LX Reunión Anual AAEP

El potencial de la cadena de autos eléctricos en la Argentina

Un análisis de su potencial mediante un modelo CGE

Autor: Gabriel Michelena

Institución: MESi-IIEP-UBA

Fecha: 28 de Agosto de 2025

Palabras clave: Electromovilidad, Cadenas globales de valor, Desarrollo productivo, Argentina, Sustentabilidad

Códigos JEL: F14 (Empirical Studies of Trade), Q55 (Environmental Economics: Technological Innovation), L62 (Automobiles; Other Transport Equipment)

Resumen

El cambio climático constituye uno de los mayores desafíos globales y exige transformaciones profundas en los sectores más intensivos en emisiones. En Argentina, el transporte es el segundo emisor de gases de efecto invernadero (GEI), con aproximadamente 65 MtCO2, lo que plantea una necesidad urgente de alternativas sostenibles. La adopción de vehículos eléctricos aparece como una opción prometedora para contribuir a los compromisos asumidos en el Acuerdo de París, aunque su impacto depende de factores estructurales y de las políticas públicas adoptadas.

Este estudio analiza el potencial de la electromovilidad en Argentina mediante un modelo de equilibrio general computable y una matriz de contabilidad social especialmente ampliada para incorporar la cadena de valor de los EV. Los escenarios simulados muestran que una adopción acelerada de vehículos eléctricos permite reducir emisiones, pero sus beneficios se materializan principalmente en el largo plazo debido al peso inicial del parque automotor a combustión. Incluso en escenarios optimistas hacia 2030, la reducción de GEI es limitada, aunque los impactos se vuelven significativos hacia 2050 si la electrificación se sostiene en el tiempo.

1. Introducción

El mundo se encuentra en una situación crítica en lo que respecta al medio ambiente. Los últimos informes del IPCC (2021) indican que las emisiones de gases de GEI deben reducirse entre un 30 % y un 50 % para evitar un aumento de las temperaturas globales por encima de 1,5°C en las próximas dos décadas. Las consecuencias del cambio climático se manifiestan a través de efectos como el aumento de las olas de calor, la disminución de los niveles de hielo en los polos y el calentamiento de los océanos, lo que provoca una intensificación de los desastres naturales como las inundaciones, las sequías, los huracanes y otros eventos climáticos extremos (IPCC, 2023).

La situación actual del planeta requiere un cambio en la agenda global de desarrollo económico. La firma del Acuerdo de París en 2015, ratificado por 195 países, ha motivado a los gobiernos a implementar transformaciones en las estructuras productivas con el objetivo de contribuir a la reducción de las emisiones de GEI. En este sentido, el objetivo actual es reducir de manera significativa las emisiones para el año 2030 y alcanzar emisiones neutras para el año 2050.

En el contexto actual, los sectores de la energía y el transporte son de suma importancia para el proceso de descarbonización, ya que generan una gran cantidad de emisiones directas de GEI a través del consumo de combustibles fósiles. A nivel mundial, la generación de energía se lleva a cabo predominantemente mediante el uso de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas, representando el 40 % de las emisiones de CO_2. Por su parte, el sector transporte contribuye con el 23 %, parcialmente atribuible al uso de vehículos particulares que dependen de combustibles fósiles (IPCC, 2023).

A nivel global, durante los últimos 20 años, las emisiones del sector de transporte han experimentado un incremento sostenido, con una disminución únicamente en dos años atípicos: el año 2008, durante la crisis financiera internacional, y el año 2020, con la aparición de la pandemia del COVID-19. Durante este período, las emisiones de todo el sector del transporte han experimentado un incremento del

32 %, lo que equivale a un aumento anual del 1,35 % (IEA, 2022).

Con el propósito de mitigar los efectos adversos del cambio climático, los países han comenzado a implementar diversas políticas cuyo objetivo principal es reducir las emisiones en estos dos sectores clave de la economía. En el ámbito energético, una parte significativa de los esfuerzos se centra en el fomento de fuentes renovables no convencionales, como la energía solar y eólica, y en la eliminación progresiva del carbón como insumo en la generación de energía térmica (Chen et al., 2020).

En el caso del sector del transporte, los esfuerzos son más recientes y han comenzado a tomar impulso en los últimos años (IEA, 2021). El nuevo paradigma tecnológico de transformación de la industria automotriz consiste en el desarrollo de vehículos eléctricos que no dependen del consumo de combustibles fósiles para funcionar. De hecho, la cantidad de emisiones de los vehículos eléctricos está principalmente ligada a las emisiones que se liberan en el proceso de generación de electricidad. En consecuencia, la contribución de los EV a la mitigación de los GEI puede variar en función de la composición de la matriz energética de cada país. No obstante, se prevé que, en términos generales, los EV contribuirán progresivamente a la reducción de emisiones, en consonancia con la adopción gradual de fuentes de energía limpias en el sector eléctrico (Karplus et al., 2010).

El mercado mundial de vehículos eléctricos viene creciendo en forma exponencial en los últimos años. En 2022 se vendieron cerca de 10 millones de EV en todo el mundo, lo que representa alrededor del 14 % de las ventas totales de vehículos (IEA, 2022). Para tener una idea de la velocidad a la cual se mueve el mercado de EV, es relevante resaltar que hace 10 años atrás, la participación era cercana al 0,2 %. También es importante señalar que este crecimiento se atribuye principalmente a la dinámica observada en China, Europa y Estados Unidos, que concentran más del 90 % de las ventas totales de EV. No obstante, es relevante destacar que una parte significativa de los insumos primarios necesarios para la industria se generan en diversas regiones del mundo, con una mayor participación de países en desarrollo, donde se extraen minerales como el litio, el cobalto y el níquel.

La literatura existente ha abordado el tema de la adopción de EV desde diferen-

tes perspectivas. A nivel global, Ghandi y Paltsev (2020) evalúan escenarios futuros de adopción de EV, proyectando reducciones importantes en las emisiones bajo un contexto de políticas climáticas estrictas. Karplus et al. (2010), en un estudio pionero, analizan específicamente los vehículos híbridos enchufables utilizando el modelo EPPA del MIT, concluyendo que estos vehículos pueden reducir significativamente las emisiones y la demanda de combustibles fósiles, aunque su adopción depende del costo del vehículo y la intensidad de emisiones en la generación eléctrica. Paltsev et al. (2008) añaden que la disponibilidad de tecnologías bajas en emisiones en el transporte puede mitigar pérdidas económicas derivadas de políticas climáticas.

Desde una perspectiva más regional, Chen y He (2014) aplican un modelo CGE para evaluar cómo la sustitución de vehículos convencionales por EV impacta la calidad del aire en China, demostrando mejoras significativas incluso con una matriz eléctrica intensiva en carbón. Otros estudios han abordado los efectos económicos de políticas específicas, como los subsidios eléctricos analizados por Hirte y Tscharaktschiew (2013), con resultados mixtos sobre PIB y emisiones, mientras que Chen et al. (2021) encuentran resultados más positivos sobre crecimiento y adopción de EV.

En un análisis más cercano a economías emergentes, estudios como los de Karkatsoulis et al. (2017) y Li et al. (2017) destacan la importancia de reducir costos tecnológicos y combinar EV con tecnologías adicionales como la captura y almacenamiento de carbono para maximizar los beneficios. Particularmente en países en desarrollo, Pirmana et al. (2023) en Indonesia y Ramirez (2023) en Argentina muestran efectos positivos en términos de producción, empleo y reducción de emisiones de GEI derivados de fomentar la producción nacional de EV.

El presente trabajo se inserta dentro de esta línea de investigación, aportando un análisis específico del potencial de la cadena de valor de los vehículos eléctricos en Argentina, teniendo en cuenta las oportunidades existentes en términos de producción e inversión, enmarcadas en un proceso de transición energética para alcanzar una matriz ambiental más limpia en términos de emisiones.

Entre los principales aportes, este estudio ofrece evidencia empírica y recomendaciones políticas adaptadas a la realidad económica y ambiental de la Argentina, enriqueciendo así la literatura existente. A diferencia de los estudios citados para países en desarrollo, en este trabajo se utiliza un modelo CGE combinado con una SAM especialmente ampliada para capturar las particularidades del sector de transporte y la electromovilidad.

El estudio se estructura en siete secciones, incluida la presente introducción. En la segunda, se examinan las emisiones y el sector del transporte en Argentina, destacando su relevancia en lo que respecta a las emisiones de gases de efecto invernadero. La tercera sección se centra en el vehículo eléctrico y analiza el mercado mundial y los incentivos económicos para su adopción. En esta sección también se explica cual es la metodología utilizada y cómo se incorpora la cadena de vehículos eléctricos a la SAM. En la sección cuatro se desarrollan los principales supuestos utilizados en los escenarios de simulación. La quinta sección muestra los resultados obtenidos de las simulaciones y analiza su impacto en las principales variables económicas y ambientales. La sexta sección aborda los posibles efectos a largo plazo de una transición hacia la electromovilidad. Finalmente, la séptima sección ofrece una síntesis de los resultados del estudio y propone recomendaciones para futuras políticas públicas y líneas de investigación.

2. Las emisiones y el sector de transporte en la Argentina

En esta sección, se presentan las emisiones asociadas al sector de transporte en Argentina y se las compara con las de otras actividades económicas. Además, se centra en el análisis interno del sector de transporte y vehículos particulares para identificar las fuentes de estas emisiones, considerando tanto el uso de los vehículos como las emisiones generadas durante su fabricación.

Al examinar las emisiones por sector, se evidencia que el sector primario, la energía y el transporte son los principales contribuyentes de las emisiones directas,

producto del consumo de combustibles fósiles, del uso del suelo y la liberación de metano en la ganadería. En la actualidad, el sector de transporte, tanto de carga como de pasajeros, contribuye con cerca del 20 % de las emisiones totales de GEI, medidas en emisiones de CO_2 equivalentes. Esto evidencia el fuerte impacto de esta actividad sobre el medioambiente. Es importante destacar que esta cifra no incluye las emisiones asociadas al uso de vehículos particulares.

Cuadro 1: Emisiones GEI en la Argentina por Tipo, Año 2018, MtCO_2

Sector	Demanda Final	Intermedias	Proceso	Totales
Primarios	0,60	16,50	135,50	152,70
Energía	57,10	17,00	10,50	84,60
Electricidad	0,00	47,30	0,00	47,30
Industria	0,00	19,40	17,60	37,00
Transporte	0,00	27,30	0,00	27,30
Servicios	0,00	3,90	17,40	21,30
Minería	0,00	0,00	0,60	0,60
Total	57,70	131,50	181,50	370,70

Fuente: Elaboración propia.
Nota: Existe una pequeña diferencia con el inventario GEI de 5 MtCO_2 (Moreira Muzio et al., 2021).

