

# Transición a la electromovilidad mediante un modelo *input-output*: metodología y evaluación de escenarios

*Yolanda Bravo, Rosa Duarte y Cristina Sarasa\**

## Resumen

La electrificación del sistema de propulsión de los vehículos forma parte de la estrategia global de descarbonización. En particular, la Comisión Europea ha establecido ambiciosos objetivos en cuanto al transporte para las próximas décadas. Esta transición hacia la electromovilidad implica cambios en el sistema productivo que conllevan impactos económicos, sociales y medioambientales que han de ser evaluados con el fin de establecer las políticas adecuadas. Estos impactos pueden ser evaluados a través de un modelo multisectorial y multirregional *input-output*, que vincula la producción y demanda de los bienes y servicios. Este trabajo estudia cómo pueden implementarse estos cambios y reflexiona sobre el análisis posterior a la aplicación del modelo. El análisis se centra en el caso de estudio de la industria española en un marco multirregional, teniendo en cuenta su relación con Europa y el resto del mundo.

Palabras clave: vehículos eléctricos, electromovilidad, *input-output*.

## 1. INTRODUCCIÓN

La neutralidad climática en 2050 es un objetivo clave para la Unión Europea, para lo que Europa necesita transformar su sistema energético, ya que es el responsable del 75 % de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea (UE). La estrategia para conseguirlo se establece en base a tres pilares: eficiencia energética, electrificación para los sectores de uso final (transporte, industria, comercial y residencial) y utilización de combustibles de huella de carbono neta cero en los casos donde la electrificación no es posible. En el caso del sector transporte, esta estrategia tiene como un elemento clave la generalización del vehículo eléctrico. El objetivo a

---

\* Departamento de Análisis Económico. Facultad de Economía y Empresa de la Universidad de Zaragoza.

2050 es ambicioso, ya que supone una reducción del 90 % de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto representa una disrupción en el sector de automoción, que está además inmerso en otros cambios importantes como la conectividad, la conducción autónoma y la movilidad compartida. Europa ha reforzado este compromiso en el Pacto Verde Europeo (EU Green Deal) (COM/2019/640), destacando la importancia de una recuperación económica más ecológica, digital y resiliente, que debe además equilibrarse en términos sociales, tal como se establece en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

La introducción de sistemas de propulsión eléctricos en sustitución de los tradicionales motores de combustión es, en general, positiva para los indicadores medioambientales. La electrificación en diferentes grados (desde las motorizaciones híbridas hasta las completamente eléctricas) disminuye las emisiones directas de operación, y además mejora el impacto medioambiental global. La diferencia es especialmente significativa en el caso de que la electricidad utilizada en la carga del vehículo se obtenga a partir de fuentes con bajo impacto medioambiental, como las renovables. Además del impacto global, es decir, a través de toda la cadena productiva, las emisiones directas del vehículo tienen efecto en la calidad del aire de las ciudades, con los consecuentes impactos en la salud de sus habitantes. Por este motivo, están apareciendo progresivamente prohibiciones locales y regionales en la circulación de vehículos de combustión, lo que conlleva una aceleración en el reemplazo de estos.

Hay que notar que el impacto de la transición a la electromovilidad debe considerar también la demanda de vehículos en el futuro, la cual vendrá condicionada por las tendencias nuevas en cuanto a organización social (movilidad compartida, trabajo remoto, desplazamiento a zonas rurales) que deben considerarse en el análisis (Turienzo, Cabanelas y Lampón, 2022; Wöhner, 2022).

Desde el punto de vista de la producción, la industria de automoción está realizando un incremento relevante en inversiones para esta transición. Los nuevos componentes eléctricos del sistema de propulsión y las baterías representan la mayor parte de esta inversión desde 2010, seguida de otros avances como la conectividad y la conducción autónoma (McKinsey, 2019). A la industria de automoción tradicional se han unido compañías ya existentes, especialistas en sectores afines a la transición, pero no pre-

viamente relacionadas con la automoción, y otras de nueva creación que añaden un alto nivel de innovación. En la industria tradicional, la cadena de suministro está muy globalizada, con una cantidad considerable de productos genéricos que son producidos en regiones menos avanzadas tecnológicamente tras externalizarse su producción desde países occidentales (tales como la fundición) debido a los costes e impactos medioambientales asociados a su producción. Por otra parte, en los vehículos eléctricos se utilizan nuevos componentes eléctricos y electrónicos que deben ser importados a Europa desde países asiáticos, ya que estos países ostentan el liderazgo de desarrollo e innovación (tal como las baterías). Así, se espera un impacto significativo global en la cadena de suministro del sector de automoción (PwC, 2019).

En España, la industria de la automoción supone el 7,7 % del producto interior bruto (PIB) por aportación directa a la producción de automóviles y componentes (ANFAC, 2021). Este porcentaje asciende al 10 % del PIB si se incluyen los sectores indirectos. España es el noveno productor de vehículos del mundo y el segundo de Europa (después de Alemania). El sector de la automoción supone el 9 % del empleo sobre el total de la población activa. Además, la producción de vehículos y componentes representa el 19 % del total de las exportaciones españolas. Un número significativo de empresas del sector son grandes empresas multinacionales con fábricas ubicadas en España, donde la producción es la actividad principal y con una menor implicación en áreas de desarrollo e investigación.

