactos ambientales.

En segundo lugar, se financia la producción del vehículo eléctrico conectado bajo el supuesto de que el vehículo eléctrico, por ser eléctrico, es sostenible. En los proyectos analizados, el principal aspecto relacionado con la sostenibilidad que se tiene en cuenta es la recuperación y un mejor uso de materiales raros. Varias incertidumbres respecto a la sostenibilidad de los vehículos eléctricos identificadas en la literatura (la dificultad de averiguar que la electricidad producida sea de fuentes primarias sostenibles, los problemas de estabilidad de la red eléctrica causados por el aumento de demanda de electricidad) quedan sin respuesta.

En tercer lugar, el PERTE VEC redirige la gobernanza medioambiental hacia gobernar el desarrollo de una tecnología específica (el coche eléctrico). El PERTE VEC es uno de los dos PERTE relacionados con la transición ecológica en temas de energía. Lo notable es que este PERTE, al abarcar el problema de cómo hacer que la movilidad y el sector del transporte sean más sostenibles, se enfoca en una “solución” tecnológica que solo responde a una parte del sector (la movilidad por carretera de pasajeros). Al poner el foco en el coche eléctrico, el mismo se asume como una innovación tecnológica que tiene que darse y extenderse de cualquier manera. La innovación digital refuerza así el imaginario político del coche eléctrico y se establecen incluso estimaciones de vehículos de cero o baja emisión para 2025 (Comisión Europea, 2019a). Este reforzamiento estrecha el espacio político para abordar aspectos más críticos que plantea una movilidad y un transporte sostenibles, por lo que se hace necesario desplegar formas que aborden de manera integral estos desafíos.

En suma, el carácter de “beneficios para todos” de la innovación (tecnológica y digital) en las políticas de gobernanza medioambiental, puede verse como una manera de evitar decisiones políticas más difíciles en contextos de incertidumbre y

complejidad (Funtowicz & Hidalgo, 2024). Su performatividad se basa en trasladar problemas complejos y tensiones en problemas técnicos para ser resueltos por “arreglos tecnológicos” (*techno-fixes*) que no tienen en cuenta las especificidades del territorio donde se implementan las políticas públicas de la doble transición. Y dichos arreglos introducen a su vez más complejidad e incertidumbre.

Financiamiento

El presente artículo es parte de los proyectos TED2021-132205A-I00 y RYC2021-031839-I, financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea “NextGenerationEU”/PRTR.

Bibliografía

Agusdinata, D. B., Liu, W., Eakin, H. & Romero, H. (2018). Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda. *Environmental Research Letters*, 13(12), 123001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9b1>.

Altech (2022). Los socios de Future: Fast Forward registran el proyecto al PERTE VEC. Recuperado de: <https://altech.es/los-socios-de-future-fast-forward-registran-el-proyecto-al-perte-vec/>.

Andersen, A. D., Frenken, K., Galaz, V., Kern, F., Klerkx, L., Mouthaan, M., Piscicelli, L., Schor, J. B. & Vaskelainen, T. (2021). On digitalization and sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 41, 96–98. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.09.013>.

Anderson, J. & Anderson, C. D. (2005). *Electric and Hybrid Cars: A History*. McFarland & Co.

Banza Lubaba Nkulu, C., Casas, L., Haufroid, V., De Putter, T., Saenen, N. D., Kayembe-Kitenge, T., Musa Obadia, P., Kyanika Wa Mukoma, D., Lunda Ilunga, J.-M., Nawrot, T. S., Luboya Numbi, O., Smolders, E. & Nemery, B. (2018). Sustainability of artisanal mining of cobalt in DR Congo. *Nature Sustainability*, 1(9), 495–504. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0139-4>.

Buekers, J., Van Holderbeke, M., Bierkens, J. & Int Panis, L. (2014). Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 26-38. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.09.002>.

Burkert, A. (2019). Electric Vehicles - Shaking up the German Industry. *ATZ Worldwide*, 121(10), 8-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s38311-019-0117-0>.

Canis, B. (2019). Electrification May Disrupt the Automotive Supply Chain. Recuperado de: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46231>.

Chinchilla, E. J. S. & Allende, J. S. (2017). Riesgos de ciberseguridad en las empresas. Tecnología y Desarrollo, 15.