La figura 2 presenta la información detallada referente a las fuentes de emisiones dentro del ámbito de transporte, contemplando de manera amplia tanto el uso como la fabricación de los mismos. Es importante destacar que las emisiones presentadas se refieren exclusivamente al consumo directo de energía. En este contexto, se evidencia que el consumo de productos refinados del petróleo por parte de los hogares explica casi el 60 % de las emisiones, con una cifra cercana a los 40 MtCO_2. En segundo lugar, se encuentra el uso del transporte terrestre, tanto para la movilidad de pasajeros como para el transporte de bienes a nivel nacional. Por último, la fabricación de vehículos representa una contribución insignificante a las emisiones totales de la actividad

Cuadro 2: Emisiones GEI (intermedias y finales) asociadas a la actividad del Transporte por Tipo, Año 2018, MtCO_2

Sector	Categoría	Emisiones	Porcentaje
Refinados-auto	Energía	38,80	58,8
Transporte terrestre	Transporte	21,40	32,4
Resto del transporte	Transporte	4,00	6,1
Transporte por tuberías	Transporte	1,40	2,1
Autos y autopartes	Transporte	0,40	0,60
Equipo de transporte	Transporte	0,00	0,00
Total	Total	66,00	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la figura 3 muestra el desglose de las emisiones específicas del sector de vehículos particulares, incluyendo tanto emisiones directas como indirectas generadas. Esta estimación se ha realizado mediante el uso de la SAM, previamente presentada, y aplicando operaciones de álgebra matricial. Para ello, se multiplicaron las emisiones por unidad producida (E) por el producto de la inversa de Leontief y la matriz de demanda final (F).

$$E^f = diag(E) \cdot (I - A)^{-1} \cdot F \tag{CT.6}$$

$$\begin{pmatrix} E^f_{11} & \cdots & E^f_{1f} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E^f_{n1} & \cdots & E^f_{nf} \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} E_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & E_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} (1-a_{11}) & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & (1-a_{nn}) \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} F_{11} & \cdots & F_{1f} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{n1} & \cdots & F_{nf} \end{pmatrix}$$

Según lo indicado por el gráfico anterior, el uso del vehículo es responsable de casi el 90 % de las emisiones generadas. En un grado menor, durante la fabricación de los automóviles se generan emisiones de manera indirecta por el consumo intermedio de diversos insumos básicos, tales como la electricidad, los metales, las

autopartes, los productos químicos y el transporte necesario para llevar dichos productos a su destino.

Cuadro 3: Emisiones GEI (directas e indirectas) asociadas a los Vehículos Particulares, Año 2018, MtCO_2

Sector	Emisiones	Porcentaje
Refinados	41,60	91,69
Petroleo y Gas (incl. servs)	1,84	4,05
Gen. Térmica	1,00	2,20
Metales	0,34	0,76
Transporte terrestre	0,26	0,57
Resto	0,12	0,26
Autos y autopartes	0,12	0,26
Transporte por tuberías	0,04	0,08
Resto del transporte	0,03	0,06
Químicos	0,03	0,06
Total	45,37	100,00

Fuente: Elaboración propia.

3. El auto eléctrico

3.1. El mercado mundial de autos eléctricos

El término "autos eléctricos" es habitualmente utilizado de manera general. Sin embargo, si se profundiza en el tema, se observa que existen múltiples categorías dentro de los vehículos eléctricos. La primera distinción notable es la que se establece entre aquellos que utilizan exclusivamente baterías recargables (Battery Electric Vehicle, BEV) y los que combinan un motor eléctrico con uno de combustión interna (ICE), llamados híbridos. Entre los híbridos, existen dos subcategorías: los híbridos no enchufables (Hybrid Electric Vehicle, HEV) y los híbridos enchufables (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV). Los HEV recargan su batería principalmente mediante la energía cinética generada durante el frenado, utilizando su motor de manera inversa, es decir, como un generador. Los PHEV, por otro lado, pueden cargarse tanto a través de fuentes externas al ser enchufados como internamente mediante la energía generada por el propio vehículo.

Durante el año 2022, las ventas de vehículos eléctricos, contemplando todas sus

variantes y modelos, experimentaron un crecimiento significativo, del 57%, hasta alcanzar la cifra récord de 10.2 millones de unidades. De este total, 9 de cada 10 autos fueron vendidos solo en tres mercados, lo que pone de manifiesto la fuerte concentración que presenta este sector en sus inicios. China representó un 60% de las ventas globales, seguida por la Unión Europea (20%) y Estados Unidos (10%), mientras que el 10% restante corresponde al resto del mundo.

Las estadísticas internacionales todavía no recogen datos de venta en Argentina, mientras que en la región se registran ventas en Brasil, México y Chile, con menos de 30,000 vehículos eléctricos vendidos en 2022. Si bien no hay cifras oficiales a nivel nacional, algunas estimaciones publicadas en distintos medios indican que en 2022 se vendieron un total de 7,600 coches eléctricos en Argentina, de los cuales solamente 260 fueron BEV, mientras que el resto fueron vehículos híbridos[1]. Uno de los factores que explican este crecimiento rezagado y lento en comparación con lo que ocurre en China es el elevado precio de los vehículos eléctricos, sumado a la falta de subsidios e incentivos significativos que generen un beneficio económico para los consumidores.

Cuadro 4: Ventas de autos eléctricos, en miles de unidades. 2010 - 2022

	2010	2013	2016	2019	2022
China	1,4	15,7	339,0	1.060,0	5.900,0
U.E.	1,4	45,0	118,0	390,0	1.980,0
EE.UU.	1,2	97,0	160,0	325,0	990,0
RoW	3,3	39,4	93,0	226,1	931,6
Reino Unido	0,3	3,7	39,0	75,0	370,0
ALC	-	0,2	1,0	3,9	28,4
Total	7,6	201,0	750,0	2.080,0	10.200,0

Fuente: Elaboración propia a IEA.
Notas: Row: Resto del mundo.

En términos de *stock*, en 2022 había aproximadamente 26 millones de vehículos eléctricos en el mundo, de los cuales 14 se encontraban en China, 7 en la Unión Europea y 3 en Estados Unidos. El resto del mundo solo representa una pequeña

[1] https://www.iproup.com/economia-digital/37625-record-de-ventas-de-autos-hibridos-y-electricos-en-argentina

parte de esta cantidad, con menos de dos millones de unidades, lo que muestra la divergencia inicial en la velocidad de desarrollo de este sector a nivel mundial.

Cuadro 5: Stock de autos eléctricos, en miles de unidades. 2010 - 2022

	2010	2013	2016	2019	2022	Part.(%)
BEV						
China	2	31	460	2,600	11,000	61%
Europa	7	68	300	970	4,400	24%
EE.UU.	4	76	300	880	2,100	12%
RoW	5	55	140	350	500	3%
Total	17	230	1,200	4,800	18,000	100%
PHEV						
China	0.3	2	170	770	3,100	39%
Europa	0.1	36	290	780	3,400	43%
EE.UU.	0	96	270	570	860	11%
RoW	0	26	80	280	540	7%
Total	0.4	160	810	2,400	7,900	100%

Fuente: Elaboración propia a IEA.
Notas: Row = Resto del mundo.

3.2. Los incentivos económicos a la adopción de EV

Uno de los aspectos centrales para la adopción de los vehículos eléctricos tiene que ver con los incentivos económicos a la compra. Estos incentivos tienen como objetivo compensar las diferencias iniciales de precio entre los vehículos eléctricos y de combustión interna. Si bien es cierto que los vehículos eléctricos suelen tener un precio inicial más elevado, existen varias formas en las que estos beneficios buscan equilibrar esta diferencia y hacer que la adquisición de un coche eléctrico sea más atractiva y rentable a largo plazo. Uno de los principales argumentos para respaldar la decisión de pagar un sobreprecio hoy es la mayor eficiencia en el consumo de combustible y la reducción de los costos operativos asociados a largo plazo (Karplus et al., 2010).

En comparación con los vehículos de combustión interna, los vehículos eléctricos utilizan la energía de manera más eficiente. Al utilizar electricidad en lugar de combustibles fósiles, los EV pueden reducir significativamente los costos de combustible con el tiempo. Esta eficiencia se traduce en un menor gasto monetario

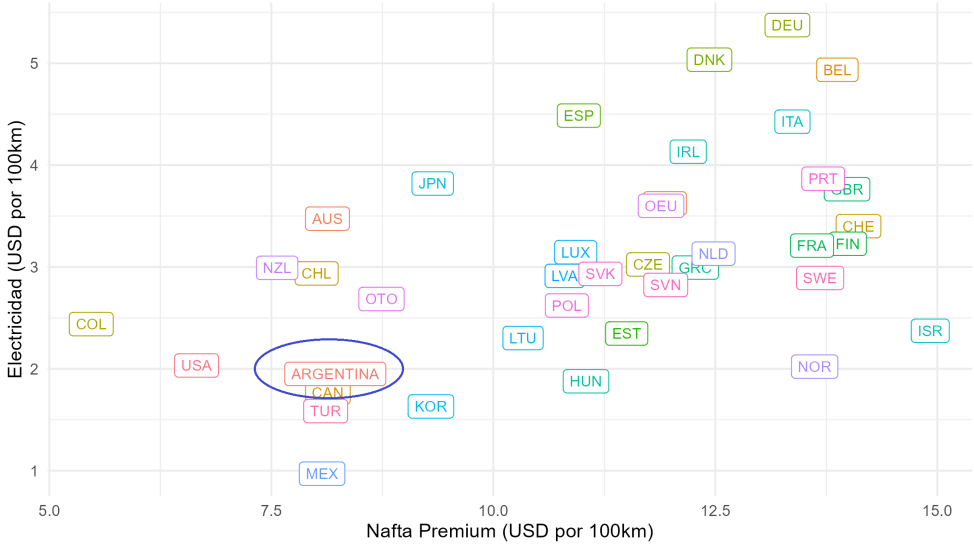
a lo largo del tiempo en comparación con los combustibles fósiles tradicionales.

Tomando valores promedios para el consumo de energía de los distintos tipos de vehículos, se asume que un coche eléctrico requiere 15 kWh y un coche de combustión 8 litros de nafta para recorrer 100 km. Estos valores deben tomarse con cautela, ya que el consumo de energía puede variar significativamente de un vehículo a otro. Estos valores se han tomado en base al análisis de los informes de la IEA citados en este trabajo y al análisis de algunos sitios especializados como https://ev-volumes.com/.

Asumiendo estos ratios de consumo, el siguiente paso consiste en determinar el costo de cada fuente, cuyo precio puede variar significativamente de un país a otro. Los datos sobre el costo de cada fuente de energía proceden de la OCDE[2] para el período 2018-2019. Los resultados se resumen en la figura 1, donde se puede observar que, a pesar de las diferencias nacionales, existe un beneficio unívoco entre el menor costo monetario para recorrer 100 km utilizando un coche eléctrico en todos los países de la OCDE. Además, también existe una pendiente positiva entre ambas variables, lo que sugiere que, a medida que las fuentes de energía primaria son más baratas, los precios finales de la electricidad y de los productos refinados del petróleo tienden a ser más bajos.

[2]https://www.oecd-ilibrary.org/energy/data/iea-energy-prices-and-taxes-statistics/end-use-prices-energy-prices-in-us-dollars-edition-2021_78e38fe3-en

Figura 1: Costo Relativo funcionamiento vehículos livianos. Países de la OCDE. 2018-2021



Fuente: Elaboración propia en base a OCDE y Secretaría de Energía de la Argentina.

Todos estos elementos, conducen finalmente a la discusión sobre el período de repago (*payback period*, en inglés), que resulta fundamental para entender la racionalidad económica que subyace a la demanda de EV en los próximos años. En consecuencia, a pesar de que el precio inicial es más elevado, la mayor eficiencia en el consumo de combustible y los menores costos de mantenimiento de los coches eléctricos permiten recuperar el sobrecosto inicial con el tiempo. El período de recuperación puede variar en función del uso del vehículo, los precios de la electricidad y los combustibles fósiles, así como de los incentivos disponibles.