El reto de la descarbonización de la movilidad en España se ha apoyado en varias regulaciones y políticas, alineadas con los objetivos de la Comunidad Europea para el transporte y el desarrollo sostenible. En cuanto a las políticas públicas, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima de España (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, PNIEC 2021-2030) establece el objetivo de cinco millones de vehículos eléctricos en 2030 (tres millones de turismos y dos millones de motocicletas, vehículos comerciales ligeros y autobuses). Desde el punto de vista operativo, se introducen distintos incentivos para la promoción de estos vehículos, junto con sanciones crecientes para los vehículos con motores de combustión (sanciones fiscales o restricciones de circulación). El PNIEC está incluido en la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050) y está en línea con la comunicación de

la Comisión Europea al Parlamento Europeo de diciembre de 2020 (*Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future*<sup>1</sup>).

El cambio tecnológico implica una modificación en la cadena de suministro y transferencia productiva entre industrias. Por un lado, la industria de la automoción actual debe estar preparada para el desarrollo y producción de nuevos componentes. Por otro lado, otras industrias no tradicionales al sector de automoción pueden introducirse con productos específicos para la electromovilidad. Hay también nuevas compañías y empresas emergentes que pueden ofrecer productos avanzados para vehículos eléctricos. Las políticas deben tener en cuenta la provisión de apoyo a las empresas y a todo el sector involucrado en esta transición. Además, se debe considerar el balance entre exportaciones e importaciones, para que la transición no lleve a un balance desfavorable con exceso de importaciones por el cambio de tecnología.

En este contexto, este trabajo analiza cómo implementar el impacto del cambio tecnológico y de demanda asociado a los vehículos eléctricos en la cadena productiva, en indicadores ambientales, económicos y sociales. Para considerar las relaciones entre sectores a lo largo de la cadena de suministro completa de la industria automotriz, los efectos indirectos y los impactos directos e indirectos totales, se propone un modelo *input-output* multisectorial y multirregional (*Multi-sectorial and MultiRegional Input Output-MRIO*). El uso de este modelo permitiría implementar cambios en la interrelación entre industrias que representan un cambio tecnológico en las cadenas de producción y suministro. Al mismo tiempo, la demanda puede modificarse para representar el impacto de la introducción de una nueva tecnología. El modelo se puede extender para calcular la huella ecológica con indicadores medioambientales.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En la literatura, aunque no demasiado extensa, existen algunos trabajos que han utilizado el modelo MRIO para la evaluación de la transición a la electromovilidad en diferentes

---

<sup>1</sup> Este último establece el objetivo de reducción del 90 % en las emisiones del sector transporte para 2050 con casi todos los automóviles, furgonetas, autobuses y vehículos pesados con cero emisiones. Una evaluación intermedia de esta estrategia cifra la cantidad de vehículos de emisión cero en, al menos, 30 millones para 2030 en las carreteras europeas.

regiones. Sen y otros (2018) utilizaron el modelo con una extensión del modelo ACV para calcular la huella material para evaluar la dependencia material de EE. UU. con respecto a otros países. Para ese indicador, la fase de fabricación es dominante y la carga principal es la batería (65 % de los impactos directos). Onat y otros (2014) también aplicaron MRIO y ACV combinados previamente. Descubrieron que la fase de fabricación es la más relevante para los impactos socioeconómicos, mientras que la operación es la fase dominante para los problemas ambientales. En este estudio, los vehículos eléctricos muestran una clara mejora en los costes de emisión y el impacto en la salud humana. El estudio muestra un aumento en los ingresos de los trabajadores de baja y mediana calificación en los EE. UU., siendo la relación entre las emisiones de gases de efecto invernadero y el PIB la más baja en comparación con otras industrias. La combinación de MRIO y ACV también se ha utilizado para evaluar los impactos económicos y ambientales de la propia batería (Sanfélix y otros, 2016), estableciendo la fabricación en Bélgica e incluyendo datos comerciales de 40 países. Esto muestra la relevancia de algunos países en el desempeño ambiental demostrando la importancia de los efectos indirectos. Shibusawa y Miyata (2017) aplicaron modelos *input-output* nacionales y multirregionales para Japón. Las conclusiones muestran que los vehículos eléctricos híbridos producen efectos positivos desde una perspectiva macroeconómica, mientras que los turismos eléctricos puros tienen efectos negativos. Este efecto negativo es mayor para las zonas con industrias centradas en sectores más tradicionales dentro de la automoción, que deberían, por tanto, cambiar su estructura productiva. Leurent y Windisch (2015) utilizaron el MRIO para el análisis del impacto sobre las finanzas públicas en Francia, mostrando que la ubicación de la producción de vehículos eléctricos y componentes será muy relevante (si los vehículos eléctricos se producen en el país y no se importan, principalmente si reemplazan vehículo doméstico con motor de combustión). Concluyen que el bono de incentivo para la compra de EV se justifica principalmente por la independencia energética, la industria nacional y la calidad ambiental. Para un estudio en Rusia (Kolpakov y Galinger, 2020), la mayor proporción de vehículos eléctricos conduce al empeoramiento de los indicadores macroeconómicos debido a la necesidad crítica de importaciones adicionales y la escasez de venta de gas natural o carbón. Esta metodología también se utiliza para evaluar economías interdependientes, como China y Japón (Shibusawa y Xu, 2013). Japón depende en gran medida de la industria de automoción y China se expande rápidamente en el sector de los vehículos eléctricos. En este contexto, se utiliza el

análisis *input-output* que muestra un beneficio para China debido a la expansión del comercio entre las regiones, a pesar de que el coche eléctrico puro tiene un impacto negativo en la economía china. El estudio tiene como objetivo examinar cómo se puede construir mejor la relación de convivencia competitiva.

