

Vehículos eléctricos en el sector transporte y su impacto económico en Argentina^a.

Gustavo A. Ramirez^b

Resumen

En este trabajo se cuantifica el impacto económico y ambiental de la inserción de los vehículos eléctricos (VE) mediante un modelo de insumo producto y sobre la base de diferentes proyecciones de ventas de VE para el 2030 elaborados por la Agencia Internacional de Energía. Producir VE y abastecerlos con generación térmica, hace crecer el PBI un 0.8%, las emisiones suben 21 MMtCO₂e, se crean 65 mil empleos en el sector de producción de VE y la balanza comercial cae 6.5%. En cambio, abastecerlos con EERR hace crecer un 10.7% el PBI, se ahorran 51 MMtCO₂e, se crean 65 mil empleos en el sector de producción de VE, 140 mil en el sector de generación de EERR y la balanza comercial cae 9%. Los resultados evidencian que el mayor uso de VE generaría beneficios en términos ambientales y económicos que pueden favorecer tanto el cumplimiento de los compromisos asumidos por Argentina para reducir el nivel de emisiones al 2030, como el crecimiento sostenido de la economía.

^a Versión preliminar de Tesis de Maestría en Economía de Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina, UCEMA.

^b Licenciado en Economía (Fundación Universidad Argentina de la Empresa, UADE). E-mail de contacto académico: guramirez@uade.edu.ar E-mail de contacto personal: ramirezgustavoar@gmail.com E-mail de contacto Laboral: gustavo.ramirez@enel.com

*Los errores y omisiones son de absoluta responsabilidad del autor. Las conclusiones aquí vertidas no representan necesariamente la de las instituciones en las cuales se desempeña.

** El autor agradece con mucha gratitud y estima la confianza y el acompañamiento del Dr. Gustavo Ferro en este proceso; la asistencia técnica del Dr. Carlos Romero en todo momento; la paciencia y soporte incondicional de Antonela y el apoyo de la familia y amigos. También, recuerda con mucho afecto y dolor al gran amigo Dr. Leonardo Mastronardi, quien lo sigue guiando en este camino eternamente.

1. Introducción

El objetivo de este trabajo es estudiar el impacto económico de la penetración de vehículos eléctricos (VE) en la matriz productiva Argentina, a través de un modelo de insumo producto. Se analizarán los impactos económicos sobre PBI, empleo e intercambio comercial, y ambientales en el nivel de emisiones de GEI, de implementar diferentes políticas de incentivo para el mayor uso de VE en detrimento de los movilizadores por combustibles fósiles convencionales en el transporte y cómo la mayor penetración de movilidad limpia influye en las interrelaciones entre sectores. El ámbito de análisis será Argentina y permitirá cuantificar los costos y/o beneficios que se generan en los procesos de transición energética, que están avanzando en todo el mundo y que indudablemente comenzará en el corto plazo en Argentina, para que puedan ser utilizados en el debate de los compromisos asumidos por el país en el Acuerdo de París³ y en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC)⁴.

La electricidad puede considerarse como un combustible de movilidad limpia debido a que no genera emisiones de CO₂ en su utilización, por oposición a la realizada mediante combustibles fósiles convencionales. Sin embargo, generar los electrones con una mezcla mayoritaria de recursos hidrocarbúricos establece un dilema a la hora de desarrollar esta nueva tecnología. Está demostrado en la literatura que, para lograr una reducción, y no solo mitigación, del nivel de emisiones totales es necesario generar la mayor cantidad de electricidad posible a través de energía renovables no convencionales, tales como la energía eólica y solar.

La participación de Argentina en las emisiones totales mundiales es de 0,8%, del 11,5% respecto de las emitidas en América Latina y El Caribe⁵ y emite 274 tCO₂e/PIB millones \$ 2004. El sector transporte argentino representa el 33% del consumo final

³ Es un tratado internacional sobre el cambio climático adoptado por 196 Partes en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Su objetivo es limitar el calentamiento mundial a muy por debajo de 2, preferiblemente a 1,5 grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales.

⁴ Son compromisos asumidos por los países que forman parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y que deben llevar a cabo para intensificar sus acciones contra el cambio climático, ya sea para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (acciones de mitigación) o para adaptarse a los impactos producidos por ese fenómeno (acciones de adaptación). Las contribuciones de cada país son establecidas en función de sus circunstancias nacionales y sus respectivas capacidades. Para más información visitar [Contribución Determinada a Nivel Nacional | Argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar/ambiente/nacional)

⁵ Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO₂). Dato del año 2018. Fuente: Indicadores del desarrollo mundial. Banco Mundial.

de energía⁶, genera en promedio el 5,7% del valor bruto de producción del país y ocupa el segundo puesto en emisiones sectoriales registradas en el último Inventario de Gases de Efecto Invernadero⁷, con 50,2 millones de toneladas de CO₂ equivalentes (MMtCO₂eq) o 13,8% del total.

Debido a que la matriz insumo producto que se utilizará en el trabajo para realizar las simulaciones corresponde a la estructura productiva de Argentina del año 2017, se utilizará el parque automotor existente de dicho año, el cual, según la Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC), estaba compuesto por 13.3 millones de vehículos, de los cuales 12.8 millones eran autos y livianos y 479 mil eran del tipo pesados. Además, el 64% de los vehículos del parque eran nafteros, de los cuales un quinto o 12.8% del total contaban con equipo alimentado con gas natural comprimido o GNC (vehículos híbridos nafta-GNC) y el resto poseía motor diésel (36% del parque total). La flota de vehículos a GNC fue de 1.67 millones de vehículos en diciembre de 2017 según lo relevado por el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS)⁸, organismo encargado de autorizar las conversiones tecnológicas de los autos nafteros a vehículos alimentados con el combustible gaseoso.

Si bien en materia de la planificación del transporte, desde el año 2002 al 2015 se efectuaron diversos estudios de prospectiva donde se planteaban los desafíos del sector, no se han aplicado y llevado a cabo políticas integrales de desarrollo del sector que se articularan con cuestiones macroeconómicas, ambientales, energéticas, territoriales y sociales. En las últimas proyecciones oficiales de Escenarios Energéticos al 2030 realizadas por la Secretaría de Energía en noviembre de 2019, el escenario tendencial de continuación de políticas existentes proyectaba un parque automotor de 21,3 millones de vehículos (2,2% de los cuales se estima serían eléctricos), demandando en total 523 miles de barriles equivalentes de petróleo por día (kboe/día) en ese año. En el caso del escenario de electrificación, donde se supone un mayor uso de la electricidad como combustible en el sector transporte, la demanda total de combustibles alcanzaría los 516 kboe/día y los VE tendrían una participación del 5,6% del parque automotor mencionado anteriormente de seguir las tendencias identificadas al momento de efectuar las proyecciones. Las últimas proyecciones de la Agencia

⁶ El consumo final de energía es la energía consumida por los usuarios finales dentro del país. Según Balance Energético Nacional 2019 (BEN 2019) revisión 0.