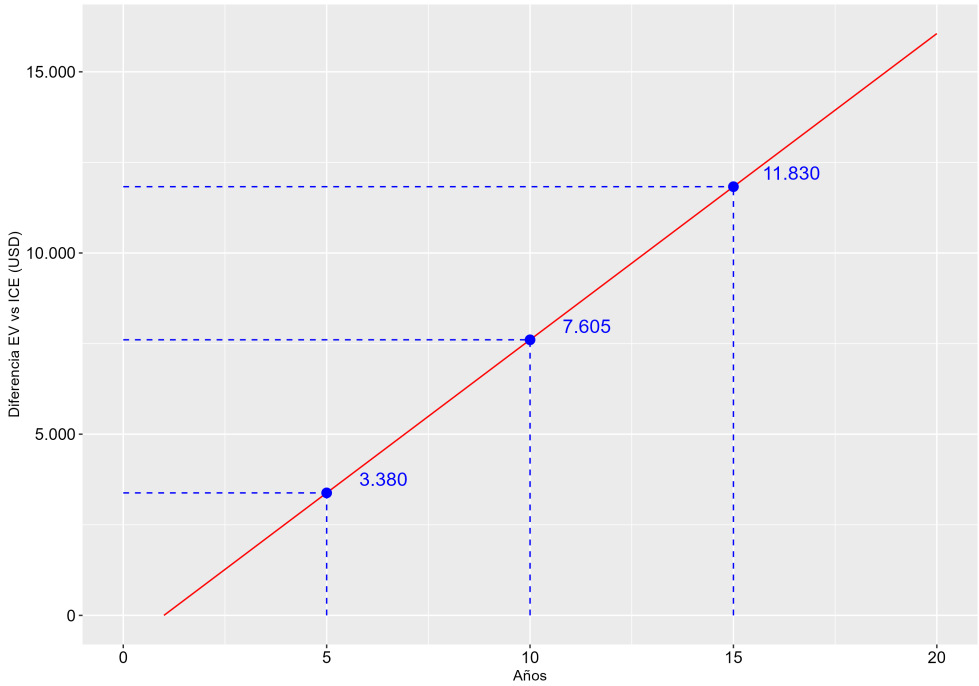
Suponiendo un precio promedio para la electricidad y los combustibles refinados en la Argentina, estimados en base a los datos de la Secretearía de Energía[3], en la figura 2 se traza el tiempo promedio requerido para recuperar el sobre costo inicial invertido en la compra de EV. En base a Lutsey y Nicholas (2019), Ghandi y Paltsev (2020), Karplus et al. (2010), se asume un precio inicial de un auto a combustión interna, comparable a un EV, en torno a los USD 20.000.

Tal como se observa en el gráfico 2, a medida que la diferencia de precios tienda

[3] https://www.argentina.gob.ar/economia/energia.

a reducirse, producto de mejoras en la productividad y aumento de la competencia entre marcas, habrá más incentivos para que los hogares demanden coches eléctricos en lugar de los de combustión interna. Con una diferencia cercana al 20 %, solo serían necesarios 5 años para amortizar el sobrecosto, mientras que si la diferencia fuese del 70 %, el tiempo requerido podría llegar a los 13 años.

Figura 2: Período de repago a partir del sobre costo inicial



Fuente: Elaboración propia en base a estimaciones.

3.3. El modelo CGE y su módulo de transporte

El enfoque metodológico adoptado en este trabajo se basa en el uso de un modelo de equilibrio general computado (CGE, por sus siglas en inglés), especialmente desarrollado para incorporar un modulo medio ambiental y del sector de transporte. Estos modelos multisectoriales permiten analizar los efectos económicos y ambientales de las políticas de mitigación en un marco integrado y consistente desde el punto de vista contable (Kemal Dervis y Robinson, 1982).

Este enfoque tiene en cuenta las interacciones entre los diferentes sectores económicos (Shoven y Whalley, 1984) y las restricciones ambientales, proporcionando

una visión holística de los impactos de las políticas propuestas. El modelo utilizado en este trabajo ha sido adaptado y calibrado específicamente para reflejar las características económicas y energéticas de la Argentina. Se han incorporado datos y parámetros relevantes para el contexto nacional, lo que permite una evaluación más precisa de los impactos de las políticas de mitigación en la economía argentina. Los detalles técnicos acerca de la incorporación del sector de transporte se detallan en el anexo metodológico.

El período elegido para todas las simulaciones es el comprendido entre 2018 y 2030. La calibración del modelo se realizó empleando la información proporcionada por la SAM, las cuentas satélites de emisiones de GEI, elasticidades estimadas previamente, y otras tomadas de la literatura para la Argentina (Cicowiez, 2011, Rojo et al., 2021, Corong et al., 2017)[4].

En lo que respecta a las reglas de cierre utilizadas, esta es la configuración adoptada. Respecto al sector externo, se adoptó el supuesto de país pequeño, lo que implica que los precios internacionales se consideran exógenos. Además, el tipo de cambio real es flexible y el saldo de la cuenta corriente, entendido como el ahorro del resto del mundo con signo opuesto, se considera fijo.

En el caso del gobierno, las variables exógenas para el cierre son: el gasto público, la inversión pública y las tasas impositivas. Como consecuencia, el resultado fiscal se determina de forma endógena.

Para el equilibrio macroeconómico, se determina exógenamente el valor de la inversión total dentro del modelo y se deja que la propensión a ahorrar ajuste endógenamente hasta alcanzar el equilibrio. Este cierre se conoce en la literatura como Johansen (Johansen, 1960).

Para finalizar, en el cierre elegido para el mercado de factores, el trabajo asalariado se considera móvil entre los sectores productivos, por lo que la cantidad demandada del factor f es endógena. En todos los casos, se asume que no hay desempleo en el mercado laboral. En el caso del capital, se asume que es constante

[4]El detalle de las elasticidades empleada puede encontrarse en el Anexo.

a lo largo del tiempo y, por lo tanto, evoluciona entre periodos de acuerdo con el nivel de inversión agregada y la tasa relativa de rentabilidad.

3.4. Agregando a los EV en la SAM

La matriz de contabilidad social utilizada en este trabajo tiene como año base el 2018 y fue elaborada en base a estadisticas de diversas fuentes, incluyendo los Cuadros de Oferta y Utilización (COU), el balance de pagos, las cuentas nacionales y estadísticas tributarias de la Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP). Para un mayor detalle acerca de la metodología empleada en su construcción se sugiere consultar los trabajos de Michelena et al. (2017), Michelena (2019) y Michelena (2022). En esta sección, solamente se desarrolla la inclusión del sector de vehículos eléctricos en dicha matriz.

Para la descripción de los datos sobre producción, ventas y comercio de vehículos eléctricos (BEV y PHEV), se ha combinado la información disponible de ambas categorías. En ese sentido, al igual que otras fuentes de información (IEA, 2022, Karplus et al., 2010), los HEV no son considerados como eléctricos, dado que funcionan principalmente con combustibles fósiles y no pueden ser conectados a la corriente eléctrica. Sin embargo, al analizar las estructuras de costos, la eficiencia energética y las emisiones de CO_2, se ha dado mayor peso a la composición de los vehículos puramente eléctricos (BEV). Tomar solamente a los BEV ayuda a simplificar el análisis, al tiempo que en forma prospectiva se presentan como los tipos de EV con mayor penetración mundial proyectada hacia 2030 (IEA, 2022).

Un punto importante del análisis consiste en determinar e incorporar en la SAM a las estructura de costos y ventas de los nuevos sectores. Así, estas matrices de costos para los distintos sectores se han derivado de múltiples fuentes de información. En particular, para el análisis de las baterías, se ha recurrido a información de Tsiropoulos et al. (2018), Bridge y Faigen (2022) y Lowe et al. (2010). En lo que respecta a la estructura de costos del litio, se han utilizado los datos provenientes del reporte de costos de Global (2019), en donde se destacan los costos diferenciados para la extracción por roca y salares. Además, para los vehículos eléctricos, se

han consultado una serie de trabajos, en donde se presenta en forma detallada la composición del costo final de los EV. Entre los más relevantes podemos destacar a Ghandi y Paltsev (2020), Lutsey y Nicholas (2019), Sen et al. (2019) y Pirmana et al. (2023).

Si bien los trabajos anteriores proveen en forma simplificada la estructura de compras de estas tres actividades, fue necesario ajustar los valores a la definición de actividades y productos de la SAM, para luego separar los flujos de las actividades principales. Para esto, resulta importante contar con alguna estimación sobre el VBP y VAB de estas actividades. En el caso del litio, debido al bajo nivel de procesamiento interno, se asume que el VBP similar al valor FOB de las exportaciones, ajustado por los impuestos abonados a la producción, como las regalías.

En el caso de las baterías y los EV, la cuenta resulta mucho más compleja, ya que en 2018 los registros existentes no capturan ningún tipo de producción. Aún peor, incluso en el año 2022 no hay estadísticas precisas sobre la producción y comercialización de EV y baterías. Por tal motivo, se parte del supuesto de que existe una participación pequeña en la oferta de vehículos, menor al 1 %, lo que da lugar a una demanda determinada de baterías domésticas e importadas. En este punto, vale la pena resaltar que se requieren de valores positivos para estas actividades en el período inicial para poder capturar su dinámica en las proyecciones de medio término. Adicionalmente, se asume una composición de la oferta casi similar entre las variedades domésticas e importadas, algo que si bien puede ser un supuesto ambicioso, también evita el problema comenzar las simulaciones con valores muy cercanos a cero.

A continuación, se presentan las estructuras de costos finalmente implementadas en la matriz. La estructura de costos del litio está compuesta por diversos insumos, tal como se presenta en la tabla 6. El consumo de combustible constituye alrededor del 2 % del costo total, mientras que el transporte por carretera y la distribución de electricidad representan aproximadamente el 3 % y el 4 %, respectivamente. La categoría otros servicios contribuye con otro 4 % del costo total, mientras que la

extracción de minerales no metálicos y los químicos básicos tienen un peso de aproximadamente el 10 % y el 12 %, respectivamente. Por el lado del valor agregado, el componente laboral representa alrededor del 14 %, mientras que el factor capital explica aproximadamente el 48 %.

Cuadro 6: Estructura de costos del sector de Litio

	Participación
Resto	0,5 %
Servicios	1,4 %
Servicios profesionales	1,5 %
Refinados	2,4 %
Transporte por carretera - Carga	3,2 %
Distribución de electricidad	3,7 %
Otros servicios	3,9 %
Minerales no metálicos	9,7 %
Químicos básicos	12,2 %
Trabajo	21,7 %
Capital	40,0 %
Total	100,0 %

Fuente: Elaboración propia en base a IEA, INDEC y estimaciones.

La estructura de costos de las baterías de litio se compone de diferentes insumos que contribuyen al costo total de su producción. En términos porcentuales, el transporte representa aproximadamente el 2 % del costo total, mientras que el comercio tiene una participación del 4 %. La producción de metales y el propio Litio tienen una contribución del 8 % y 10 %, respectivamente. La maquinaria eléctrica utilizada en la fabricación de las baterías representa aproximadamente el 14 % del costo total. La minería, tiene una participación significativa del 20 % en los costos, ya que incluye a los insumos básicos como cobre, aluminio, cobalto y níquel. El componente salarial representa aproximadamente el 12 %, y la retribución al capital, que incluye activos fijos como maquinaria y equipos, representa alrededor del 28 %.

Cuadro 7: Estructura de costos del sector de Baterías de Litio

	Participación
Resto	0.0 %
Refinados	1,0 %
Distribución de electricidad	1,0 %
Transporte	2,0 %
Comercio	4,0 %
Prod. metálicos	8,0 %
Litio	10,0 %
Maquinaria eléctrica	14,0 %
Mineria	20,0 %
Trabajo	12,0 %
Capital	28,0 %
Total	100,0 %

Fuente: Elaboración propia en base a IEA, INDEC y estimaciones.