Chohan, U. (2022). Blockchain and the extractive industries: cobalt case study. SSRN Electron. DOI: <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3138271>.

Chung, D., Elgqvist, E. & Santhanagopalan, S. (2016). Automotive Lithium-ion Cell Manufacturing: Regional Cost Structures and Supply Chain Considerations. National Renewable Energy Lab (NREL). DOI: <https://doi.org/10.2172/1247459>.

Comisión Europea (2010). Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. COM(2010) 2020 final.

Comisión Europea (2015). Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular. COM(2015) 614 final.

Comisión Europea (2016a). Acelerar la innovación en energías limpias. COM(2016) 763 final.

Comisión Europea (2016b). Digitalización de la industria europea. Aprovechar todas las ventajas de un mercado único digital. COM(2016) 180 final.

53

Comisión Europea (2018). En ruta hacia la movilidad automatizada: estrategia de la UE para la movilidad del futuro. COM(2018) 283 final.

Comisión Europea (2019a). El Pacto Verde Europeo. COM(2019) 640 final.

Comisión Europea (2019b). Estrategia de movilidad sostenible e inteligente: encauzar el transporte europeo de cara al futuro. COM(2020) 789 final.

Comisión Europea (2020). Una nueva estrategia industrial para Europa. COM(2020) 102 final.

Comisión Europea (2021). Actualizando la Nueva Estrategia industrial de 2020. COM(2021) 350 final.

CSIC (2023). El CSIC participa en la mayor alianza de la automoción española para impulsar el coche eléctrico. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de: <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/el-csic-participa-en-la-mayor-alianza-de-la-automocion-espanola-para-impulsar-el-coche-electrico>.

Deloitte LLP (2019). New market. New entrants. New challenges. Battery Electric Vehicles. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/manufacturing/deloitte-uk-battery-electric-vehicles.pdf>.

Di Felice, L. J., Renner, A. & Giampietro, M. (2021). Why should the EU implement electric vehicles? Viewing the relationship between evidence and dominant policy solutions through the lens of complexity. *Environmental Science & Policy*, 123, 1-10. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.002>.

Dolganova, I., Rödl, A., Bach, V., Kaltschmitt, M. & Finkbeiner, M. (2020). A Review of Life Cycle Assessment Studies of Electric Vehicles with a Focus on Resource Use. *Resources*, 9(3), 32. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources9030032>.

Draghi, M. (2024). The future of European competitiveness. Recuperado de: https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead_en.

Eberhard, M. & Tarpenning, M. (2006). The 21st Century Electric Car Tesla Motors. *Tesla Motors*, 17, 1-10.

EEA (2018). Electric Vehicles From Life Cycle and Circular Economy Perspectives. Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>.

Electrical Contractors Association (2019). Powering a New Value Chain in the Automotive Sector: the Job Potential of Transport Electrification. Recuperado de: <https://europe-on.org/wp-content/uploads/2020/02/EuropeOn-Powering-a-new-value-chain-in-the-automotive-sector-the-job-potential-of-transport-electrification.pdf>.

Ellingsen, L. A., Majeau-Bettez, G., Singh, B., Srivastava, A. K., Valøen, L. O. & Strømman, A. H. (2014). Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 113-124. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12072>.

Eurostat (2024). Energy balance flow for Spain 2022. Recuperado de: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/energy/sankey.html?geos=ES&year=2022&unit=KTOE&fuel=TOTAL&highlight=_&nodeDisagg=111111111111&flowDisagg=false&language=EN.

Faber, B., Krause, B. & Sánchez de la Sierra, R. (2017). Artisanal Mining, Livelihoods, and Child Labor in the Cobalt Supply Chain of the Democratic Republic of Congo. Working Paper Series qt17m9g4wm.

FEI & IND+I (2020). Los pilares de un futuro más próspero y sostenible. El desarrollo de España en el tiempo de después. Recuperado de: <https://foroempresasinnovadoras.com/wp-content/uploads/2020/06/20200531-DOCUMENTO-FEI-INDI.pdf>.

Flexer, V., Baspineiro, C. F. & Galli, C. I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of The Total Environment*, 639, 1188-1204. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>.

Fraunhofer IAO (2020). The Changing Face of the Automotive Industry – Employment Prospects in 2030. Fraunhofer Institute for Industrial Engineering.