⁷ Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación.
<https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>

⁸ Sobre la base de Datos Estadísticos de Gas Natural Vehicular (GNV o GNC).
<https://www.enargas.gob.ar/secciones/gas-natural-comprimido/estadisticas.php>

Internacional de Energía elaboradas en 2022, estiman dos escenarios de penetración del VE; en el Escenario “STEPS” o de políticas existentes legisladas por los gobiernos, se estima que las ventas mundiales de autos y livianos eléctricos serían en promedio del 23% del total de ventas de vehículos en esa categoría, mientras que en el Escenario “APS”, en el cual se asume que los países que firmaron la declaración de acelerar la transición hacia el 100% de emisiones cero de vehículos y livianos lograrían ese objetivo aún si no existieran regulaciones o políticas que lo promuevan, la participación de los VE mencionados alcanzaría el 35% de las ventas totales. Estas proyecciones serán utilizadas como insumo para las simulaciones en los Escenarios 1 y 2 que serán detallados en la Sección 3.3. Este trabajo intentará ser una herramienta que cuantifique los efectos de tomar decisiones de aceleración del cambio hacia VE respecto de la tendencia, sobre el sector transporte, el sector energético y el medio ambiente.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 describe los diversos estudios internacionales relacionados que influenciaron esta investigación y la descripción de políticas públicas aplicadas al sector transporte en Argentina. En la Sección 3 se plantea la metodología de insumo producto, se presentan los datos del sector energético, del sector transporte y de las estructuras de fabricación de vehículos eléctricos, que se utilizan para la construcción del modelo y por último se plantean los escenarios y sus respectivos supuestos y sensibilidades que se aplicarán. En la Sección 4 se discuten los resultados de las simulaciones y efectos de los shocks. Por último, en la Sección 5 se desarrollan las conclusiones y los posibles pasos a seguir para continuar la investigación.

2. Acerca de la movilidad limpia y sus efectos

2.1 Reseña de antecedentes internacionales

Según proyecciones desarrolladas en el “*Global EV Outlook 2022*” por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), los autos puramente eléctricos pasarán de un stock mundial aproximado de 11 millones en 2021 (aproximadamente un 1,4% del total mundial de autos), a 44 millones en 2025 (4%) y 130 millones en 2030⁹ (10%), mientras que los livianos eléctricos, de 620.000 en 2021, pasarán a 5.600.000 en 2025 (3%) y 16 millones en 2030 (9%).

Se espera que en los próximos años se produzcan también cambios en los tipos de movilidad en Argentina, en línea con algunas de las tendencias que se observan a nivel mundial. Según ACARA (2021), Europa y China son las dos regiones del mundo donde más se activó la incorporación de vehículos con combustibles alternativos al parque circulante. Este avance no es por incentivos económicos resultantes de la libre interacción de la oferta y la demanda, sino que es fruto de regulaciones y políticas públicas enfocadas que no han podido hasta el día de hoy replicarse en Argentina. Algunos ejemplos de estas regulaciones comienzan por el lado ambiental, que incentiva a los fabricantes a desarrollar tecnologías que requieran combustibles menos contaminantes, por el lado de los incentivos fiscales para reducir costos de producción y por el avance tecnológico del rendimiento de las baterías que a su vez ayudan a reducir los costos de producción.

Para analizar el impacto global en una economía de la sustitución tecnológica entre vehículos se utilizaron en la literatura diferentes métodos y modelos, dependiendo del tipo de información recabada y disponible. Por el lado de los modelos de equilibrio general computado (CGE por sus siglas en inglés), Li (2016) analiza el impacto en la macroeconomía, en la calidad ambiental y en la demanda de energía final de la penetración de vehículos eléctricos (VE) y de almacenamiento y captura de carbono (ACC)¹⁰ en el sistema energético de China. Concluye que promover una política combinada de ACC con mayor penetración de VE es más eficiente que sólo incentivar

⁹ Incluyendo autos, livianos comerciales, buses y vehículos medianos y pesados.

¹⁰ Consiste en capturar CO₂ de grandes fuentes puntuales, incluida la generación de energía o las instalaciones industriales que utilizan combustibles fósiles o biomasa como combustible. El CO₂ también se puede capturar directamente de la atmósfera. Si no tiene un uso intermedio o final para crear productos o servicios, el CO₂ capturado se comprime y transporta por tubería, barco, ferrocarril o camión para usarse en una variedad de aplicaciones, o bien se inyecta en formaciones geológicas profundas (incluidos depósitos de petróleo y gas agotados o formaciones salinas) con el objetivo de almacenamiento permanente. Fuente: <https://www.iea.org/reports/about-ccus>

la penetración de VE en términos de reducción de emisiones de CO₂ y de menores pérdidas de PBI. Al respecto, se calcula que el mayor impacto económico negativo es en el sector de refinación de combustibles fósiles, el cual disminuye su valor agregado entre un 9% y un 15%, por la creciente sustitución de vehículos a combustión por vehículos eléctricos.

En la misma línea, Lin (2021) construyó un modelo de equilibrio general recursivo para predecir la demanda futura de petróleo y simular el impacto de los vehículos eléctricos sobre dicha demanda, en la macroeconomía y en las emisiones. Halló que la mayor penetración de los VE puede promover el desarrollo económico y a la vez reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, incluso aunque haya un aumento de las emisiones por parte del sector de generación eléctrica. Por su parte, Kejun et. al. (2021) presentaron tres modelos (IPAC-Modelo global de emisiones, IPAC-CGE y IPAC-AIM/modelo tecnológico) que permiten plantear los senderos y medidas que deben tomar los hacedores de política en China, para cumplir con los objetivos de mantener el crecimiento promedio de la temperatura entre 1.5° y 2° comprometidos en el Acuerdo de París 2015 y al mismo tiempo analizar los impactos macroeconómicos y en emisiones del Mundo y de China. El escenario de 2° puede cumplirse con gran progreso tecnológico en transporte y fuertes políticas públicas en transporte público y movilidad no motorizada. En cambio, para cumplir el objetivo de 1.5°, las emisiones del sector transporte deberían ser cero en 2050 y para ello la expansión de la penetración de los vehículos eléctricos tendría un rol crucial para cumplir con la reducción de emisiones de CO₂ necesarias para dicho objetivo. En cuanto a los incentivos fiscales, el gobierno chino otorga uno de los mayores subsidios del mundo para autos eléctricos según plantea Kejun et. al. (2021), los cuales en 2016 fueron de 19.000 USD en promedio (dependiendo del tamaño de la batería) y permitieron desarrollar un gran mercado de VE y avanzar en innovaciones tecnológicas en todo el país. Este avance permitió que en 2019 el monto promedio de subsidios se redujera un 50% debido a que el precio final que abonaban los usuarios dejó de ser costoso en términos del nivel de ingresos.