Finalmente, aguas abajo, la estructura de costos de los vehículos eléctricos se compone de diferentes insumos que contribuyen a su elaboración. En términos porcentuales, el caucho y los plásticos representan aproximadamente el 3 % del costo total, al igual que la maquinaria eléctrica utilizada en la fabricación de los vehículos. El comercio y el equipo de transporte tienen una participación del 4 % cada uno. La producción de metales, como el acero y el aluminio, tiene una contribución del 8 % en los costos de fabricación de los vehículos eléctricos. Los autos y las autopartes representan aproximadamente el 12 % del costo total, mientras que las Baterías de los vehículos eléctricos tienen una participación significativa del 19 %. El componente laboral explica aproximadamente el 14 %, mientras que el excedente de explotación representa alrededor del 28 %.

Cuadro 8: Estructura de costos del sector de EV

	Participación
Resto	4,1 %
Servicios profesionales	2,3 %
Caucho y plásticos	2,7 %
Maquinaria eléctrica	3,0 %
Comercio	3,7 %
Equipo de transporte	4,0 %
Prod. metálicos	7,6 %
Autos y autopartes	12,0 %
Baterias EV	19,0 %
Trabajo	14,0 %
Capital	27,5 %
Total	100,0 %

Fuente: Elaboración propia en base a IEA, INDEC y estimaciones.

La determinación de las ventas resulta relativamente simple ya que las baterías, tal como fueron incorporadas en el trabajo, solamente proveen a los EV, mientras que estos vehículos son vendidos exclusivamente a los hogares, y una porción muy pequeña es exportada al resto del mundo. En el caso de litio, si bien tiene algunos usos adicionales, tales como la industria de los combustibles o del vidrio, se asume que es vendido exclusivamente al sector de baterías, o bien es exportado al resto del mundo. Esto se debe a que en la Argentina el litio producido se destina mayormente a la exportación con bajo o nulo uso doméstico (SECMIN, 2021).

Uno de los puntos más relevantes de esta parte del trabajo refiere a la separación del consumo de combustibles hacia adentro del sector transporte, entre la variedad comprada al mercado y el uso del auto particular. En este punto, el trabajo toma como válido los flujos monetarios presentados en el COU 2018, ya que el balance energético (MINEM o IEA) no diferencian entre ambos tipos de consumo. Luego de ajustar ambos valores por los impuestos relativos se determina que aproximadamente un 65 % de las emisiones son generadas por el uso de autos particulares, mientras que el resto corresponde al sector de transporte terrestre. Si bien la estimación incorporada al trabajo presenta valores diferentes a otros estudios (Corong et al., 2017), dándole un peso menor al rubro transporte, cuenta con la ventaja de ser consistente con las cuentas nacionales.

Adicionalmente, fue necesario realizar algunas separaciones a la SAM original, en lo que respecta al uso de los autos particulares. Por un lado, se utilizó a la ENGHO 2018 para separar de las actividades de seguros a los que corresponden con los vehículos particulares, al tiempo que fueron eliminados del sector comercio los gastos en reparaciones. También se elaboró un producto adicional denominado repuestos, que son comprados por los hogares para reparar a los automóviles propios. En el caso de la compra de combustibles, se tomaron como válidos los montos presentados en la encuesta de gasto, en donde casi la totalidad del consumo es utilizada para impulsar los vehículos propios, mientras que una pequeña porción, cercana 1%, es utilizada para otros fines. En forma alternativa, si se hubieran utilizado como fuente a los balances energéticos, se hubiera obtenido un valor cercano al 5% para este categoría, lo que no cambia en forma significativa los resultados.

Por último, fue necesario llevar a cabo una separación de los combustibles utilizados por los autos convencionales y eléctricos. En el primer caso, la encuesta de gastos permite identificar, dentro del consumo de productos refinados del petróleo, que porción corresponde a los combustibles fósiles utilizados en los vehículos a combustión interna. En el caso de los EV, resultó necesario asumir un pequeño *stock* inicial de 16.000 unidades y ventas por 12.000 para el año 2018, a partir de la cual se derivó el consumo energético correspondiente. Dichos consumos fueron multiplicados por el precio de la energía eléctrica residencial que abonan en promedio los hogares de la categoría R5-R7 [5]

4. Simulando los efectos del impulso a la electromovilidad en la Argentina

Antes de ejecutar cualquier tipo de simulación, es necesario generar el escenario BAU o base del modelo, que se utilizará para realizar comparaciones con los

[5] En la Argentina, a los hogares se les asigna una categoría que va del R1 al R9, de acuerdo con la demanda máxima de potencia en kW que tienen mensualmente.

escenarios alternativos. En lo que respecta a los supuestos principales del escenario BAU, este asume un crecimiento exógeno del 1,9 % durante todo el período, consistente con las proyecciones de crecimiento de medio término realizadas por el FMI (IMF, 2022) y el Banco Mundial (Devadas y Pennings, 2019). En base a esta información, se asume un crecimiento anual del *stock* de capital igual al 2 % durante el período analizado, sumado a un aumento de la población económicamente activa del 1,1 %, y un incremento de la productividad del 0,5 %. Estos números se acercan a los estimados en el trabajo de Baumann y Cohan (2018), quienes analizan los determinantes del crecimiento de la Argentina durante las últimas décadas.

Además, se asumen tasas de variación exógenas para los gastos del Gobierno y la inversión pública que se ajustan a un escenario de crecimiento moderado igual al aumento del PIB. Este supuesto es verosímil si se tiene en cuenta la elevada participación de los gastos de la seguridad social en el presupuesto público.

En el caso del sector energético, se utilizó la información contenida en los escenarios energéticos del extinto Ministerio de Energía (Mastronardi et al., 2019) para construir la dinámica de la oferta en el sector. Según el mismo informe, se supone un incremento exógeno del 1 % anual en la eficiencia energética, lo que se traduce en un cambio en la composición de la demanda de los hogares a lo largo del tiempo.

4.1. Escenario BAU

Adicionalmente a los supuestos previos, se asume un impulso al uso de energías renovables que alcanzarían una participación del 20 % en el sector de generación eléctrica hacia 2030, el cual se obtendría a costa de reducir la incidencia de la energía térmica en base a fuentes fósiles.

Por último, se asume que la cadena de EV tendrá condiciones excepcionales de desarrollo debido a su condición de sector innovador y dinámico, un elemento que está en linea con la tendencia decreciente en el precio de mucho de sus componentes (Tsiropoulos et al., 2018). Por tal motivo, se impone un aumento en la productividad

anual del orden del 3 %, superior 0,5 % asumido para el resto de la economía. Al mismo tiempo, se asume un incremento en la producción local de litio del 11 % anual, cifra que está por debajo de las proyecciones de La Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO, 2020), pero que es consistente con la dinámica del modelo.

En lo que respecta a la depreciación, se asume que en los primeros 10 años los EV no sufren ninguna depreciación. Aquí el objetivo consiste en intentar replicar el hecho de que en el corto plazo gran parte del *stock* va a estar constituido por el nuevo flujo de vehículos eléctricos que son añadidos al parque automotor.

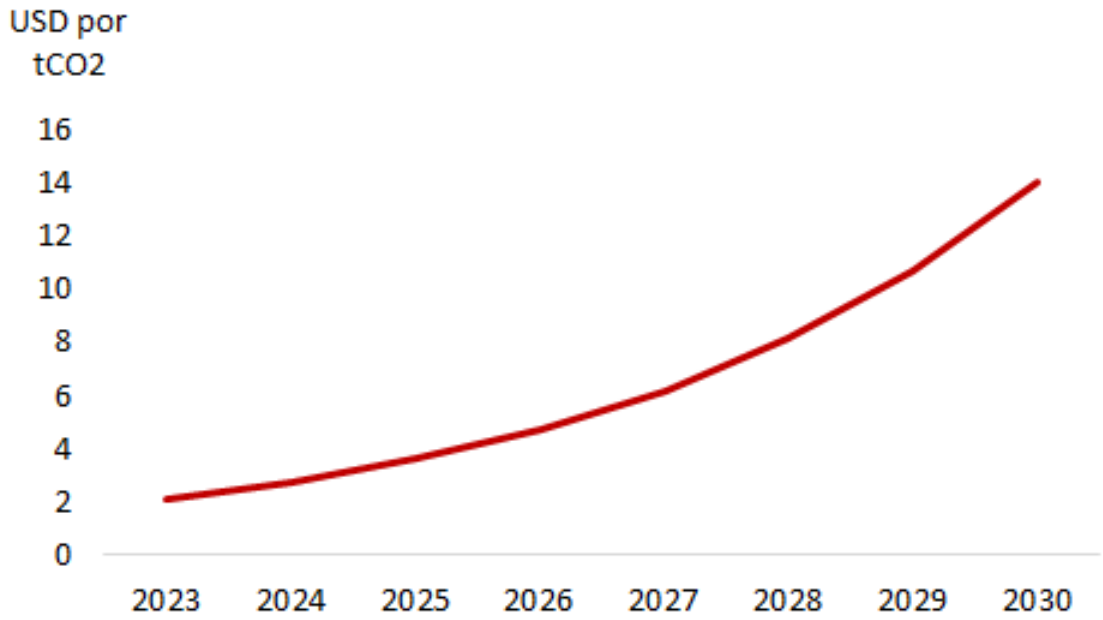
4.2. Escenarios de política

Con el fin de analizar el desarrollo del sector de vehículos eléctricos, considerando en forma conjunta a la producción de litio y de baterías, fueron diseñados los escenarios que se detallan a continuación. El objetivo principal consiste en introducir *shocks* que reflejen los inventivos utilizados para promover el uso de EV.

1. Escenario Base (base): La economía en su conjunto crece a partir de la determinación de los parámetros exógenos que fueron utilizados. La Argentina no toma medidas de mitigación efectivas.

2. Escenario Contribución Determinada a Nivel Nacional (ndc): Siguiendo la trayectoria dispuesta en la figura , la Argentina implementa un impuesto al carbono a las actividades productivas y a la demanda final, creciente en el tiempo para intentar cumplir con los compromisos del Acuerdo de París (Chen et al., 2020). Se asume que estos valores se adicionan a los impuestos a las emisiones existentes. En la Argentina el impuesto al carbono se encuentra definido dentro del artículo 139 de la Ley Nro 27.430, en donde se aplican montos fijos a los combustibles fósiles refinados, que se actualizan regularmente, quedando usualmente en valores cercanos a los USD 10 por tCO_2. Por último, con el objetivo de neutralizar el impacto fiscal de la medida, la recaudación tributaria proveniente de este tributo es transferida a los hogares en su totalidad.

Figura 3: Impuesto a las emisiones simulado, en USD por tCO_2



Fuente: Elaboración propia en base (Chen et al., 2020).

3. Escenario de Promoción (pref-soft): La Argentina aplica subsidios a la compra de vehículos eléctricos, con el objetivo de modificar los precios relativos y de generar mayores incentivos a la adopción de EV por parte de los consumidores. En el escenario pref-soft se asume una rebaja gradual que llega al tope del Impuesto al Valor Agregado (IVA) en la Argentina, del 21 %. A partir de las políticas analizadas previamente, resulta posible afirmar que este escenario alternativo es el que luce como más probable.