Según el conocimiento de los autores, el análisis MRIO no se ha utilizado para España en relación con la electrificación de los sistemas de propulsión. Así, el trabajo pretende plantear la metodología para la posterior evaluación de los efectos específicos sobre la economía, incluyendo la relación con Europa y el resto del mundo, y los efectos sociales, principalmente para el empleo. El uso del modelo extendido con datos medioambientales también permite calcular el cambio de emisiones de CO<sub>2</sub> debido al cambio en los factores de producción.

### 3. METODOLOGÍA Y DATOS

El propósito fundamental del análisis *input-output* es el estudio de la interdependencia entre industrias y regiones (Miller y Blair, 2009). La elección del modelo tiene una especial relevancia, ya que las elecciones metodológicas influyen en los resultados de la evaluación (Font Vivanco, Tukker y Kemp, 2016).

El punto de partida del análisis es la representación de una economía global cerrada con un número de industrias ( $n$ ) y de regiones o países ( $m$ ). A continuación, se presentan las ecuaciones que intervienen en el modelo, con diferentes variables:  $x$  es la producción total y  $x^r$  la producción generada en la región  $r$ ;  $Z$  es la matriz de tamaño  $mn \times mn$ , que representa los flujos intermedios multirregionales (cuyos términos se representan como  $Z_{ij}^n$ ). El vector  $y$ , de dimensión  $mn \times 1$ , representa la demanda final de las distintas regiones, donde cada elemento  $y^r$  representa la demanda en el país  $r$ . Denotamos por  $i$  el vector unitario  $mn \times 1$ .

La ecuación de equilibrio de una economía multisectorial y multirregional puede escribirse como:

$$x=Zi+y \quad [1]$$

donde se expresa la producción total de cada sector y región de la economía como suma de la producción de *inputs* intermedios más bienes finales. El modelo de Leontief

nos permite ahondar en las características tecnológicas que subyacen a esta representación de la economía. En concreto, si denotamos por  $A$  la matriz de coeficientes técnicos, donde cada elemento  $a_{ij}^{rs} = Z_{ij}^{rs}/x_j^s$  representa la cantidad de bien  $i$  con origen en la región  $r$  que es utilizado para la producción del bien  $j$  en la región  $s$ , por unidad de producción del bien  $j$  en el país  $s$ , podemos mostrar la tecnología de producción de cada producto, y su relación con la producción total de la economía como:

$$x = Ax + y \quad [2]$$

En base a esta relación, podemos igualmente relacionar la producción total de la economía con la demanda final de cada bien y servicio, usando para ello la así llamada matriz inversa de Leontief,  $L$ , tal como se presenta a continuación.

$$x = (I - A)^{-1} y = y + Ay + A^2 y + A^3 y + A^4 y + \dots + A^m y \longrightarrow x = Ly \quad [3]$$

Tal como puede observarse, el elemento representativo de la matriz  $L$ ,  $l_{ij}^{rs}$  representa la producción generada en cada sector  $i$  de la región  $r$  que directa e indirectamente termina en una unidad la demanda final del sector  $j$  en la región  $s$ . Así, los elementos de esta matriz  $L$  representan la producción asociada a todos los flujos económicos que unen los sectores  $i$  y  $j$ , y las regiones  $r$  y  $s$  a través de las cadenas de suministro globales.

En consecuencia, la matriz inversa de Leontief  $L$  es la herramienta que une la demanda final de regiones y agentes (consumo privado y público, inversiones, exportaciones) con la producción total de la economía a través de las cadenas globales de suministro. Así, en el análisis *input-output* multisectorial y multirregional quedan totalmente conectadas producción, tecnología y demanda final.

El modelo económico presentado puede extenderse también para capturar los *inputs*, recursos e impactos medioambientales ligados a la producción en cada región y sector (Wiedmann y otros, 2007 y 2013). Para el caso en el que representamos unos *inputs* primarios o utilización de recursos (por ejemplo trabajo, valor añadido, energía, agua, emisiones de CO<sub>2</sub>, ...) como  $W$ , siendo un vector de dimensión  $1 \times mn$ , el vector de intensidad de consumo de recursos vendría representado como  $w$ , donde  $w_j^r = W_j^r/x_j^r$ ,

es el uso de recurso en el sector  $j$  y país o región  $r$  por unidad de producción de dicho sector y país / región.