Con un poco más de complejidad en modelado, Shafiei (2018) replicó el sistema integrado de transporte de Islandia con una detallada incorporación de tecnologías energéticas y flotas de vehículos con el fin de simular políticas fiscales que incentivaran la mayor penetración de vehículos eléctricos, tales como impuestos a los combustibles derivados del petróleo, exención impositiva a ciertos tipos de vehículos, entre otros cargos y subsidios. Para cada tipo de shock, analizó el impacto mediante un modelo de equilibrio parcial dinámico que fue aplicado también en Nueva Zelanda en Shafiei

(2017). Llegó a la conclusión que la política más eficiente de penetración de VE en la flota vehicular es la de un subsidio al costo de compra del VE.

Por su parte, Berg (2006) estudió la demanda de servicios de transporte de los hogares en Suecia, diferenciando entre longitud de viajes y propósitos de viaje, complementado con la relación entre la oferta laboral y los viajes de trabajo y el nivel de ingreso de los hogares. Teniendo en cuenta este contexto, simuló un objetivo de contaminación de carbono o “*carbon target*” y concluyó que, si se cumple, se reducirían los costos sociales si se realizaran a la vez distintas modificaciones impositivas tales como reducción de cargas patronales, reestructuración de impuestos a los ingresos y exenciones de impuestos al carbono a los viajes de trabajo. La demanda de transporte para ir al trabajo en auto se reduciría con mayor velocidad en los centros urbanos de Suecia en comparación con las ciudades más alejadas, debido a la baja posibilidad de sustitución entre transporte público y privado. La demanda del transporte público para ir al trabajo aumenta mucho más en áreas alejadas del centro urbano, en comparación con la demanda de transporte público en las ciudades más pobladas.

Teniendo en cuenta también objetivos de emisiones de CO₂, Zhang (2018) elaboró escenarios de políticas de transporte bajas en carbono para entender como éstas contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y a la mejora del bienestar social, utilizando un modelo de integración y geolocalización urbana para la ciudad china de Changzhou, que es incluido en un modelo de equilibrio general computable, formando así un modelo de equilibrio general territorial o espacial¹¹. De este modo, se permite evaluar la interrelación del sector transporte y todo el sistema urbano económico teniendo en cuenta diferencias socioeconómicas entre zonas. El resultado revela que el objetivo de descarbonización podría ser implementado con éxito a través de políticas tales como la expansión del parque de vehículos eléctricos, la regulación de velocidad de conducción máxima, la creación de más calles peatonales y el incentivo al mayor uso de rodados de propulsión humana o vehículos como los monopatines eléctricos. Entre los resultados principales encuentra que los vehículos eléctricos podrían reducir un 34% las emisiones de CO₂ para 2030 debido a que serán un 30% de las ventas en ese año. En términos económicos, el bienestar social medido en términos de emisiones aumenta mucho más con la regulación de velocidad de conducción que con la implementación de vehículos eléctricos debido en gran parte al costo de implementación y de transporte.

¹¹ El modelo utiliza matrices insumo producto para representar las economías regionales y toma en cuenta diferentes zonas ubicadas dentro de la región que tienen a la vez diferentes estructuras socioeconómicas. Ver distintas aplicaciones en Bröcker et al. (2002).

Khanam et. al. (2011) mediante un modelo de equilibrio general estático investigó los impactos de la producción de vehículos eléctricos en la ciudad de Toyohashi, Japón. Encontró que se produjeron importantes aumentos de producción, sobre todo en el sector industrial de metales no ferrosos (+74% de crecimiento) debido a que este tipo de insumos es fuertemente demandado para la producción de las baterías de este tipo de vehículos. Este shock también traccionó otros sectores tales como la minería (+10%), construcción (+9.4%), maquinaria de precisión (+7%), maquinaria en general (+5.6%) y electricidad, gas y calor (+4.8%). En consecuencia, el efecto sobre el PBI (definido como valor agregado bruto) de la ciudad de Toyohashi fue de +0.9%.

En esta línea metodológica, Schmelzer et. al (2018) también estudió los efectos macroeconómicos resultantes de la mayor penetración de vehículos eléctricos en Austria, pero utilizó una combinación de un modelo CGE y un modelo de selección discreta que es capaz de confeccionar demandas de transporte endógenas, sujetas a la alternativa de combustibles para cada vehículo. El consumidor final es representado en este modelo como un agente que decidirá entre vehículos convencionales, híbridos, híbridos con tecnología enchufable o “*plug-in*” y 100% eléctricos y cuya decisión impactará en el equilibrio general de la economía captado por el modelo CGE. Adicionalmente, esta combinación híbrida está conectada a un modelo de despacho eléctrico que permite cuantificar los costos externos del cambio de composición del parque automotor. Finalmente logró cuantificar que la construcción de nueva infraestructura para la carga de VE tiene impactos positivos de entre +0.02% y +0.1% en el PBI total del país debido a la mayor inversión de los sectores relevantes de la cadena. Sin embargo, el cambio en las preferencias de los hogares hacia vehículos de combustibles alternativos y el aumento de impuestos específicos (tales como a los hidrocarburos y a los patentamientos de vehículos a combustión que emitan más de 95 g/km) para incentivar la electromovilidad hace reducir 0.03% y hasta 0.2% el PBI en 2030, respectivamente. Estas caídas pueden explicarse en primer lugar porque el aumento de precio de los VE reduce la demanda de estos, lo cual hace disminuir la demanda eléctrica y por ende el PBI. En segunda instancia se debe a que las baterías son producidas por el sector de ingeniería que utiliza una mayor cantidad de insumos intermedios importados con relación a los que le compraba para producir los vehículos a combustión, generando una caída en la producción del sector automotor tradicional en un 8.6% y afectando por ende al producto bruto total de la economía.