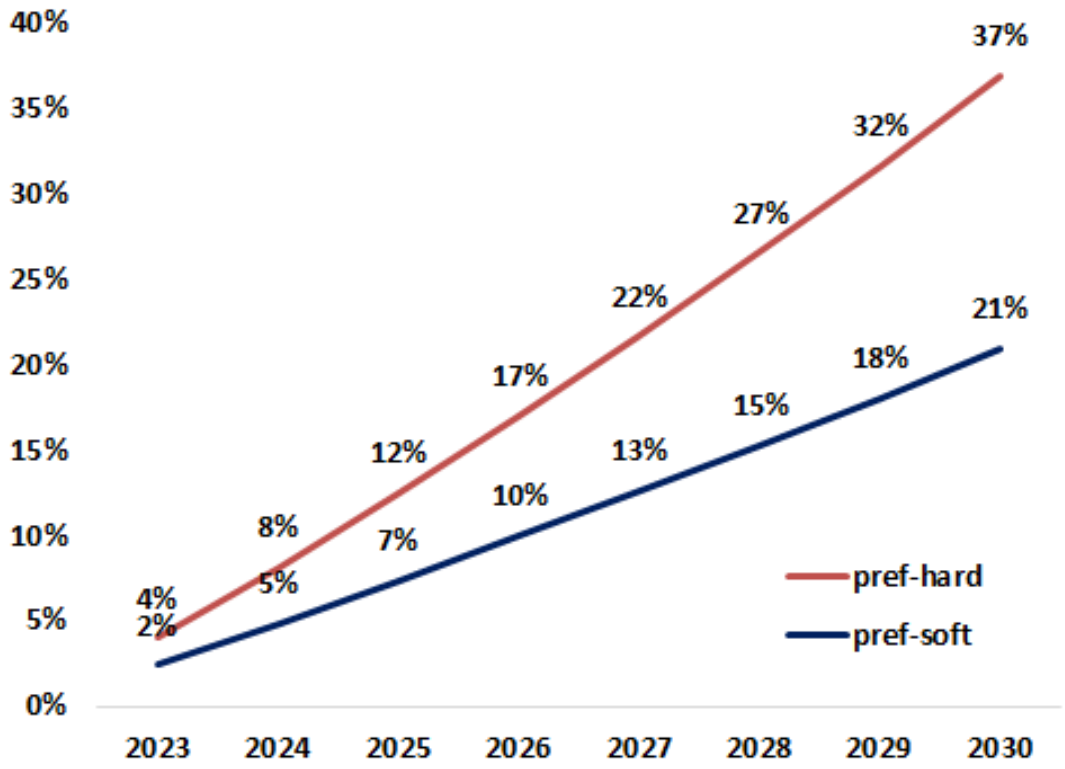
4. Escenario de Promoción (pref-hard): El segundo escenario asume un conjunto de incentivos más agresivos en donde las rebajas podrían alcanzar otros impuestos que afectan el precio final de los vehículos como los impuestos internos, o tributos provinciales como los ingreso brutos. Para simplificar el análisis, se asume un subsidio sobre el precio final del EV que llega al 37 % hacia 2030. Este escenario tiene bajas probabilidades de ser adoptado, debido a los elevados beneficios fiscales impuestos.

5. Escenario de Apertura (tariffshck): Este escenario alternativo adiciona al

anterior una rebaja sustantiva en los aranceles de importación de los EV con el objetivo de abaratar su precio e acelerar su adopción, aún a costa de sacrificar la participación local en el mercado. Así, se asume que el arancel se reduce a 0 % para los EV extra e intrazona, de manera progresiva hacia 2030. Este escenario implicaría eliminar el cupo máximo de las preferencias adoptadas por la Argentina y Brasil para el comercio de autos eléctricos.

6. Escenario de Prohibición de ICE (tariffshck): Este escenario alternativo adiciona a pref-soft una aumento en el impuesto a las ventas, en la misma proporción que la tasa de subsidio aplicado a los EV. Así, se busca simular el impacto de medidas tendientes a impulsar restricciones a las ventas de vehículos a combustión hacia 2030.

Figura 4: Subsidio a la demanda de vehículos eléctricos, en % del precio final



Fuente: Elaboración propia.

5. Resultados

La presente sección exhibe los resultados obtenidos, derivados de las simular los distintos escenarios previamente delineados. En lineas generales, se procedió a comparar los resultados obtenidos en los escenarios de política frente a los alcanzados en el escenario base. De este modo, han sido aislados los efectos ocasionadas por las variaciones de cada política, separándolas del conjunto de elementos que regula la trayectoria de la economía sin intervenciones. En lo que respecta a los resultados relacionados a la industria de EV, se optó por realizar la comparación con respecto al escenario de impuestos a las emisiones, ya que se buscó identificar el impacto aislado de las medidas específicas a los autos eléctricos.

La tabla 9, contiene los resultados agregados de todas las simulaciones realizadas. En el escenario base, las principales variables económicas, crecen aproximadamente un 26 % a lo largo del período comprendido entre 2018 y 2030, a excepción de las emisiones atribuibles al uso de los vehículos por parte de los hogares, que registran un aumento de unos 5p.p. mayor. En ese sentido, el crecimiento económico genera un aumento en el *stock* de vehículos, incrementando así las emisiones por encima del resto de las variables que dependen de un flujo.

En lo que refiere a los escenarios de política, se verifica como los impuestos al carbono son verdaderamente efectivos para reducir las emisiones por consumos intermedios y aquellas generadas directamente por los hogares para su consumo doméstico. En ambos casos, tanto los hogares como las firmas reducen la demanda de combustibles fósiles e incrementan el consumo de fuentes menos contaminantes como la energía renovable, nuclear e hidroeléctrica. Sin embargo, estos impuestos no logran afectar negativamente las emisiones generadas por los procesos productivos, ni tampoco aquellas liberadas por el uso de los vehículos particulares. Este resultado es esperable, ya que los impuestos al carbono no modifican sustancialmente los precios relativos entre el auto eléctrico y el convencional. Adicionalmente, tal como será discutido posteriormente, tampoco modifican sustancialmente el precio relativo del consumo energético de cada tipo de vehículo.

En el caso de los escenarios de promoción de los vehículos eléctricos, se observa una baja en las emisiones asociadas al *stock* de vehículos, entre un 0.42 % y un 1.09 %. Este número no parece ser muy significativo, aunque se debe considerar que estas emisiones descienden lentamente, a medida que la penetración de los EV en el *stock* total comienzan a ganar terreno. Al mismo tiempo, debido a que las ventas de autos a combustión están asociadas con un mayor consumo de combustible, también se registra una baja adicional en las emisiones generadas por los hogares. Por su parte, el escenario zero-ice genera efectos similares al escenario pref-hard, aunque con un impacto positivo sobre la recaudación, generado que el esquema de promoción de los EV sea más sustentable en el tiempo.

La contracara de estos efectos positivos, que tienen las medidas de promoción sobre el medio ambiente, es el efecto negativo sobre las exportaciones, debido en parte a una baja en las ventas externas de automóviles, dado que ahora con los incentivos se vuelven atractivos los vehículos eléctricos. El aumento del tipo de cambio real resultante, termina impactando negativamente sobre las importaciones. Por su parte, los escenarios de política no generan efectos significativos sobre el consumo y el PBI. Esto se explica en parte debido al supuesto asumido de transferir la recaudación del impuesto a las emisiones a los hogares.

Cuadro 9: Resultados agregados de las simulaciones hacia 2030. En % de diferencia con respecto al escenario base

	2018	2030	chg (%)	crbontax	p-soft	p-hard	trffshck	zero-ice
MtCO2								
GHG (hogares)**	18,90	23,81	25,99	-5,86	-5,86	-5,89	-5,97	-5,74
GHG (procesos)**	181,53	231,75	27,66	-0,26	-0,26	-0,26	-0,27	-0,21
GHG (inter.)**	131,36	162,95	24,05	-3,63	-3,63	-3,62	-3,56	-3,63
GHG (vehículos)**	38,79	50,98	31,43	-0,04	-0,42	-0,68	-1,09	-0,70
Macro								
Consumo*	7,49	9,36	24,96	-0,00	0,02	0,02	0,01	0,02
PBI*	13,40	16,81	25,44	0,00	0,01	0,00	-0,02	-0,01
Exportaciones*	1,77	2,23	26,13	-0,17	-0,23	-0,26	-0,21	-0,38
Importaciones*	2,52	3,17	25,83	-0,13	-0,13	-0,10	0,09	-0,21
Rec. Tributaria*	4,34	5,46	25,69	-0,22	-0,42	-0,64	-1,03	0,62

Fuente: Elaboración propia.

Notas: * (Billones $ a precios básicos[6]); ** (MtCO_2)

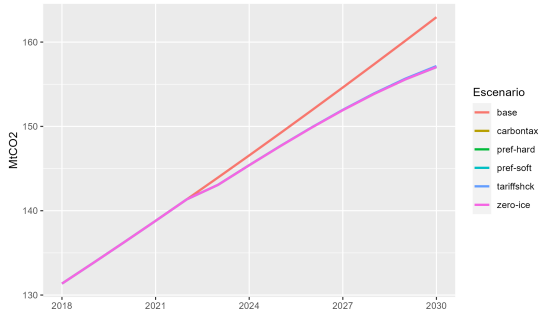
La dinámica de las emisiones, según cada una de sus fuentes, se presenta en la

figura 5. El conjunto de gráficos permite ver con claridad el procesos de desacople generado en el escenario de impuestos al carbono, *carbontax*, principalmente en las emisiones por consumos intermedios y las respectivas al uso final de los hogares. Sin embargo, tal como fue comentado anteriormente, los impuestos al carbono no resultan efectivos para mitigar las emisiones asociadas a los procesos productivos o al uso de los vehículos.

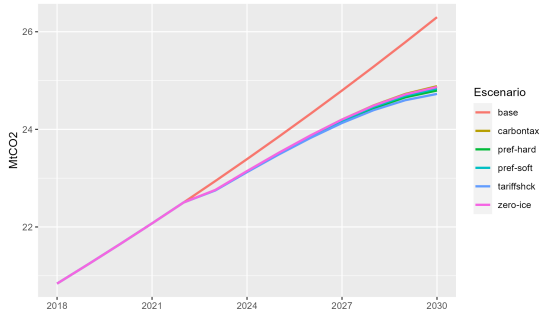
En tal sentido, se observa como a partir de 2025, a medida que los EV ganan participación en el *stock*, las trayectorias comienzan a separarse progresivamente. Como última reflexión, se observa que el escenario de desgravación arancelaria no produce cambios relevantes, al compararlo contra el escenario *pref-soft*, en las emisiones durante el período bajo análisis. Nuevamente, aquí se necesitaría de una proyección a largo plazo para verificar si se producen cambios más significativos.

Figura 5: Emisiones por Fuente 2018-2030. En MtCO_2

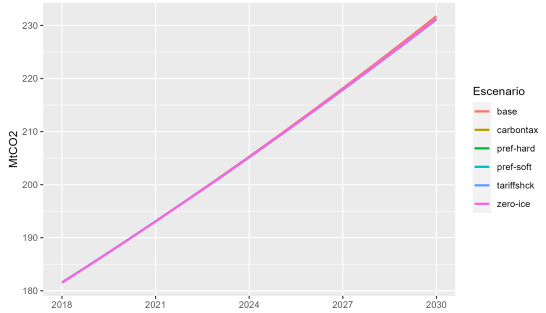
(a) Emisiones Cons. Intermedios



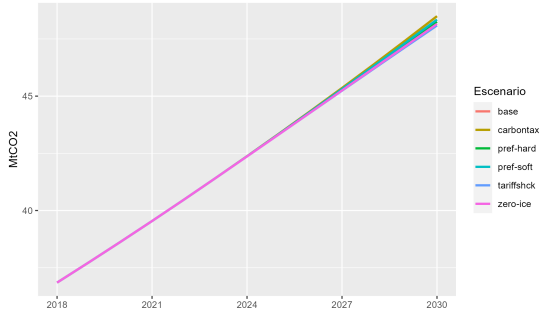
(b) Emisiones Hogares



(c) Emisiones de Procesos



(d) Emisiones Vehículos



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 10 compara a los escenarios de política con respecto al *carbontax*, para analizar el impacto de la política de promoción sin considerar los efectos causados por los impuestos al carbono. Así, se verifica como la política de promoción a los EV generan una rebaja relevante en las emisiones de los sectores asociados al transporte, tanto en la producción como en el uso. Hacia 2030, en el escenario más agresivo con rebajas arancelarias, se produce una caída en las emisiones intermedias del sector automotriz del orden del 4%, con caídas del 1,5% de los productos refinados del petróleo. Por su parte, el escenario zero-ice arroja resultados apenas menores sin abrir las importaciones.