Haciendo uso de la ecuación anterior [3], podemos calcular los recursos directa e indirectamente implicados en las cadenas productivas globales ligadas a una demanda final  $y$ , como:

$$\varepsilon = \hat{w}L\hat{y} \quad [4]$$

Cada elemento de la matriz  $\varepsilon$ , de dimensión  $m \times n \times m \times n$ , es decir,  $\varepsilon_{ij}^{rs} = w_i^r \cdot L_{ij}^{rs} \cdot y_j^s$  muestra el recurso utilizado en el país  $r$  y sector  $i$  necesario para producir los insumos que directa e indirectamente están asociados a la demanda final del sector  $j$  en el país  $s$ . Puede comprobarse que la suma de los elementos en la fila captura la utilización total del recurso en el sector  $i$  y el país o región  $r$ , mientras que la suma de los elementos en una columna representa los recursos usados en todos los sectores y regiones de la economía global para la producción de los *inputs* que se utilizan en la demanda final asociada. Así, las columnas de esta matriz aportan información detallada sobre el origen y distribución de todos los recursos implicados de forma directa e indirecta en la cadena productiva global del producto  $j$  consumido en el país o región  $s$ .

Desde el punto de vista empírico, la elaboración de los indicadores anteriores es muy intensiva en términos de información, con el fin de ofrecer una buena imagen de las cadenas productivas, que sirva para la evaluación de tendencias y escenarios futuros. Una base de datos especialmente interesante para el tema que nos ocupa es la ofrecida por EXIOBASE (Stadler y otros, 2018). Esta base de datos proporciona una serie temporal de matrices *input-output* multirregionales con extensión medioambiental desde 1995 hasta 2016, incluidos 44 países (28 países de la UE y otras 16 economías importantes).

El escenario base puede agruparse en 129 sectores para tres regiones: España, resto de UE 28 incluyendo a Reino Unido, y el resto del mundo para el año 2016. La base de datos EXIOBASE presenta un número detallado de sectores y extensiones ambientales, por lo que permite analizar los sectores correspondientes a la cadena productiva de interés. En particular, para el estudio de la implementación de la electromovilidad se propone la agregación de sectores según las cadenas productivas y empresariales más relevantes para la movilidad. De 129 sectores, el proceso de agregación puede agru-



parse en 57 sectores. Se ha prestado especial atención a 15 sectores que muestran una contribución para el sector de interés (“Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques”) superior al 1 % en la economía española y los otros 42 se consideran por su potencial relevancia en el análisis.

La base de datos MRIO proporciona información sobre las ventas intermedias entre industrias para las tres regiones consideradas junto con la demanda final y los *inputs* intermedios primarios. Las extensiones de la base de datos aportan información sobre la composición del valor agregado, el empleo y los valores ambientales, como emisiones por sector, uso de energía y consumo de agua por sector.

#### 4. CAMBIO TECNOLÓGICO ASOCIADO A LA ELECTROMOVILIDAD

De acuerdo a este modelo, se pueden simular diferentes escenarios con el objetivo de analizar impactos del cambio tecnológico asociado a la transición a la electromovilidad, así como de los cambios en la demanda de los agentes que afectará a los suministros, producción e *inputs* primarios utilizados en toda la economía.

En concreto, dos cambios principales pueden ser implementados: uno relacionado con el cambio tecnológico en la producción de vehículos, y otro asociado a la modificación de la demanda de los agentes de la economía. El estudio de ambos cambios combinados puede ser interesante debido a la creciente presencia de vehículos eléctricos. En cuanto a la variación de la demanda, vendrá principalmente por un aumento de la electricidad y una disminución de los combustibles tradicionales. Además, el abastecimiento eléctrico está teniendo una rápida evolución hacia las energías renovables, por lo que el *mix* energético es un factor a tener en cuenta en esta evolución de la demanda. A pesar de que el principal interés de este trabajo es España, el modelo es global y también se tiene en cuenta la evolución de Europa y el resto del mundo debido a la alta interdependencia de las regiones.

Los escenarios presentados a continuación son el resultado de una investigación para definir los parámetros a modificar en el modelo *input-output*:

- El cambio tecnológico se representa por la diferencia en los elementos que conforman principalmente el sistema de propulsión. Se pasa de tener un motor de combustión interna a una batería, un motor eléctrico y otros componentes electrónicos necesarios

para la gestión del vehículo eléctrico. Este cambio en la tecnología se modela en la matriz de coeficientes técnicos  $A$  (ecuación 1) aumentando el peso de los componentes de insumos eléctricos y disminuyendo el peso de los componentes tradicionales de la industria de vehículos a motor, siguiendo el trabajo de Bauer y otros (2018). En concreto, el coeficiente de entrada para componentes eléctricos aumenta en 2,6 % y el de los componentes tradicionales disminuye en -2,6 % en 2030 (Ulrich y Lehr, 2020). Este cambio se considera para todas las regiones consideradas en el estudio. La referencia utilizada de donde se extraen estas proporciones establece un valor para el año 2030 en base a la fabricación de vehículos proyectada para ese año, así que es necesario analizar la evolución del parque automovilístico para establecer el horizonte a 2050. Por tanto, este cambio se introduce como modificaciones en base a la matriz  $A$  calculada para el caso de origen, de forma que dan lugar a un diferencial  $\Delta A_{ij}^{rs}$  en función de la evolución temporal asociada.