Por otro lado, Karkatsoulis et. al. (2012) utilizaron un modelo de equilibrio general de mayor complejidad reversionado para el sector transporte llamado GEM-E3 el cual fue ensamblado con PRIMES-TREMOVE, un modelo de energía y transporte sectorial que

permitió simular la reestructuración del sistema de transporte en la Unión Europea y analizar los impactos sectoriales en infraestructura, la compra y fabricación de nueva tecnología y la producción de nuevos combustibles alternativos tales como la electricidad y los biocombustibles. Hallaron impactos positivos de la actividad industrial y de otros sectores, pero también que ciertas políticas de descarbonización del sector transporte pueden tener impactos negativos leves sobre el nivel de PBI europeo, principalmente por la expulsión del consumo e inversión privada debido al aumento de los costos de la transformación del sector transporte (mayores precios de combustibles alternativos y por ende mayores costos transversales).

En Zhang y Fujimori (2018) también se consolidó un modelo de equilibrio general con un modelo de transporte de pasajeros llamado “*Asia-Pacific Integrated Model*” (AIM), el cual capta el efecto de las decisiones de los pasajeros y el cambio tecnológico de los vehículos. De este modo pudieron explicar no solo cómo se programa un modelo de transporte con un modelo CGE, sino también captar y evaluar la interacción del sector transporte con el consumo de energía, con las emisiones de GEI y la macroeconomía para 17 regiones del mundo. Como principales resultados hallaron que la creación de impuestos a la contaminación o “*carbon tax*” es una política efectiva ya que estimula el desarrollo de transporte bajo en emisiones debido a que el mix de tecnología en el modelo es sensible al impuesto por lo que los pasajeros se ven motivados a elegir tecnologías bajas en carbono y combustibles tales como electricidad, gas y biomasa para viajes privados o personales.

Siguiendo esta línea de investigación, Schafer y Jacoby (2005) programaron un modelo de equilibrio general computado para captar los efectos de comportamientos de un modelo de distribución modal y de asignación de mercados (MARKAL por sus siglas en inglés) de las actividades de transporte de industrias y hogares, con un enfoque de economía internacional. Este ensamblado les permitió obtener una “foto” de las tecnologías en el sector transporte que son consistentes con un análisis multisectorial de políticas públicas para disminuir el nivel de emisiones de CO₂ comprometidas en el Protocolo de Kioto¹². Hallaron que las emisiones de carbono generadas por la demanda de transporte personal/privado deberían ser reducidas en un 21% en 2030, mientras que las emitidas por la demanda de servicios de transporte

¹² El Protocolo de Kioto compromete a 36 países industrializados y a la Unión Europea a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de conformidad con las metas y objetivos vinculantes individuales acordadas. En conjunto, esos objetivos suponen una reducción media de las emisiones del 5 % en comparación con los niveles de 1990 en el quinquenio 2008-2012 (el primer período de compromiso). Fuente: https://unfccc.int/es/kyoto_protocol

público deberán reducirse un 16%. En el primer caso, un tercio de la reducción de emisiones se debería a menor demanda de este tipo de medios de transporte, mientras que los dos tercios restantes se ahorrarían por la inserción de tecnologías más limpias y eficientes. Sin embargo, para que hubiera una mayor penetración de vehículos híbridos, se deberían realizar mayores compromisos de reducción de emisiones en el sector transporte, debido a que el proceso de producción de esa tecnología es muy contaminante.

Si bien no utilizaron un modelo de equilibrio general, Danyang Li (2019) aplicó un modelo llamado “*Global TIMES*” para estudiar los impactos que generaría una hipotética prohibición mundial del uso de combustibles fósiles y mostraron seis escenarios posibles de penetración de vehículos eléctricos, acordes a seis políticas de eliminación de combustibles fósiles. Los resultados muestran que si la prohibición se aplicara por 10 años (entre 2025 y 2035) y como consecuencia surgieran vehículos eléctricos (a distintas velocidades de penetración según cada escenario), para el año 2050 el consumo de energía del sector transporte mundial disminuiría un 56% y las emisiones directas un 84% comparadas con un escenario de referencia (sin prohibir combustibles fósiles). También hallaron que es muy importante descarbonizar el sector de generación eléctrica a medida que aumente la demanda eléctrica para transporte y que incentivar a las personas a utilizar medios de transporte no motorizados tales como caminar, utilizar bicicletas, monopatines, etc. puede ayudar aún mucho más a mitigar emisiones de CO₂.

Otras políticas públicas de transporte alternativo fueron evaluadas en Steenbergen et. al. (2011) mediante un modelo de equilibrio general estático aplicado a Bélgica. A través de la separación entre demanda de transporte de carga (camiones, vehículos semi livianos, vías navegables y ferrocarriles) y demanda de transporte de personas (trabajo y ocio), pudieron evaluar tres escenarios que consistían en introducir impuestos al kilómetro de circulación de vehículos según sean pesados, semipesados y autos livianos. En todos los escenarios, hallaron resultados positivos comparados contra un escenario base, en términos de utilidad de los hogares (de +0,04% a +1,15%), de PBI (de +0,01% a +0,06%) y empleo (de +0,05% a 0,30%).

Otros autores utilizaron metodologías de análisis diferentes, con modelos de ingeniería tales como los análisis de ciclo de vida¹³ o modelos integrados para simular sustitución de tecnologías de transporte y analizar su impacto en la distribución geográfica de las

¹³ Proceso por el cual se analiza el valor económico de un proyecto valuando sus costos fijos y variables a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

infraestructuras de una ciudad, en el nivel de emisiones total, en los cambios de comportamiento de los agentes y en la economía en general. En esta línea, Zhang (2017) analizó el desarrollo de los vehículos eléctricos (VE) en China desde la perspectiva del costo del ciclo de vida y el impacto ambiental y propone diferentes combinaciones óptimas de despacho eléctrico que reduzcan los costos de ciclo de vida y ambientales de los VE en distintas regiones de China. Concluyó que la matriz de generación eléctrica óptima que disminuye costos de ciclo de vida de los VE debe ser una en la que el consumo de carbón se reduzca del 73% al 58%, la energía hidroeléctrica pase de 19% al 7%, la energía eólica, solar y nuclear alcancen el 3,8%, 3,6% y 7,4% de participación respectivamente, mientras que el almacenamiento y captura de carbono y el gas natural pasen a aportar el 10,3% y 7,7% respectivamente de la energía eléctrica generada. Debido a este mix, en términos de emisiones o costos ambientales, los híbridos enchufables y los puramente eléctricos lograrían disminuir las emisiones en un 7% y 15,4% respectivamente. También se halló que los vehículos híbridos generan la mayor reducción de emisiones respecto del resto de los tipos de VE, debido a que consumen menos combustible fósil y no requieren de estaciones de carga y mayor generación eléctrica. Finalmente, los resultados económicos arrojaron que los vehículos híbridos que no requieren carga son los que generarían menores costos económicos al sistema eléctrico, resultado similar al que también arribó Wu et. al. (2012) estudiando el impacto de uso de derivados de petróleo, energía fósil y emisiones de CO₂ por kilómetro y por ciclo de vida *Well-to-Wheel* (WTW)¹⁴ en tres regiones desarrolladas de China.