Cuadro 10: Diferencia porcentual en las emisiones (intermedias y procesos) con respecto al escenario carbontax hacia 2030. Sectores con mayores caídas, en %

	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
Autos y autopartes	-1,44	-2,50	-3,90	-3,43
Refinados	-0,56	-0,92	-1,51	-1,14
Cuero y calzado	-0,10	-0,23	-0,51	-0,33
Plásticos	-0,08	-0,18	-0,40	-0,21
Petróleo y Gas (incl. servs)	-0,07	-0,12	-0,19	-0,13
Metales	-0,07	-0,11	-0,12	-0,11
Indumentaria	-0,06	-0,16	-0,39	-0,16
Equipos de comunicación	-0,06	-0,14	-0,30	-0,20
Muebles y otros	-0,05	-0,14	-0,33	-0,08
Prod. de tabaco	-0,04	-0,13	-0,31	-0,10
Comercio	-0,04	-0,10	-0,21	-0,22
Resto del transporte	-0,04	-0,07	-0,11	-0,10
Edición	-0,03	-0,10	-0,25	-0,06
Informática	-0,03	-0,10	-0,24	-0,16
Pesca	-0,03	-0,06	-0,11	0,02

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11, se verifica que esta baja marcada en las emisiones está explicada principalmente por una caída en la producción de vehículos a combustión. Al mismo tiempo se observa que no existe un efecto sustitución significativo en la composición de la demanda de energía de las actividades asociadas a la cadena del transporte. En forma complementaria, la tabla 12 presenta resultados negativos en la demanda de empleo en sectores de la cadena automotriz convencional, lo que pone en evidencia algunos costos de transición que no son despreciables.

Cuadro 11: Diferencia porcentual en la Producción en los escenarios alternativos con respecto al escenario carbontax hacia 2030. Sectores con mayores caídas, en %

	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
Autos y autopartes	-1,44	-2,46	-3,77	-3,36
Refinados	-0,22	-0,36	-0,58	-0,46
Metales	-0,08	-0,13	-0,15	-0,12
Petróleo y Gas (incl. servs)	-0,06	-0,10	-0,15	-0,10
Plásticos	-0,03	-0,06	-0,12	-0,03

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12: Diferencia porcentual del Empleo en los escenarios alternativos con respecto al escenario carbontax hacia 2030. Sectores con mayores caídas, en %

	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
Autos y autopartes	-1,76	-3,01	-4,61	-4,11
Refinados	-0,48	-0,79	-1,26	-0,99
Petróleo y Gas (incl. servs)	-0,20	-0,32	-0,47	-0,33
Metales	-0,16	-0,25	-0,30	-0,24
Plásticos	-0,06	-0,12	-0,23	-0,06

Fuente: Elaboración propia.

En forma contraria, tal como se observa en la figura 13, la promoción a la demanda de los EV genera como contrapartida una fuerte expansión en su producción y algunas actividades consideradas complementarias. También se verifica un incremento en la demanda eléctrica, utilizada para impulsar este tipo de vehículos.

Así, se observa un crecimiento exponencial, hacia 2030, en la producción de vehículos eléctricos y las baterías que son utilizadas en su fabricación y que conforman su principal insumo. En ambos casos, la reducción de aranceles es un elemento que contribuye a generar incentivos para la adopción de los vehículos eléctricos. Sin embargo, la combinación de impuestos y subsidios cruzados a las ventas de autos convencionales y eléctricos es la política que más potencia la producción de EV

Cuadro 13: Diferencia porcentual en la Producción en el escenario pref con respecto al escenario carbontax hacia 2030. Sectores con mayores aumentos, en %

	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
EV	49,26	81,98	87,09	88,18
Baterías EV	23,06	36,39	38,72	39,16
Equipo de transporte	0,61	1,05	1,56	1,52
Electricidad	0,12	0,28	0,64	0,46
Gen. Térmica	0,10	0,25	0,59	0,42

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 14 muestra como los escenarios de política no modifican sustantivamente la demanda de transporte particular, dado que la baja elasticidad asumida ($\sigma^{TRN} = 0{,}2$) limita que la baja en el precio de los EV se traduzca en una menor demanda de transporte público. Una lectura adicional a este resultado, indica que a pesar de los incentivos implementados, el precio del bien compuesto asumido como transporte particular no cambia sustancialmente debido al bajo peso inicial del auto eléctrico.

Cuadro 14: Participación de los vehículos particulares en la demanda de transporte hacia 2030, en %

	base	carbontax	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
Particular	41,50	41,59	41,73	41,88	42,17	41,81
Público	58,50	58,41	58,27	58,12	57,83	58,19
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizados los efectos generales del ejercicio de simulación, es hora de evaluar los impactos específicos en el mercado de EV. Para convertir los resultados a unidades vendidas, se asumió un precio promedio de USD 38.281 para cada vehículo eléctrico Lutsey y Nicholas (2019). En la figura 15, se observa como en el escenario base y *carbontax* la demanda de vehículos, en cantidad de unidades, se mantiene estable a lo largo del tiempo, alcanzado los 20.700 unidades hacia 2030.

Por el contrario, en los escenarios de política, se observa un aumento exponencial alcanzando ventas anuales de entre alrededor de 38.300 y 54.800 unidades hacia 2030. Adicionalmente, el escenario de apertura comercial adiciona otros 20.000 vehículos eléctricos a las ventas estimadas para el año 2030.

Cuadro 15: Ventas de Vehículos Eléctricos en el mercado doméstico, 2027 y 2030, en cantidad de unidades

año	base	carbontax	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
2027	18.121	18.148	26.519	32.153	42.484	34.834
2030	20.721	20.786	38.281	52.325	74.453	54.876

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la composición en las ventas de vehículos hacia 2030, en la tabla 16 se verifica como en los escenarios de intervención, la penetración de los EV podría ubicarse en niveles cercanos al 11 % en el escenario más agresivo, casi el doble del valor obtenido en el escenario de preferencias considerado como el más probable. Por su parte, en el escenario base y carbontax, la incidencia alcanza un valor sumamente limitado, cercano al 3 %. Este resultado resaltaría la importancia de combinar incentivos a la demanda, restricciones a la oferta, y apertura comercial para acelerar la adopción de EV en el mercado local. Nuevamente, a mayores incentivos a los EV, menor es la demanda de autos a combustión y mayor el impacto negativo sobre la producción.

Sin embargo, la misma tabla arroja un resultado pesimista, el cuál ya pudo ser intuido en las tablas previas. A pesar del considerable crecimiento de estos vehículos en la demanda final, su efecto sobre el *stock* tiende a ser extremadamente débil en el corto plazo, debido a la lenta depreciación de los autos convencionales, lo que podría sugerir que una descarbonización acelerada del transporte requería de medidas más agresivas. En el escenario más ambicioso, la participación de los EV llegaría a alrededor de 2.9 %, mientras que en escenario más factible esta cifra estaría cerca del 2.1 %.

Cuadro 16: Participación de los EV en las ventas y en el *stock* de automóviles hacia 2030, en %

	base	carbontax	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
EV (ventas)	3,10	3,10	5,70	7,80	10,90	8,20
ICE (ventas)	96,90	96,90	94,30	92,20	89,10	91,80
Total ventas	100	100	100	100	100	100
EV (stock)	1,75	1,76	2,14	2,40	2,88	2,52
ICE (stock)	98,25	98,24	97,86	97,60	97,12	97,48
Total stock	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, tal como lo muestra la tabla 17, las estrategias de incentivos, y sobre todo la apertura, tienen como correlato una caída considerable en la oferta doméstica de EV hacia 2030, pasando de un 52 % en el escenario base a casi 26 % en el escenario tariffshck.

No obstante, conectando con los resultados previos, se puede inferir que al medirlo en términos absolutos también se observa que los escenarios de promoción dan lugar a un fuerte incremento en la producción de EV, en donde el efecto escala prevalece sobre el efecto sustitución. Este resultado pone en evidencia que un mercado de mayor tamaño puede ser beneficioso para cumplir con los objetivos de mitigación del cambio climático y de promoción de una industria doméstica de EV.

Cuadro 17: Origen de las ventas de EV hacia 2030, en %

	origen	base	carbontax	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
EV	Doméstico	52,10	52,10	42,00	37,10	25,70	36,60
EV	Importado	47,90	47,90	58,00	62,90	74,30	63,40
Total EV		100	100	100	100	100	100
ICE	Doméstico	37,50	37,60	37,70	37,90	38,10	37,90
ICE	Importado	62,50	62,40	62,30	62,10	61,90	62,10
Total ICE		100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.

A modo de conclusión, resulta posible afirmar que los efectos de corto plazo generados por las políticas de promoción de la industria de EV contribuyen a reducir marginalmente las emisiones. Este se debe al proceso progresivo de incremento en el *stock* de EV en el parque automotor. Alternativamente, se podrían adoptar

medidas más agresivas para limitar las ventas de vehículos a combustión, para de esta forma acelerar el proceso de electrificación del transporte. No obstante, esta estrategia puede no estar exenta de problemas o presiones por parte de los sectores perjudicados, en la medida que la industria ponga resistencia para realizar una transformación profunda del sector. Adicionalmente, el efecto negativo sobre el tamaño del mercado de automóviles, puede no ser considerando viable por parte las empresas, los trabajadores, y los hacedores de política.

A continuación, se discuten algunos efectos de largo plazo que quedan por fuera de las estimaciones del modelo, pero que son relevantes para pensar la agenda futura.

6. Efectos potenciales en el largo plazo

En esta sección se discute, por fuera del modelo, la trayectoria futura de algunas variables en el largo plazo. El objetivo consiste en trazar en forma simplificada una proyección para discutir algunas tendencias que quedan expuestas en los resultados del modelo, pero que son muy prematuras como para sacar algunas conclusiones definitivas.

Uno de los resultados relevantes de las simulaciones es el bajo impacto que tiene el impuesto a la emisiones sobre la demanda de vehículos eléctricos, algo que a priori podría verse como contra intuitivo. Este fenómeno está explicado por la composición actual de la oferta eléctrica, en donde la generación térmica tiene un rol sumamente importante. La figura 18 muestra como distintos niveles de impuestos a las emisiones pueden encarecer la electricidad y los combustibles fósiles comprados por los hogares. En forma complementaria a la situación inicial, se asume una reducción tentativa en las emisiones del sector eléctrico a partir de una caída en la participación de la generación eléctrica térmica en base a fuentes fósiles, en linea con los objetivos de descarbonización del sector eléctrico.

Así, se observa que a niveles bajos de impuestos, el incremento diferencial en el precio de ambas fuentes de energía es despreciable, lo que no debería afectar

sustancialmente a la demanda relativa de los hogares. Sin embargo, a medida que el precio de las emisiones se incrementa, se observa que la diferencia se vuelve más significativa, y tiende a ensancharse con respecto a un escenario futuro con mayor participación de fuentes renovables. Considerando el diferencial actual, en el uso de los vehículos a combustión interna y los eléctricos, en el largo plazo los impuestos al carbono deberían funcionar como un segundo incentivo que potencie su adopción.