- Se estudia el impacto de los cambios en la demanda final en función del aumento de la electricidad y la disminución del consumo de combustibles fósiles. Los cambios en la demanda de electricidad y el consumo de combustibles fósiles se han tomado de la literatura previa (Agencia Internacional de Energía, 2020). En concreto, para el cambio en la demanda, éste puede realizarse como una modificación del vector  $y$ , es decir,  $\Delta y_i^r$  ligado a las elecciones hechas por los agentes y asociadas a la progresión de las opciones de movilidad. En el caso de la electromovilidad, los cambios tecnológicos implican una variación de los bienes intermedios utilizados en la fabricación de los vehículos (Ulrich y Lehr, 2016), y además se produce un impacto en el consumo final en los sectores asociados a la movilidad (principalmente combustibles y sector eléctrico).
- Cambio simultáneo de matriz de coeficientes técnicos y demanda final.

Un punto crucial en el análisis son las predicciones en coeficientes técnicos y en demanda final para el período estudiado. Estos se encuentran en la literatura para el año 2030 (como se detalla a continuación). Pero este no es el caso para 2050. Por lo tanto, es necesario extender estos cambios hasta 2050 en los diferentes escenarios. La ampliación se realiza en función de la evolución de la cuota de mercado de los vehículos eléctricos. Para España, la evolución de la cuota de mercado de los VE se calcula con una herramienta diseñada específicamente por el OVEMS (Observatorio del Vehículo

Eléctrico y Movilidad Sostenible) de la Universidad de Comillas (Universidad Pontificia de Comillas) (Frías y otros, 2019). Una de las entradas principales es la cantidad de kilometraje anual en el país. Puede considerarse constante para todo el parque automovilístico o puede aumentar o disminuir en función de la evolución social (concentración de las grandes ciudades, trabajo en remoto, ...). Otro dato relevante es el porcentaje de participación de los diferentes sistemas de propulsión para 2050 que debería basarse en factores políticos. El modelo tiene en cuenta la estructura de nuevas altas y bajas de vehículos, la aceptación en el mercado de los vehículos eléctricos, un índice de renovación de flota y el efecto de la antigüedad. La herramienta calcula la cantidad de turismos por tren motriz en función de la flota existente (alrededor de 25 millones en 2019), y el consumo total y las emisiones de esta flota. El objetivo del 90 % de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> podría alcanzarse para 2050 mediante una fuerte electrificación de la flota (Krause y otros, 2020). Este escenario conduce a una composición de flota para 2050 para vehículos de pasajeros de la siguiente manera: 92,5 % para BEV y 7,5 % para PHEV (datos calculados a partir de Krause y otros, 2020, considerando que el 85 % de los automóviles de pasajeros son automóviles pequeños y medianos, de los cuales el 100 % son BEV) y el resto de los turismos grandes y SUV con un 50 % de BEV y PHEV. Si estos datos se incluyen en el modelo, considerando el kilometraje anual constante para toda la flota y la flota de automóviles existente, la evolución resulta en la figura 1.

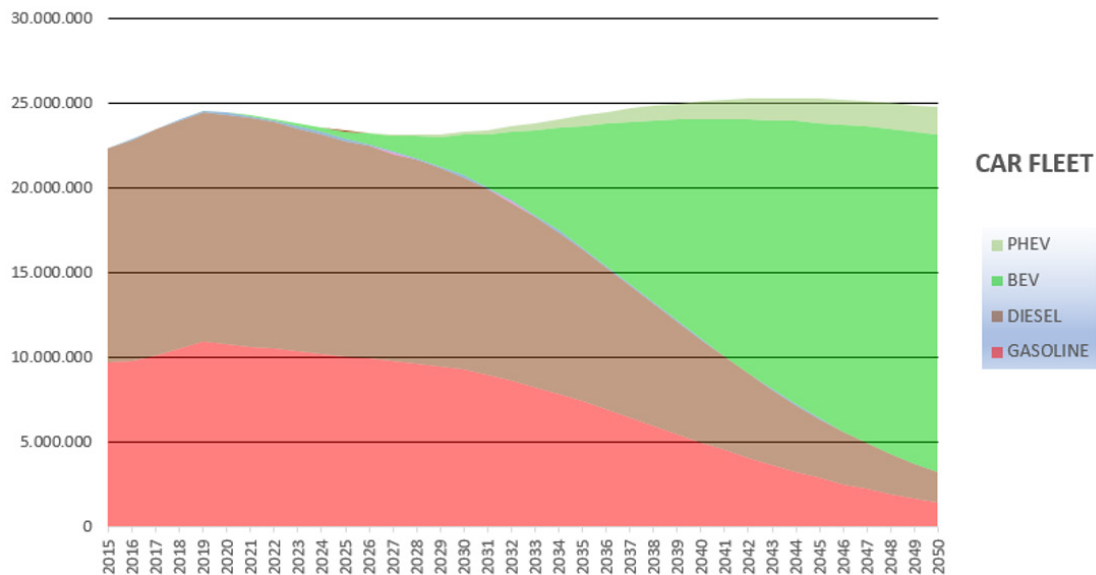
Como se introdujo anteriormente, hay cambios en los coeficientes técnicos y en la demanda. En este contexto, se puede asumir que el cambio en los coeficientes técnicos de 2016 a 2030 corresponde a un cambio en la participación de la flota de automóviles de 0,24 a 10,76 %. En 2050, la participación de la flota de automóviles para sistemas de propulsión electrificados es del 80,42 %. Si asumimos una analogía con la producción (productos de automóviles nuevos y repuestos), el desplazamiento de los coeficientes técnicos pasaría del 2,6 % (aumento y disminución en las categorías correspondientes) al 19,8 %. Los coeficientes técnicos se han modificado en los mismos valores para todas las regiones, ya que la producción y venta de vehículos está muy globalizada.