Continuando con esta temática, Zhang (2021) desarrolló un modelo de equilibrio parcial integrado¹⁵, de uso de tierra-transporte-energía para examinar las interacciones entre la ubicación de los agentes, el uso de la tierra, patrones de transporte, perfiles o tipos de consumo de energía y la economía en su conjunto, como consecuencia de la mayor penetración de vehículos eléctricos en el parque automotor. Uno de los escenarios simulados muestra que una inserción ambiciosa (70% del parque automotor total en el año 2050 sería eléctrico) de los VE tendría resultados positivos en las ciudades por la reducción del nivel de emisiones (en 2050 emitir un 35% menos

¹⁴ El ciclo de vida *Well to Wheel* (WTW) consiste en considerar y valorar el costo de las emisiones de todo el ciclo del combustible, desde su producción hasta su uso en los vehículos o demanda final. Se suele separar en dos etapas, *Well to Tank* (WTT), la cual comienza en la recuperación y obtención del combustible y finaliza en las estaciones de servicio o reposición; y el *Tank to Wheels* (TTW) la cual mide la etapa de actividad de los vehículos (Wu et. al., 2012).

¹⁵ Computable Urban Economic (CUE): se usa para representar las interacciones entre los usos de la tierra y los sistemas de transporte a través de una serie de condiciones de equilibrio de mercados, donde los comportamientos de los agentes están definidos exógenamente mediante funciones de utilidad o de maximización de beneficios.

respecto al año base) mientras que los beneficios económicos tenderían a ser mayores en las áreas suburbanas, implicando que los VE tendrían un rol importante en la organización espacial de la infraestructura de las ciudades, lo cual significa que los avances tecnológicos en el sector transporte tienen impactos positivos en todo el sistema económico.

Por su parte, Rocco et. al. (2018) propuso un modelo insumo-producto híbrido para analizar el impacto de un cambio en el mix de la tecnología de transporte en Alemania, siguiendo la línea de análisis de ciclo de vida con enfoque *top-down*¹⁶ o modelos basados en insumo-producto. Este enfoque le permitió analizar el impacto económico y medioambiental de la penetración de vehículos eléctricos de batería de combustible (*Fuel Cell Electric Vehicles* por sus siglas en inglés) hacia 2050, ya que permite simular no solo la producción de los nuevos vehículos sino también la evolución prospectiva de la nueva matriz de generación eléctrica. Concluyó que el valor agregado nacional aumentaría un 0.3% luego del shock tecnológico de mayor energía renovable en la matriz de generación eléctrica, logrando también una reducción del 30% de las emisiones de CO₂ de dicho sector. Por su parte, la contribución del sector transporte está limitada, ya que a pesar de que los vehículos eléctricos serían del 30% del parque y se los considera como vehículos de emisión cero, no hallaron una reducción considerable de las mismas en comparación con un escenario de base.

En contraste, Zhao et al. (2015) hallaron que los vehículos eléctricos de rango extendido¹⁷ y los vehículos eléctricos a batería tienen un gran potencial para la mitigación de emisiones del sector de generación eléctrica. Zhao y Tatari (2016) también hallaron con la misma metodología, que los camiones eléctricos tienen ligeramente más emisiones y mayor consumo de energía que otras alternativas de combustibles a utilizar en transporte de cargas. Por último, Sharma y Strezov (2017) realizaron la comparación de combustibles alternativos de transporte (biodiesel, gas natural comprimido, propano licuado, etanol, hidrogeno, celda de combustible y eléctricos híbridos) con combustibles convencionales (derivados directos de petróleo) y su respectivo impacto ambiental. Hallaron que el mejor combustible mitigador de

¹⁶ Es un enfoque que analiza el impacto de productos medios de sectores nacionales basados en modelos empíricos de toda la economía, como por ejemplo las matrices insumo producto. Estas matrices se basan en fuentes de información pública y constantemente actualizada, permite incluir en el análisis las contribuciones directas e indirectas de todas las actividades económicas.

¹⁷ El vehículo eléctrico de rango extendido ofrece una propulsión 100% eléctrica durante cierta distancia y que cuando la batería llega a niveles de bajo rendimiento, se activa un pequeño motor interno a combustión que genera energía para el motor eléctrico que tiene el vehículo. De este modo, se supera el rango de distancia que recorren los vehículos eléctricos recargables a batería.

emisiones y de mejor impacto económico es el hidrógeno utilizado en los vehículos de celda de combustible.

Es relevante concluir de la bibliografía, que la evaluación de políticas públicas para poder cumplir con objetivos ambientales y económicos es de suma importancia para la toma de decisiones privadas y públicas. Es por eso, que este trabajo está orientado a poder cuantificar o establecer parámetros de los costos que podrían tener las transiciones energéticas en Argentina. En la Tabla 1 se puede observar un resumen de los principales hallazgos con cada metodología aplicada por los autores relevados.

Tabla 1. Relevamiento de literatura.