Cuadro 18: Cambio en el precio de la energía ante la imposición de un impuesto (USD por tCO2) a las emisiones

USD x tCO_2	Combustible	Electricidad	(-20% Térmica)	(-50% Térmica)
0	0%	0%	0%	0%
5	1%	1%	1%	1%
10	3%	3%	2%	1%
20	6%	5%	4%	3%
30	8%	8%	6%	4%
50	14%	13%	10%	6%
80	22%	20%	16%	10%
100	28%	25%	20%	13%
150	41%	38%	30%	19%

Fuente: Elaboración propia.

Otro elemento interesante a ser analizado tiene que ver con la dinámica futura del *stock* de vehículos en el largo plazo. Esta proyección se realizó considerando la dinámica previa en los flujos de las ventas, según cada escenario. Asumiendo que luego del 2030 los EV comenzará a sufrir una depreciación similar a los vehículos a combustión, se observa que su participación en el *stock* total no crecería significativamente.

Este resultado pesimista permite plantear dos puntos relevantes. Por un lado, incluso en los escenarios más agresivos, el flujo de ventas para los EV alcanzado en 2030 resulta insuficiente. Por otro, esto expone la necesidad de avanzar con medidas más agresivas que desincentiven aún más la demanda potencial de vehículos convencionales. En ese sentido, desde el punto de vista de las políticas que están tomando algunos países, se podrían adoptar fechas concretas para forzar el fin de las ventas de vehículos a combustión.

Cuadro 19: Participación de los EV en el *stock* de automóviles hacia 2040 y 2050, en %

año	base	carbontax	pref-soft	pref-hard	tariffshck	zero-ice
2040	2,1 %	2,1 %	2,8 %	3,4 %	4,3 %	3,5 %
2050	2,6 %	2,6 %	3,8 %	4,7 %	6,5 %	5,1 %

Fuente: Elaboración propia.

7. Comentarios finales

La firma del Acuerdo de París en 2015 fue un hito en el compromiso mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Según nuestro estudio, el sector transporte en su conjunto es el segundo emisor de GEI de la economía, con cerca de 65 MtCO_2. Esta investigación concluye que una adopción acelerada de EV sería una solución prometedora para contribuir a alcanzar los compromisos adquiridos por la Argentina, especialmente en un sector donde la descarbonización es compleja debido al predominio de vehículos de combustión y al proceso lento requerido para reemplazar totalmente al parque automotor actual.

Sin embargo, nuestro análisis indica que una estrategia de fomento a los EV no basta por si sola para alcanzar los niveles de ventas y de penetración necesarios para lograr resultados más ambiciosos en materia de emisiones. Por un lado, los beneficios potenciales de la reducción en las emisiones solo pueden comenzar a observarse en el largo plazo, debido a la relevancia de los vehículos a combustión en la composición en el *stock* inicial. Aún en un escenario optimista, donde hay una significativa adopción de EV hacia 2030, la reducción de emisiones sigue siendo limitada. Sin embargo, si esta tendencia hacia la electrificación se mantiene, podríamos observar reducciones más relevantes hacia el año 2050.

Otro resultado interesante es que el escenario de fuertes subsidios a los EV generó resultados similares al escenario mixto que mezclaba menores subsidios a los vehículos eléctricos e impuestos a los convencionales. Este segundo escenario puede ser preferible, ya que al generar ingresos fiscales adicionales permite que la política de incentivos sea sustentable en el largo plazo.

A modo de conclusión, podemos afirmar que para una transición exitosa hacia una movilidad sostenible, es esencial adoptar un enfoque holístico que garantice la maximización de los beneficios para los usuarios y para la sociedad en su conjunto. El aumento en la adopción de EV dependerá en gran medida de políticas públicas efectivas, regulaciones e iniciativas privadas que garanticen un progresivo incremento en la oferta de vehículos eléctricos a precios accesibles para el público general. Adicionalmente, existen algunos elementos sumamente relevantes, tales como la infraestructura de carga o las políticas para el transporte de pasajeros, cuyos efectos no han sido tratados y cuyo análisis queda por fuera de los limites del presente estudio.

Como líneas de investigación futura, este estudio sugiere avanzar en, al menos, dos direcciones. En primer lugar, sería relevante incorporar explícitamente la infraestructura de carga en el análisis. Por un lado, resulta relevante comprender el impacto que podría tener sobre la inversión y el empleo, en una trayectoria consistente con el desarrollo de los EV. Al mismo tiempo, también podría ser utilizada explícitamente como una restricción clave en la dinámica de adopción de los vehículos eléctricos.

En segundo lugar, el análisis desarrollado en este estudio podría ampliarse para incluir el transporte público urbano, ya que concentra una parte importante de las emisiones y requiere políticas específicas de electrificación, las cuales son diferentes por naturaleza a las analizadas en este capítulo. Adicionalmente, dado que el transporte urbano compite con el uso de vehículos particulares, algunos escenarios que contemplen su desarrollo podrían proveer evidencia acerca de sus impactos sobre la electromovilidad.

A. El desarrollo del sector transporte en el modelo CGE

A.1. Elasticidades sectoriales utilizadas

El modelo contiene un número importante de elasticidades en cada nivel para el sector de transporte. Sin embargo, uno de los problemas existentes es la ausencia de estimaciones en la literatura para este tipo de simulaciones, en donde el sector de transporte juega un rol preponderante. Esto tiene que ver con que resulta complicado estimar alguno de estos parámetros, cuando las series de EV son relativamente nuevas y la información todavía no permite construir series de tiempo largas y robustas.

Por tal motivo, en este estudio se toman como referencia las elasticidades para el sector del transporte empleadas en los trabajos de Paltsev et al. (2008) y, más recientemente, en Cai et al. (2023). En ambos trabajos, las elasticidades utilizadas intentan reflejar la opinión de especialistas sobre la capacidad de cambio de la demanda ante variaciones en los precios relativos. Debido a que existe solo una pequeña diferencia de criterio en el segundo nivel, se optó por comenzar utilizando los valores empleados por Paltsev.

Cuadro 20: Elasticidades utilizadas en la literatura para modelar la demanda de Transporte

	Paltsev	Yongxia
Transporte vs Resto	0,5	0,5
Trans. particular vs Trans. Público	0,2	0,5
ICE vs EV	∞	∞
Auto vs Combustible	0,4	NA

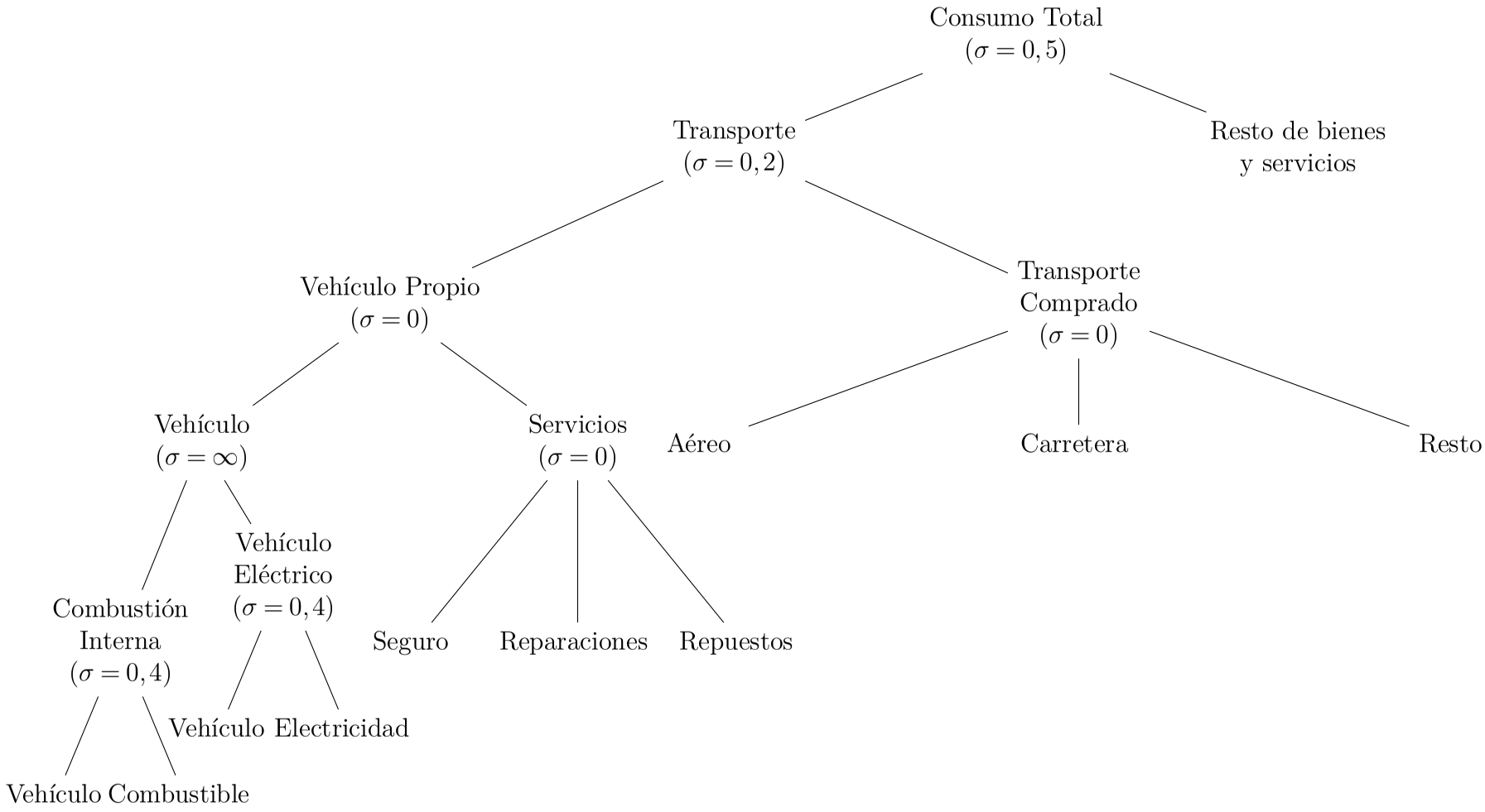
A.2. Agregando a los EV en el modelo CGE

En lo que respecta al modelo, este trabajo introduce un conjunto particular de ecuaciones que nutren a las versiones convencionales de los modelos CGE (Lofgren et al., 2002). A continuación, se introduce el bloque de consumo de los hogares, en

conjunto con sus ecuaciones.

En la figura 6 se muestra en forma detallada el árbol de decisiones del consumo privado definido en cuatro niveles separados. En el primer nivel, se asume que los hogares deben decidir que parte de su consumo agregado (QHT) destinan a dos bienes, uno denominado Transporte ($QHTRNS$), que engloba a todas las posibles variedades asociadas a la demanda de servicios de transporte, y otro contiene en forma residual al resto de los bienes y servicios ($QHOTH$).