En cuanto a la demanda del *mix* eléctrico, se ha considerado el cambio solo para 2050, ya que a partir de la información existente el cambio asociado a la introducción de vehículos eléctricos para 2030 no es significativo y podría compensarse con mejoras

Figura 1

## Número de vehículos por sistema de propulsión / evolución hasta 2050

(Cálculo con herramienta OVEMS)



de eficiencia energética (International Energy Agency, 2020). Para 2050 se espera un cambio significativo debido al aumento de la electromovilidad. Las categorías que se consideran modificadas son: producción de electricidad (por carbón, gas, nuclear, hidráulica, eólica y biomasa y residuos), transmisión, distribución y comercialización de electricidad. En este caso, se han tomado consideraciones diferentes para Europa y el resto del mundo, ya que esta demanda está directamente relacionada con el uso de vehículos eléctricos. Con base en datos para 2016 y 2030, y tomando la misma pendiente para la introducción de vehículos eléctricos, la participación de sistemas de propulsión electrificados en el resto del mundo resulta en un valor de aproximadamente 35 % para 2050. Este valor parece consistente si el resto del mundo se toma en su conjunto, a pesar de que habrá diferencias muy altas entre países (China podría alcanzar un nivel igual o incluso superior a Europa mientras que otros grandes países como India, Brasil y Rusia alcanzarían valores significativamente inferiores). En ese punto, es significativamente relevante el *mix* energético considerado (principalmente el peso de las fuentes renovables frente a las no renovables a efectos ambientales). Esto se considera para variaciones en el escenario de modificación de la demanda.

A partir de la información disponible sobre el porcentaje de consumo de electricidad atribuible a los vehículos eléctricos por región y escenario (Agencia Internacional de la Energía, 2020), se considera un valor medio entre los valores de las políticas establecidas y el escenario de desarrollo sostenible. Considerando la evolución del parque automovilístico para España (y asumiendo la misma evolución para Europa), la cuota de consumo eléctrico se extrapola al escenario 2050, y se considera como el incremento de la demanda eléctrica. El resto del mundo, aparte de Europa, se ha considerado como un todo (aunque habrá diferencias significativas entre países y regiones), y se ha tomado un valor medio para la extrapolación al consumo eléctrico de 2050. Así, se obtiene que la demanda eléctrica aumentará un 37,12 % en España y Europa, y un 16,74 % en el resto del mundo asociada al vehículo eléctrico. El valor para las regiones occidentales está alineado con las predicciones en diferentes referencias (McKinsey, 2018; Mai y otros, 2018).

El caso base se refiere a un aumento en la demanda de electricidad similar para todas las fuentes de producción. Para España y Europa, es razonable considerar que todo el aumento de la demanda eléctrica de la flota de vehículos eléctricos se cubre con producción renovable. Se ha considerado para una evaluación adicional que todo este incremento sea con renovables de baja intensidad de emisiones (dejando por tanto de lado el uso de biomasa). En el caso de la tabla MRIO utilizada, corresponde a fuentes de producción eólica e hidráulica. Como para el resto del mundo no existen objetivos sostenibles comunes, el incremento de la demanda eléctrica se ha repartido proporcionalmente en todos los conceptos. Una evaluación adicional considera incluir objetivos de sostenibilidad similares para todos los países.

El desplazamiento de combustibles para la flota de vehículos eléctricos se traduce para la definición de escenarios con una modificación en la demanda en 2050 de diferentes sectores: fabricación de gasolina para motores, fabricación de gasóleo, el agregado de otros combustibles y venta minorista de combustible para automóviles. Se considera que la fabricación de gasolina de motor es exclusiva para el consumo de vehículos, con una reducción del 80 % para Europa (incluida España) y del 50 % para el resto del mundo (Agencia Internacional de la Energía, octubre de 2020). La definición de escenarios es un tema clave para la interpretación posterior de los resultados. Para la construcción de estos escenarios es posible evaluar tendencias generales, junto con cambios tecnológicos específicos y modificaciones de la demanda (Faber y otros, 2006). En este

caso, los cambios tecnológicos se realizan mediante ajuste de coeficientes (variación de insumos para la industria automotriz), pero sin modificaciones de capital, mano de obra y emisiones por sector. Los modelos pretenden representar exclusivamente los cambios debidos a la industria automotriz, por lo que no se toman en cuenta consideraciones adicionales. En cuanto a la demanda, representa la modificación en la demanda final por parte de organismos, gobierno y hogares usuarios de vehículos eléctricos. El uso de vehículos eléctricos en lugar de vehículos de combustión interna radica básicamente en el consumo de electricidad y combustibles.