Fu, C. & Barbieri, R. (2024). China's Auto Giant BYD Sells More Electric Cars And Hybrids Than Ever. The New York Times, 1 de enero. Recuperado de: <https://www.nytimes.com/2024/01/01/business/byd-2023-sales.html>.

Funtowicz, S. & Hidalgo, C. (2024). Epistemología política: ciencia con la gente. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 19(55), 215-228. DOI: <https://doi.org/10.52712/issn.1850-0013-454>.

Future: Fast Forward (2023). Agrupación F3. Recuperado de: <https://www.futurefastforward.es/agrupacion-f3/>.

Giampietro, M., Mayumi, K. & Şorman, A. (2013). *Energy Analysis for a Sustainable Future Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*. Routledge.

Girardi, P., Gargiulo, A. & Brambilla, P. C. (2015). A comparative LCA of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle using the appropriate power mix: the Italian case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(8), 1127-1142. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0903-x>.

Grabiner, J. V. (1984). Artificial intelligence: Debates about its use and abuse. *Historia Mathematica*, 11(4), 471-480. DOI: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0315-0860\(84\)90029-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0315-0860(84)90029-6).

Hamilton, J. (2011). Careers in Electric Vehicles. Recuperado de: https://www.bls.gov/green/electric_vehicles/.

55

Helmers, E. & Marx, P. (2012). Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. *Environmental Sciences Europe*, 24(1), 14. DOI: <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-14>.

Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z. & Yates, A. J. (2016). Are There Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles? The Importance of Local Factors. *American Economic Review*, 106(12), 3700–3729. DOI: <https://doi.org/10.1257/aer.20150897>.

Holtmark, B. & Skonhoft, A. (2014). The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries? *Environmental Science & Policy*, 42, 160-168. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.006>.

Jochem, P., Doll, C. & Fichtner, W. (2016). External costs of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 42, 60-76. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.022>.

Jones, S. J. (2019). If electric cars are the answer, what was the question? *British Medical Bulletin*, 129(1), 13-23. DOI: <https://doi.org/10.1093/bmb/ldy044>.

Kane, M. (2019). 91% Of Lithium For Lithium-Ion Batteries Comes From Three Countries. *Lithium For Lithium-Ion Batteries Comes From Three Countries*. InsideEvs Newsletter. Recuperado de: <https://insideevs.com/news/372133/91-of-lithium-three-countries/>.

Kloppenburger, S., Gupta, A., Kruk, S. R. L., Makris, S., Bergsvik, R., Korenhof, P., Solman, H. & Toonen, H. M. (2022). Scrutinizing environmental governance in a digital age: New ways of seeing, participating, and intervening. *One Earth*, 5(3), 232–241. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.02.004>.

Kolk, A. & Ciulli, F. (2020). The potential of sustainability-oriented digital platform multinationals: A comment on the transitions research agenda. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34, 355–358. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.12.008>.

Kovacic, Z., Casañas, C. G., Argüelles, L., Serrano, P. Y., Ribera-Fumaz, R., Prause, L. & March, H. (2024). The twin green and digital transition: High-level policy or science fiction? *Environment and Planning E: Nature and Space*, 0(0), 25148486241258050. DOI: <https://doi.org/10.1177/25148486241258046>.

Kovacic, Z., Rommetveit, K. & Strand, R. (2020). Report of the quality of the assessment of technical innovations. MAGIC (H2020–GA 689669). Project Deliverable 6.2.

Lave, L. B., Hendrickson, C. T. & McMichael, F. C. (1995). Environmental implications of electric cars. *Science*, 268(5213), 993–995. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.268.5213.993>.

Lebedeva, N., Di Persio, F. & Boon-Brett, L. (2017). Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. European Commission. DOI: <https://doi.org/10.2760/6060>.

Mäkitie, T., Hanson, J., Damman, S. & Wardeberg, M. (2023). Digital innovation's contribution to sustainability transitions. *Technology in Society*, 73, 102255. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102255>.

Ministerio de Industria y Turismo (2021). PERTE para el desarrollo del Vehículo Eléctrico y Conectado. Memoria descriptiva. Gobierno de España. Recuperado de: <https://www.mintur.gob.es/es-es/recuperacion-transformacion-resiliencia/perte/memoria-descriptiva-perte-vec.pdf>.