Figura 6: Diagrama de la demanda de Transporte



$$QHT_t = a^{CNS} \cdot \left(\delta^{CNS} \cdot QHTRNS_t^{-\rho^{CNS}} + (1-\delta^{CNS}) \cdot QHOTH_t^{-\rho^{CNS}}\right)^{\frac{-1}{\rho^{CNS}}} \tag{TSP.1}$$

$$\frac{QHTRNS_t}{QHOTH_t} = \left(\frac{\delta^{CNS}}{(1-\delta^{CNS})} \cdot \frac{PHOTH_t}{PHTRNS_t}\right)^{\sigma^{CNS}} \tag{TSP.2}$$

$$PHT_{h,t} \cdot QHT_{h,t} = PHTRNS_t \cdot QHTRNS_t + PHOTH_t \cdot QHOTH_t \tag{TSP.3}$$

En el segundo nivel, los hogares deben determinar cuanto van a consumir del servicio transporte comprado al mercado ($QHPUB$) y cuanto van a demandar del bien compuesto transporte particular ($QHOWN$). Así, los hogares pueden decidir no utilizar los automoviles particulares si por ejemplo sube el precio del combustible o, también, si aumenta el valor de comprar un auto. En el sentido inverso, un incremento en el costo del transporte público genera incentivos para que los hogares utilicen sus vehículos particulares.

$$QHTRNS_t = a^{TRN} \cdot \left(\delta^{TRN} \cdot QHOWN_t^{-\rho^{TRN}} + (1-\delta^{TRN}) \cdot QHPUB_t^{-\rho^{TRN}}\right)^{\frac{-1}{\rho^{TRN}}} \tag{TSP.4}$$

$$\frac{QHTRNS_t}{QHOTH_t} = \left(\frac{\delta^{TRN}}{(1-\delta^{TRN})} \cdot \frac{PHOTH_t}{PHTRNS_t}\right)^{\sigma^{TRN}} \tag{TSP.5}$$

$$PHTRNS_t \cdot QHTRNS_t = PHPUB_t \cdot QHPUB_t + PHOWN_t \cdot QHOWN_t \tag{TSP.6}$$

En el siguiente nivel, los hogares deben determinar que porción del transporte comprado será por carretera, aéreo y cuanto del resto. Debido a que no se realiza ninguna separación entre transporte urbano y de larga distancia, este servicio com-

puesto incluye implícitamente ambas modalidades. Aquí, se asume una elasticidad cero, consistente con una función de demanda del tipo Leontief, en donde cada variedad es consumida en proporciones fijas y la composición no se modifica ante un cambio en los precios relativos.

$$QH_{c,t} = \beta^{PUB} \cdot QHPUB_t \qquad (c \in CPUB) \tag{TSP.7}$$

En el caso del transporte propio, el valor del bien compuesto está determinado por el vehículo ($QHCAR$) y el costos de mantenimiento ($QHTRCST$), que en este estudio consta de los gastos en seguros, reparaciones y compra de repuestos.

$$QH_{c,t} = \beta^{OWN} \cdot QHOWN_t \qquad (c \in CCAR) \tag{TSP.8}$$

Un nivel más abajo, los hogares deben determinar cuanto van a consumir de las variedades de vehículos a combustión interna y cuando a de vehículos eléctricos, asumiendo una elasticidad de sustitución infinita. Esto implica que, *ceteris paribus*, ambos tipos de vehículos son sustitutos perfectos entre si, por lo que la demanda cambiará en forma significativa ante cambios en el precio relativo.

$$\begin{aligned} QHCAR_t = a^{CAR} & \\ \cdot \left(\delta^{CAR} \cdot QHICE_t^{-\rho^{CAR}} + (1-\delta^{CAR}) \cdot QHEV_t^{-\rho^{CAR}}\right)^{\frac{-1}{\rho^{CAR}}} & \end{aligned} \tag{TSP.9}$$

$$\frac{QHICE_t}{QHEV_t} = \left(\frac{\delta^{CAR}}{(1-\delta^{CAR})} \cdot \frac{PHEV_t}{PHICE_t}\right)^{\sigma^{CAR}} \tag{TSP.10}$$

$$\begin{aligned} PHCAR_t \cdot QHCAR_t = PHEV_t \cdot QHEV_t & \\ + PHICE_t \cdot QHICE_t & \end{aligned} \tag{TSP.11}$$

Finalmente, el último nivel de la función anidada modela la composición de cada tipo de vehículo. Por un lado, en TSP.12 la variedad a combustión interna se compone del vehículo y el derivado de petróleo utilizado para impulsarlo. Por el

otro, en la ecuación TSP.13 la demanda de la variedad eléctrica, está conformada por el vehículo y la electricidad utilizada para impulsarlo.

$$QH_{c,t} = \frac{QHICE}{aEV^{(1-\sigma^{ICE})}} \cdot \left(\delta_c^{ICE} \cdot \frac{PHICE_t}{PQHHD_{c,t}}\right)^{\sigma^{ICE}} \qquad (c \in CICE) \tag{TSP.12}$$

$$PHICE_t \cdot QHICEt = \sum_c PQHHD_{c,t} \cdot QH_{c,t} \qquad (c \in CICE) \tag{TSP.13}$$

$$QH_{c,t} = \frac{QHEV}{aEV^{(1-\sigma^{EV})}} \cdot \left(\delta_c^{EV} \cdot \frac{PHEV_t}{PQHHD_{c,t}}\right)^{\sigma^{EV}} \qquad (c \in CEV) \tag{TSP.14}$$

$$PHICE_t \cdot QHICE_t = \sum_c PQHHD_{c,t} \cdot QH_{c,t} \qquad (c \in CEV) \tag{TSP.15}$$

Finalmente, existe un subconjunto de ecuaciones que modela la dinámica del *stock* de vehículos.

$$ICESTCK_t = (1 - dep_{ice}) \cdot ICESTCK_{t-1} + QHICE_t \qquad (c \in CICE) \tag{TSP.16}$$

$$EVTCK_t = (1 - dep_{ev}) \cdot EVTCK_{t-1} + QHEV_t \qquad (c \in CEV) \tag{TSP.17}$$

Al mismo tiempo, se modela en forma separada la demanda de combustible que depende de los vehículos a combustión, lo que agrega otra rigidez al sistema económico y limita la efectividad de las políticas de mitigación.

$$QHSTCK_t = QHSTCK00 \cdot \frac{ICESTCK_t}{ICESTCK00} \qquad (c \in comb) \qquad \text{(TSP.18)}$$

Referencias

Baumann, I. y Cohan, L. (2018). Crecimiento económico, ptf y pib potencial en argentina. Technical report, SPE, Ministerio de Economía.

Bridge, G. y Faigen, E. (2022). Towards the lithium-ion and production network: Thinking beyond mineral supply chains. *Energy Research and Social Science*, 89:102659.

Cai, Y., Woollacott, J., Beach, R., Rafelski, L., Ramig, C., y Shelby, M. (2023). Insights from adding transportation sector detail into an economy-wide model: The case of the adage cge model. *Energy Economics*, 123:106710.

Chen, J., Chepeliev, M., Macia, D. G., Iakova, D. M., Roaf, J., Shabunina, A., van der Mensbrugghe, D., y Wingender, P. (2020). EU Climate Mitigation Policy. IMF Departmental Papers. Policy Papers 2020/013, International Monetary Fund.

Chen, S.-M. y He, L.-Y. (2014). Welfare loss of China's air pollution: How to make personal vehicle transportation policy. *China Economic Review*, 31(C):106–118.

Chen, Z., Carrel, A., Gore, C., y Shi, W. (2021). Environmental and economic impact of electric vehicle adoption in the u.s. *Environmental Research Letters*, 16(4):045011.

Cicowiez, M. (2011). Un modelo de equilibrio general computado para la evaluación de políticas económicas en argentina: Construcción y aplicaciones.

COCHILCO (2020). Oferta y demanda de litio hacia el 2030. Technical report, Comisión Chilena del Cobre.

Corong, E. L., Hertel, T. W., McDougall, R., Tsigas, M. E., y van der Mensbrugghe, D. (2017). The standard gtap model, version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, 2(1):1?119.

Devadas, S. y Pennings, S. (2019). Assessing the Effect of Public Capital on Growth : An Extension of the World Bank Long-Term Growth Model. Policy research working paper wps8604, International Monetary Fund.

Ghandi, A. y Paltsev, S. (2020). Global co2 impacts of light-duty electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87:102524.

Global, S. (2019). Lithium sector: Production costs outlook. Technical report, SP Global.

Hirte, G. y Tscharaktschiew, S. (2013). The optimal subsidy on electric vehicles in german metropolitan areas: A spatial general equilibrium analysis. *Energy Economics*, 40:515–528.

IEA (2021). *Global EV Outlook 2022*. IEA.

IEA (2022). *Global EV Outlook 2023*. IEA.

IMF (2022). World Economic Outlook, Jan 2022. Imf departmental papers / policy papers, International Monetary Fund.

IPCC (2021). *Technical Summary*, page 33?144. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2023). Climate change 2023: Synthesis report.a report of the intergovernmental panel on climate change. contribution of working groups i, ii and iii to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate changee. Technical report, IPCC, Geneva, Switzerland.

Johansen, L. (1960). *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*. Elsevier Science Publishing Co Inc.

Karkatsoulis, P., Siskos, P., Paroussos, L., y Capros, P. (2017). Simulating deep co2 emission reduction in transport in a general equilibrium framework: The gem-e3t model. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55:343–358.

Karplus, V., Paltsev, S., y Reilly, J. (2010). Prospects for plug-in hybrid electric vehicles in the United States and Japan: A general equilibrium analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(8):620–641.

Kemal Dervis, J. d. M. y Robinson, S. (1982). *General Equilibrium Models for Development Policy*. Cambridge University Press.

Li, W., Jia, Z., y Zhang, H. (2017). The impact of electric vehicles and ccs in the context of emission trading scheme in china: A cge-based analysis. *Energy*, 119:800–816.

Lofgren, H., Lee, H. R., y Robinson, S. (2002). *A standard computable general equilibrium (CGE) model in GAMS*. IFPRI.

Lowe, M., Tokuoka, S., Trigg, T., y Gereffi, G. (2010). Lithium-ion batteries for electric vehicles: the u.s. value chain.

Lutsey, N. y Nicholas, M. (2019). Update on electric vehicle costs in the United States through 2030. Technical report, International Council on Clean Transportation.

Mastronardi, L., Barbaran, G., y Caratori, L. (2019). Escenarios energeticos 2030. Technical report, Secretaria de Energía.

Michelena, Capobianco, Mastronardi, y Vila (2017). Estimación de una matriz de contabilidad social para argentina 2015 con desagregación exhaustiva de los sectores energéticos. Technical report, Ministerio de Producción, Ministerio de Energía.

Michelena, G. (2019). Estimación de la matriz de contabilidad social para argentina 2018. Technical report, Ministerio de Producción y Trabajo.

Michelena, G. (2022). La construcción de un modelo de matriz de contabilidad social a partir del cuadro de oferta y utilización 2018. Documento de trabajo nro 14, Ministerio de Desarrollo Productivo, CEP XXI.

Moreira Muzio, M., Gaioli, F., y Galbusera, S. (2021). Inventario nacional de gases de efecto invernadero: Argentina, 2019. Technical report, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nacion.

Paltsev, S., Karplus, V., y Reilly, J. (2008). Incorporating Household Transportation Sector into a General Economic Equilibrium Model: Implications for Climate Policy. Conference papers 331700, Purdue University, Center for Global Trade Analysis, Global Trade Analysis Project.

Pirmana, V., Alisjahbana, A., y Yusuf, A. (2023). Economic and environmental impact of electric vehicles production in indonesia. *Clean Technologies and Environmental Policy*.

Ramirez, G. A. (2023). Vehículos eléctricos en el sector transporte y su impacto económico-ambiental en argentina.

Rojo, S., Ferraro, C., Paz, J., Berra, C., Breard, G., y Romero, C. (2021). *La reconstrucción verde. Avances de la economía circular hacia una transición justa en Argentina*.

SECMIN (2021). Informe especial sobre el litio . Technical report, Secretaria de Minería de la Nacion.

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*, 209:1033–1043.

Shoven, J. B. y Whalley, J. (1984). Applied general-equilibrium models of taxation and international trade: An introduction and survey. *Journal of Economic Literature*, 22(3):1007–51.

Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., y Lebedeva, N. (2018). Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications. Scientific analysis or review KJ-NA-29440-EN-N (online), JRC-EC, Luxembourg (Luxembourg).