Con el fin de verificar el funcionamiento del modelo, se ha realizado una primera evaluación de impacto en valores de producción a nivel de España. El objetivo es comparar la diferencia entre la evolución a 2030 y 2050, de forma que se valide que un cambio significativo en la tecnología se corresponde con una variación en los sectores objetivo de estudio. En particular sobre el sector tradicional de automoción y el sector eléctrico, donde se ha asignado el cambio tecnológico de los vehículos comercializados. En esta primera evaluación se han obtenido los valores presentados en el cuadro 1.

Cuadro 1

### Impacto en % en la producción del cambio tecnológico en los sectores automoción y eléctrico en España (variación a 2030 y 2050)

	Sector automoción - España	Sector componentes eléctricos - España
Cambio tecnológico 2030	-0,38	0,76
Cambio tecnológico 2050	-6,08	1,47

En esta primera evaluación, se puede observar que los signos son los esperados, dada una transferencia de producción de un sector a otro, ya que en la fabricación de automóviles desplaza uno de los sectores (el tradicional de automoción) por otro. Es significativa la diferencia entre los horizontes temporales analizados. Y es también relevante que el sector con una influencia más clara es el tradicional de automoción, ya que este sector es entrada fundamentalmente para la fabricación de automóviles, contemplada en el mismo sector. Una disminución de la producción en un 6 % tendrá unas implicaciones sociales en términos de empleo a considerar. En cambio, la afectación positiva en el sector de componentes eléctricos, además de positiva no es tan alta, ya que es un sector más diversificado. Este resultado, realizado como verificación, apunta a la importancia

de búsqueda de nuevos mercados para los sectores que puedan estar más afectados. En todo caso, se realizará un estudio más detallado una vez que se ha comprobado el funcionamiento correcto del modelo, con el fin de analizar implicaciones en otros sectores, en la producción global y la relación con otras regiones.

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta la aplicabilidad del modelo *input-output* para analizar el impacto de la introducción de la movilidad eléctrica en dos marcos temporales de gran relevancia, 2030 como primer objetivo de evaluación y 2050 como año de predominancia absoluta de la electromovilidad. Esta técnica permite evaluar el impacto en todos los sectores de la economía, así como en los aspectos sociales y medioambientales más relevantes. La mayor parte de los estudios de impacto de la electromovilidad realizan una evaluación parcial, calculando el impacto en el sector propio de automoción y/o referida a la propia operación del vehículo. El modelo *input-output* ha sido utilizado en estas regiones, y es interesante su aplicación a España, siendo éste un país referente en la fabricación de automóviles a nivel mundial. Por lo tanto, es interesante evaluar el impacto en cuanto a la actividad productiva general y otros indicadores asociados.

En este estudio se plantea la metodología a utilizar y se identifican los cambios necesarios a aplicar en el modelo dado un cambio en el sistema de propulsión del vehículo. Un aspecto importante para la evaluación es la definición de escenarios, así como los horizontes temporales que se tienen en cuenta. Es especialmente relevante cuando se pretende realizar evaluación de impacto a largo plazo, ya que se necesita calcular la evolución de la tecnología para su implementación. En este sentido, el trabajo recoge cómo evolucionan por una parte los cambios en la producción y por otra parte los cambios en la demanda. Incluye el estudio de distintas fuentes de información, así como la aplicación de una herramienta específica de cálculo del parque automovilístico.

La aplicación de estos escenarios definidos al modelo *input-output* en un paso siguiente permitirá el cálculo de la variación en la producción de los sectores considerados para las tres regiones (como se ha mostrado anteriormente para España). De igual forma, se podrán calcular agregados para evaluar el impacto sobre la economía de estas regiones. La utilización de un modelo extendido permite también el cálculo de cambio en

indicadores sociales, como el nivel de empleo. Para este nivel de empleo, considerando la matriz extendida con los datos correspondientes se podrá calcular el impacto para diferentes niveles de trabajadores, y la renta percibida. La extensión medioambiental permite también el cálculo del impacto en emisiones y otros factores asociados al cambio productivo. Hay que señalar que el análisis *input-output* se debe completar en este respecto con las emisiones de operación que no están incluidas en el mismo.

Los siguientes pasos del trabajo consistirán en el análisis de resultados después de la aplicación, poniendo especial énfasis en la interpretación de las implicaciones económicas, sociales y medioambientales. Se prevé también plantear una relajación en la rigidez del modelo pasando a un modelo de equilibrio general que permita modelizar la economía completa junto con el comportamiento de consumidores y otros agentes.

## REFERENCIAS

ANFAC (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AUTOMÓVILES Y CAMIONES). Informe anual 2021.

BAUER, W., RIEDEL, O., HERRMANN, F., BORRMANN, D. y SACHS, C. (2018). ELAB 2.0 The Effects of Vehicle Electrification on Employment in Germany. 2018. Fraunhofer IAO.

COM/2019/640 – The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

FABER, A., IDENBURG, A. M. y WILTING, H. C. (2006). Exploring techno-economic scenarios in an input–output model. *Futures*, 39 (2007), pp. 16–37. DOI: 10.1016/j.futures.2006.03.011

FONT VIVANCO, D., TUKKER, A. y KEMP, R. (2016). Do Methodological Choices in Environmental Modelling Bias Rebound Effects? A Case Study on Electric Cars. 2020. *Environmental Science and Technology*, 50, pp. 11366-11376. DOI: 10.1021/acs.est.6b01871.