Ministerio de Industria y Turismo (2022). Orden ICT/209/2022, de 17 de marzo, por la que se efectúa la convocatoria correspondiente al año 2022. BOE, (66). Documento BOE-A-2022-4341 (35454–35538). Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/o/2022/03/17/ict209>.

Ministerio de Industria y Turismo (2023). Resolución de concesión de apoyo financiero actuaciones integrales cadena vehículo eléctrico - 2022. Recuperado de: <https://www.mintur.gob.es/PortalAyudas/PERTE-VEC/Concesion/2022/Documents/Resolucion%20global%20firmada.pdf>.

Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O. & Schiereck, D. (2017). Blockchain. *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183–187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0467-3>.

Oman, H. (2002). Electric car progress. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 17(6), 30-35. DOI: <https://doi.org/10.1109/MAES.2002.1010119>.

Ortar, N. & Ryghaug, M. (2019). Should All Cars Be Electric by 2025? The Electric Car Debate in Europe. *Sustainability*, 11(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/su11071868>.

Piscicelli, L. (2023). The sustainability impact of a digital circular economy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61, 101251. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101251>.

Poel, I. van de (2020). Three philosophical perspectives on the relation between technology and society, and how they affect the current debate about artificial intelligence. *Human Affairs*, 30(4), 499–511. DOI: <https://doi.org/doi:10.1515/humaff-2020-0042>.

Prause, L., Hackfort, S. & Lindgren, M. (2021). Digitalization and the third food regime. *Agriculture and Human Values*, 38(3), 641-655. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10161-2>.

Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *UIS Ingenierías*, 19(2), 177-192. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>.

Ryghaug, M. & Toftaker, M. (2014). A Transformative Practice? Meaning, Competence, and Material Aspects of Driving Electric Cars in Norway. *Nature and Culture*, 9(2), 146-163. DOI: <https://doi.org/10.3167/nc.2014.090203>.

Sareen, S. & Haarstad, H. (2021). Digitalization as a driver of transformative environmental innovation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 41, 93-95. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.09.016>.

Schott, B., Püttner, A. & Müller, M. (2015). 3 - The market for battery electric vehicles. In B. Scrosati, J. Garce & W. Tillmetz (Eds.), *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles* (35–54). Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-377-5.00003-0>.

Smil, V. (2016). Examining energy transitions: A dozen insights based on performance. *Energy Research & Social Science*, 22, 194–197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.017>.

Sovacool, B. K., Axsen, J. & Kempton, W. (2017). The Future Promise of Vehicle-to-Grid (V2G) Integration: A Sociotechnical Review and Research Agenda. *Annual Review of Environment and Resources*, 42(1), 377-406. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-030117-020220>.

Tabarés Gutiérrez, R. (2019). La fabricación abierta: ¿un camino alternativo a la industria 4.0? *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 14(41), 263-285. Recuperado de: <https://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/121>.

Temper, L., Del Bene, D. & Martinez-Alier, J. (2015). Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice: the EJAtlas. *Journal of Political Ecology*, 22(1). DOI: <https://doi.org/10.2458/v22i1.21108>.

Transport and Environment (2017). How Will Electric Vehicle Transition Impact EU Jobs? En European Federation for Transport and Environment. Recuperado de: <https://www.transportenvironment.org/articles/how-will-electric-vehicle-transition-impact-eu-jobs>.

Tsurukawa, N., Prakash, S. & Manhart, A. (2011). Social Impacts of Artisanal Cobalt Mining in Katanga, Democratic Republic of Congo. Öko-Institut e.V.

Van Mierlo, J. & Maggetto, G. (2007). Fuel Cell or Battery: Electric Cars are the Future. *Fuel Cells*, 7(2), 165–173. DOI: <https://doi.org/10.1002/fuce.200600052>.

Westbrook, M. H. (2001). The Electric Car: Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars, 38. Institution of Electrical Engineers.

Wilberforce, T., El-Hassan, Z., Khatib, F. N., Al Makky, A., Baroutaji, A., Carton, J. G. & Olabi, A. G. (2017). Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40), 25695–25734. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.054>.

Zajko, M. (2022). Artificial intelligence, algorithms, and social inequality: Sociological contributions to contemporary debates. *Sociology Compass*, 16(3), e12962. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/soc4.12962>.