Autor	Año	Metodología	Lugar de aplicación	Hallazgo
Berg	2006	CGE	Suecia	Financiar objetivos de emisiones de carbono con "carbon tax" y otorgar beneficios impositivos a las empresas de transporte tienen menos costo de bienestar que cobrar impuestos a los hogares.
Khanam et. al.	2011	CGE	Japón	Grandes impactos sectoriales de producir VE. El efecto sobre el PBI de la ciudad de Toyohashi fue de +0.9%.
Steenbergen et. al.	2011	CGE	Bélgica	Introducir impuestos a la circulación de vehículos aumenta la utilidad de los hogares (de +0,04% a +1,15%), aumenta el PBI (de +0,01% a +0,06%) y el empleo (de +0.05% a 0,30%).
Li	2016	CGE	China	Promover una política combinada de ACC con mayor penetración de VE es más eficiente que sólo incentivar la penetración de VE en términos de reducción de emisiones de CO ₂ y de menores pérdidas de PBI.
Schmelzer et. al	2018	CGE	Austria	Construcción de nueva infraestructura para la carga de VE tiene impactos positivos de entre +0.02% y +0.1% en el PBI total. Incentivar la electromovilidad mediante impuestos al carbono hace reducir 0.03% y hasta 0.2% el PBI en 2030.
Zhang	2018	CGE	China	Los VE podrían reducir un 34% las emisiones de CO ₂ para 2030 debido a que serán un 30% de las ventas en ese año. Regular la velocidad de circulación mejora más el bienestar que el uso de VE.
Zhang y Fujimori	2018	CGE/AIM	17 regiones	La creación de impuestos a la contaminación o "carbon tax" es una política efectiva ya que estimula el desarrollo de transporte bajo en emisiones
Schafer y Jacoby	2005	CGE-MARKAL	Mundo	Para cumplir los compromisos del Protocolo de Kioto, las emisiones de carbono generadas por la demanda de transporte personal/privado deberían ser reducidas en un 21% en 2030, mientras que las emitidas por la demanda de servicios de transporte público deberán reducirse un 16%
Zhang	2021	Computable urban economic (CUE) y Equilibrio Parcial	China	Una inserción de los VE del 70% del parque automotor total en el año 2050, reduciría las emisiones un 35% respecto al año base
Lin	2021	DYNCGE	China	La mayor penetración de los VE puede promover el desarrollo económico y a la vez reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, incluso aunque haya un aumento de las emisiones por parte del sector de generación eléctrica
Karkatsoulis et. al.	2016	GEM-E3T / Primes-Tremove	Europa	La descarbonización del sector de transporte tiene pequeños impactos negativos en el PBI de Europa, comparado con un escenario de base.
Danyang y Wenying	2019	Global TIMES	Mundo	Si se prohíbe por 10 años utilizar vehículos a combustión interna y como consecuencia surgen vehículos eléctricos, para el año 2050 el consumo de energía del sector transporte mundial disminuiría un 56% y las emisiones directas un 84%.

Kejun et. al.	2021	IPAC, IPAC-CGE y IPAC-AIM	China	Para cumplir el objetivo de 1.5°, las emisiones del sector transporte deberían ser cero en 2050 y para ello la expansión de la penetración de los vehículos eléctricos tendría un rol crucial para cumplir con la reducción de emisiones de CO2 necesarias para dicho objetivo
Wu et. al.	2012	Life Cycle Analysis (LCA)	China	Los vehículos híbridos que no requieren carga son los que generarían menores costos económicos al sistema eléctrico.
Sharma y Strezov	2017	Life Cycle Analysis (LCA)	Australia	El mejor combustible mitigador de emisiones y de mejor impacto económico es el hidrógeno utilizado en los vehículos de celda de combustible.
Zhang	2017	Life Cycle Analysis (LCA)	China	Los vehículos híbridos enchufables y los puramente eléctricos lograrían disminuir las emisiones en un 7% y 15,4% respectivamente
Zhao et al.	2015	Life Cycle Analysis (LCA) y MIP	EEUU	Los vehículos eléctricos de rango extendido y los vehículos eléctricos a batería tienen un gran potencial para la mitigación de emisiones del sector de generación eléctrica
Zhao y Tatari	2016	Life Cycle Analysis (LCA) y MIP	EE. UU.	Los camiones eléctricos tienen ligeramente más emisiones y mayor consumo de energía que otras alternativas de combustibles a utilizar en transporte de cargas
Rocco et. al.	2018	MIP	Alemania	El VA aumentaría un 0.3% luego del shock tecnológico de mayor energía renovable en la matriz de generación eléctrica, logrando también una reducción del 30% de las emisiones de CO ₂ de dicho sector
Shafiei	2017	MIP dinámico	Nueva Zelanda	La política más eficiente de penetración de VE en la flota vehicular es la de un subsidio al costo de compra y a la infraestructura del VE, en lugar de prohibir el uso de los VCI.
Shafiei	2018	MIP dinámico	Islandia	La política más eficiente de penetración de VE en la flota vehicular es la de un subsidio al costo de compra y a la infraestructura del VE, en lugar de prohibir el uso de los VCI.
ACARA	2021	Survey	Europa y China	El crecimiento de los VE se debe a fuertes incentivos fiscales y financieros en China y Europa.

2.2 Reseña de antecedentes locales y prospectiva del sector transporte

En el año 2002, los sistemas de transporte carretero urbano de pasajeros de las principales ciudades de Argentina se encontraban sufriendo varias crisis en paralelo a la gran crisis económica del 2001 tales como la mayor motorización privada de la década de 1990 y el gran proceso de expansión urbana que se desarrolló en las capitales provinciales que dejó en evidencia la falta de inversiones en infraestructura de transporte. Esos procesos llevaron a una mayor evolución de la movilidad privada en detrimento del transporte público, ocasionando problemas de congestión, contaminación y accidentes. Durante los años siguientes al 2002, se han sumado otras razones de menor uso de transporte público tales como los cambios en la distribución de ingreso de la población y las actividades, los cambios en el empleo en el Área Metropolitana Buenos Aires (AMBA), los cambios en los patrones de movilidad de la población (mayor tasa de motorización), el desempeño de los restantes modos y la pérdida de competitividad del transporte automotor y el auge del transporte informal (Barbero y Bertranou, 2019).

Según Rodríguez Tornquist y Vazano (2019), las políticas de transporte público en Argentina comenzaron a fortalecerse luego de la crisis de 2001, fundamentalmente motivadas por organismos internacionales de crédito (Banco Mundial y el BID) que buscaron incentivar políticas de gestión ambiental y social, basándose en la jerarquización de la agenda de la acción contra el cambio climático. En el caso del AMBA, en 2014 se aprobó mediante el decreto 1359/14 un convenio tripartito entre el Estado Nacional, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Provincia de Buenos Aires con el objetivo de abordar la cuestión del transporte en el AMBA de una manera más exitosa y eficiente que la situación de multiagencialidad de las diversas jurisdicciones (UNTREF, 2015). Además, en el año 2015, se lanzó el Plan Federal Estratégico de Movilidad, Transporte y Logística (PFETRA 2015) que propuso lineamientos que ofrecían cierta sostenibilidad al plan: i) políticas de mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático, ii) políticas de menor contaminación acústica, del agua, del aire y del suelo, iii) políticas para la seguridad vial y operacional del transporte en general, iv) políticas de habitabilidad, v) políticas energéticas y vi) políticas relacionadas con la equidad.