FRÍAS, P. y ROMÁN, J. (2019). Vehículo Eléctrico: situación actual y perspectivas futuras. *Economía industrial*, 411. ISSN 0422-2784.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2020). *Global EV Outlook 2020*, July.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2020). *World Energy Outlook 2020*, October.

KOLPAKOV, A. Y. y GALINGER, A. A. (2020). Economic Efficiency of the Spread of Electric Vehicles and Renewable Energy Sources in Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2020, 90(1), pp. 25–35. ISSN 1019-3316. DOI: 10.1134/S1019331620010165.

KRAUSE, J., THIEL, C., TSOKOLIS, D., SAMARAS, Z., ROTA, C., WARD, A., PRENNINGER, P., COOSEMANS, T., NEUGEBAUER, S. y VERHOEVE, W. (2020). EU road vehicle energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions by 2050 – Expert-based scenarios. *Energy Policy*, 138, 111224. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111224.

LEURENT, F. y WINDISCH, E. (2015). Benefits and costs of electric vehicles for the public finances: An integrated valuation model based on input-output analysis, with application to France. *Research in Transportation Economics*, 50, pp. 51-62. DOI: 10.1016/j.retrec.2015.06.006.

MAI, T., JADUN, P., LOGAN, J., McMILLAN, C., MURATORI, M., STEINBERG, D., VIMMERSTEDT, L., JONES, R., HALEY, B. y NELSON, B. (2018). Electrification Futures Study: Scenarios of Electric Technology Adoption and Power Consumption for the United States. National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-71500.

MCKINSEY & COMPANY (2018). The potential impact of electric vehicles on global energy systems.

MCKINSEY & COMPANY (2019). The future of mobility is at our doorstep. McKinsey Center for Future Mobility.

MILLER, R. E. y BLAIR, P. D. (2009). *Input-Output Analysis. Foundations and Extensions*. Cambridge University Press. 2<sup>nd</sup> Edition. ISBN: 9780521517133.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2020a) Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050. November 2020.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2020b). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, 2021-2030.

ONAT, N. C., KUCUKVAR, M. y TATARI, O. (2014). Towards Life Cycle Sustainability Assessment of Alternative Passenger Vehicles. University of Central Florida. Faculty Bibliography 2010s. 5090. <https://stars.library.ucf.edu/facultybib2010/5909>

PwC (2019). Merge ahead: Electric vehicles and the impact on the automotive supply chain.

SANFÉLIX, J., DE LA RÚA, C., SCHMIDT, J. H., MESSAGIE, M. y van MIERLO, J. (2016). Environmental and Economic Performance of an Li-Ion Battery Pack: A Multiregional Input-Output Approach. 2016. *Energies*, 9, 584. DOI: 10.3390/en9080584.

SEN, B., ONAT, N. C., KUCUKVAR, M. y TATARI, O. (2019). Material footprint of electric vehicles: A multiregional life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 209, pp. 1033-1043. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.309.

SHIBUSAWA, H. y MIYATA, Y. (2017). Evaluating the Economic Impacts of Hybrid and Electric Vehicles on Japan's Regional Economy: Input-Output Model Approach. *Book: Socioeconomic Environmental Policies and Evaluations in Regional Science*. DOI: 10.1007/978-981-10-0099-7\_33.

SHIBUSAWA, H. y XU, Z. (2013). Economic Impacts of Hybrid and Electric Vehicles in Japan and China: National and Multiregional Input-Output Applications. *Studies in Regional Science*, 43(2), pp. 259-270. DOI: 10.2457/srs.43.259.

STADLER, K., WOOD, R., SIMAS, M., BULAVSKAYA, T., DE KONING, A., KUENEN, J. y ACOSTA-FERNÁNDEZ, J. (2018). EXIOBASE3 – developing a time series of detailed environmentally extended multi-regional input-output tables. *J. Ind. Ecol.*, 22(3), pp. 502–515.

SUSTAINABLE AND SMART MOBILITY STRATEGY – putting European transport on track for the future. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions - December 2020.

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). <https://doi.org/10.1177/21582440211069145>.

ULRICH, P. y LEHR, U. (2016). Economic effects of E-mobility scenarios – Intermediate interrelations and consumption. *Ecomod 2016, International Conference on Economic Modelling*, Lisbon, Portugal.

ULRICH, P. y LEHR, U. (2020). Economic effects of an E-mobility scenario – input structure and energy consumption. *Economic Systems Research*, 32(1), pp. 84-97. DOI: 10.1080/09535314.2019.1619522.

WIEDMANN, T., LENZEN, M., TURNER, K. y BARRETT, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities – Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61(1), pp. 15-26. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.12.003.

WIEDMANN, T., SCHANDL, H., LENZEN, M., MORAN, D., SUH, S. y WEST, J. (2013). The material footprint of nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20). DOI: 10.1073/pnas.1220362110.

WÖHNER, F. (2022). Work flexibly, travel less? The impact of telework and flexitime on mobility behavior in Switzerland. *Journal of Transport Geography*, vol. 102, 103390, ISSN 0966-6923. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103390> .