Una de las políticas en las que más se ha avanzado en el AMBA y con réplicas en las principales ciudades del interior del país, fue la de creación de carriles exclusivos para el transporte público de pasajeros denominado "Metrobús" o "*Bus Rapid Transit*". En mayo 2011 se inauguró el primer Metrobús de la Ciudad de Buenos Aires sobre la Avenida Juan B. Justo, con una extensión de 12 km, 150.000 pasajeros beneficiados con una reducción del 40% en el tiempo de viaje. Según estudios realizados, la demanda de estas líneas aumentó en un

25%, el consumo de combustible se redujo un 20% debido a que las distancias de las paradas de ascenso y descenso reducen las aceleraciones y frenadas constantes de los colectivos, disminuyendo así los factores de combustión y la consecuente emisión de gases.

Luego de esta experiencia, a mediados de 2013 se inauguró el Metrobús 9 de Julio con 3 km de extensión sobre la avenida más importante de la Ciudad de Buenos Aires y generó un impacto positivo sobre el medio ambiente urbano y una mejora sensible de la calidad de viaje y la seguridad vial de un total de 11 líneas de colectivos que viajan en 4 carriles exclusivos y paran en 17 estaciones (León, 2016). Estas políticas de transporte con impactos positivos llevaron a que se desarrollaran más carriles exclusivos de este tipo en toda la Ciudad, tales como Metrobús Sur, Metrobús Autopista 25 de mayo, Metrobús Norte, Metrobús San Martín y Metrobús del Bajo. Además, luego del avance de estos carriles especiales por la Ciudad, el modelo se implementó en diferentes centros urbanos del interior del país y del AMBA, regiones que obtuvieron beneficios de reducción de tiempo de viaje y contribuciones positivas al medio ambiente. Dentro del AMBA, se crearon el Metrobús de Florencio Varela, el Metrobús Ruta 8, Metrobús Calchaquí (Quilmes), Metrobús Oeste (Morón) y Metrobús La Matanza. Respecto al interior del país, se crearon el Metrobús Santa Fe y Metrobús Rosario (ambos en la provincia de Santa Fe) y Metrobús Neuquén (en Provincia de Neuquén).

Para continuar con el estudio de reducción de emisiones del transporte urbano de pasajeros, la Ciudad de Buenos Aires creó el Programa de Prueba Piloto de Colectivos de Combustibles Alternativos¹⁸, en el marco del Plan de Movilidad Limpia lanzado en diciembre de 2017, en el que se propuso reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) y gases contaminantes, como los óxidos nitrosos (NOx) y el material particulado (MP). Estas pruebas permitieron conocer las viabilidades operativas, económicas y ambientales en condiciones reales de buses propulsados con gas natural comprimido (GNC), con electricidad y con biodiesel.

Para el bus a biodiesel se halló en Garros et. al (2021) un leve aumento de consumo de combustible, en comparación al diésel convencional por su menor poder calorífico, pero permitió reducir las emisiones de CO₂ en entre el 66% y 76%. Además, se encontraron importantes reducciones en las emisiones de monóxido de carbono, material particulado, e hidrocarburos, en el orden del 48%, 50-70%, y 20-70%, respectivamente. En cuanto a los resultados técnicos, no se encontraron grandes diferencias de implementación y uso respecto de un bus con diésel, aunque destacan la importancia de ciertas tareas de mantenimiento específicas para este tipo de combustible no fósil (limpieza de tanques, cambios de filtros, etc.). Por último, en términos económicos es una inversión que no requiere de importantes

¹⁸ Resolución N°634/SECTTRANS/17

desembolsos pero que está sujeta a las señales de precios del mercado de biocombustibles y combustibles fósiles, la cual se ve distorsionada por los subsidios al diésel, desincentivando entonces a que las empresas realicen el cambio tecnológico.

Por su parte, los resultados de la prueba piloto del bus a gas natural comprimido (GNC) otorgaron resultados ambientales opuestos a los esperados según Garros et. al (2021), ya que el vehículo generó 233,5 kgCO₂/100km, un 32% más de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto al diésel, aunque los óxidos nitrosos y el material particulado se vieron significativamente reducidos; es decir, si bien aumenta la huella de carbono del GNC, se mejora la calidad del aire en términos de agentes tóxicos. Como impacto positivo que contribuye al medioambiente, se reduce la contaminación sonora respecto al diésel. Por último, en términos económicos, el costo por kilómetro es 1,5% mayor al del diésel, particularmente por mayor consumo (debido a factores tecnológicos no observados en el estudio).

Finalmente, las pruebas con el bus eléctrico otorgaron resultados muy positivos en términos ambientales según Garros et. al (2021). Mientras que el bus diésel emite 131,79 TnCO₂ por bus, el bus eléctrico (considerando toda la cadena de emisiones, desde la matriz energética) emite 15,08 TnCO₂, un 88% menos de emisiones anuales por bus¹⁹. A pesar de la gran ventaja ambiental, existen barreras regulatorias²⁰, técnicas²¹ y económicas-financieras²² que dificultan la implementación a gran escala de este tipo de transporte urbano de pasajeros que deben ir liberándose a medida que se desarrolle la tecnología y los costos que faciliten el cambio tecnológico. Por último, respecto a este último punto, se concluyó que el precio de compra (principalmente por el costo de las baterías) y la inversión en infraestructura de carga hacen que el costo por kilómetro del bus eléctrico sea un 18% mayor al del bus diésel, a pesar de que el costo de operación (mantenimiento, recarga, etc.) sea mucho menor.

En julio de 2019 se incorporaron a la flota de transporte urbano de pasajeros del Área Metropolitana del Gran Mendoza (Provincia de Mendoza), 18 colectivos eléctricos, 12 fabricados por la compañía china Build Your Dreams (BYD) e importados por Andesmar, y 6 fabricados por la firma Zhongtong también de origen chino y distribuidos por la empresa argentina Corven. Costaron 400.000 USD cada unidad y 15.000 USD por cargadores cada

¹⁹ Resultados sujetos a mejoras en los consumos de combustible de cada bus.

²⁰ Los marcos regulatorios deben actualizarse para incorporar parámetros y condiciones técnicas, administrativas y burocráticas que homologuen el uso correcto y seguro de este tipo de movilidad limpia.

²¹ Por ejemplo, la disponibilidad de potencia eléctrica en cabecera, la cual depende de las inversiones e incentivos económicos que tenga la distribuidora eléctrica en la zona de concesión.

²² La inestabilidad económica del país dificulta el acceso a créditos blandos e inversiones de gran escala que cuenten con un retorno aceptable de mercado.

uno y fueron adquiridos a través de financiamiento privado que recibió la provincia en el marco del Plan de Movilidad Sostenible para el Área Metropolitana de Mendoza 2030. Destacan que se realizan cargas de las baterías durante la noche (toma entre tres y cinco horas) y prestan servicio durante el día con una autonomía de 250 km, aunque una de las barreras para la implementación a escala y de manera privada es la falta de financiamiento y los elevados costos de adquisición.

Sin embargo, si bien estas políticas aportaron resultados positivos medioambientales, continúa siendo necesario una mayor reducción de las emisiones de CO₂ por parte de estos medios a modo de cumplir con los compromisos internacionales asumidos. En 2015, Argentina realizó la adopción del Acuerdo de París comprometiéndose a alcanzar en 2030 los 530 MMtCO₂e en sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés), ratificando los niveles y haciendo entrar en vigor en 2016 el Acuerdo de París en post de mantener el aumento de la temperatura media global muy por debajo de 2°C, y lo más cerca posible de los 1,5°C respecto de los niveles preindustriales. En la primera revisión en ese mismo año, se realizaron ajustes definiendo como meta absoluta las 483 MMtCO₂e a 2030 y se elaboraron en 2019 los Planes Nacionales de Respuesta al Cambio Climático, de Mitigación, de Adaptación y de Acción Nacional Sectoriales de Cambio Climático. En 2020, en su segunda NDC, se revisaron los objetivos propuestos en 2016 y se presentó una meta absoluta e incondicional de 358 MMtCO₂e a 2030. Posteriormente, en 2021 Argentina asistió a la Cumbre de Líderes sobre el Clima donde ratificó un nuevo compromiso en el nivel de emisiones al 2030, el cual debe ser de 349 MMtCO₂e. Todos estos compromisos fueron y son guías para la elaboración de políticas públicas aplicadas a sectores transversales que tienen un importante peso en el total de emisiones del país.

Actualmente existe en Argentina el Plan de Eficiencia Energética en Transporte²³ dirigido por la Secretaría de Energía, el cual tiene como objetivo promover buenas prácticas de conducción en vehículos de carga y livianos que permitan reducir el consumo de combustibles fósiles en todo el país. Por su parte, el Plan de Etiquetado de Eficiencia Energética²⁴ de vehículos livianos tiene el fin de informar a los futuros usuarios de vehículos nuevos de forma precisa el consumo específico de combustible y las emisiones de CO₂ asociadas. Al mismo tiempo, dentro del Plan Nacional de Eficiencia Energética²⁵ se proyecta realizar una encuesta a 45.000 agentes de todo el país, divididos en grupos de vehículos con el objetivo de relevar información descriptiva y característica del parque automotor, de los recorridos y consumos relacionados a modo de dimensionar la demanda de combustible nacional a partir de un

²³ Ver: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-en-el-transporte>

²⁴ Ver: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/etiqueta-vehicular>

²⁵ Ver: https://eficienciaenergetica.net.ar/plan_nacional.php#

muestreo estratificado y contar con información más detallada al momento de aplicar políticas de eficiencia energética más focalizadas.

Los enfoques de estas políticas están orientados a identificar posibles ahorros de emisiones en automóviles particulares y utilitarios. El uso de este último tipo de vehículo es dificultoso de segmentar debido a que la estructura de este puede ser aplicada tanto a actividades comerciales como a actividades de uso privado. No existen en la actualidad políticas de incentivos que permitan a las empresas realizar una sustitución del utilitario con combustión interna por uno traccionado a electricidad, aunque existe un caso de fabricación local de un utilitario eléctrico llamado Tita²⁶, el cual tiene una autonomía de 100km y una capacidad de carga de hasta 500kg. Sobre esta situación, se analizará en este trabajo el impacto de sustituir estos vehículos livianos de combustión interna por vehículos eléctricos.

Con relación al futuro del transporte, en octubre de 2021 se presentó al Congreso Nacional el Proyecto de Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable realizado por el Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. Esgrime que existen tres motivos para que se promueva la movilidad sustentable, los cuales son: i) ambientales, ii) económicas y iii) estratégicas.

En cuanto a las primeras, el sector transporte en Argentina representa el 33% de la demanda energética total y explica el 13,8% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), dentro de las cuales el CO₂ representa el 24% por lo cual, si bien la participación de Argentina en las emisiones totales mundiales es de 0,8% y del 11,5% respecto de las emitidas en América Latina y El Caribe²⁷, hay suficiente incentivo a generar un medio ambiente más sustentable. Respecto de los motivos económicos, existe una oportunidad de potenciar la industria automotriz incrementando la producción local de vehículos de movilidad sustentable, de sus partes, componentes y equipos auxiliares. Como consecuencia de esto, se generarían nuevas exportaciones a nuevos mercados más atractivos y novedosos como así también externalidades positivas en el desarrollo de nuevas tecnologías en otros sectores productivos. Aprovechar la oportunidad económica lleva en consecuencia a tener una oportunidad estratégica a la hora de atraer inversiones. En primer lugar, existen materias primas claves en el proceso de producción de vehículos eléctricos, tales como cobre, litio y energías renovables. En segundo lugar, existe una demanda de transporte controlada por el Poder Ejecutivo Nacional que es el sistema de transporte del AMBA por el cual se puede comenzar a implementar una movilidad limpia. Por último, existe un tejido productivo de autopartes

²⁶ <https://movilidad.coradir.com.ar/tita/>

²⁷ Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO₂). Dato del año 2018. Fuente: Indicadores del desarrollo mundial. Banco Mundial.

robusto y ciertos antecedentes de producción de vehículos eléctricos en el país que otorgan un marco para poder desarrollar estas tecnologías más limpias.

3. Modelo de insumo producto, sector energético y sector transporte.

3.1 Metodología

Un modelo de insumo-producto enfoca su análisis sobre algunos mercados específicos, en un momento de tiempo dado, ignorando potenciales interacciones con otros mercados a diferencia de los modelos de equilibrio general. Este tipo de modelos sirve para predecir y estudiar cambios en ciertas variables relevantes de la economía, tales como los precios, el comercio, los ingresos y distintos tipos de medidas de eficiencia económica. Según Pulido y Fontela (1993), Wassily Leontief (1941) explicó en sus primeros trabajos las relaciones productivas intersectoriales en Estados Unidos a través de la metodología insumo-producto (“Input-Output”), basado en cuantificar el modelo matemático de León Walras (1874), quién demostró que la economía es un sistema complejo en que la oferta, la demanda, los precios de los bienes y factores y las cantidades de todo bien depende de la oferta, la demanda, los precios de los bienes y factores y cantidades de los otros bienes restantes de la economía, y que en todo momento debe existir una solución a este sistema de relaciones (es decir, un equilibrio general que incorpore los equilibrios parciales de todos los mercados de bienes y servicios).

Siguiendo lo descrito en Miller y Blair (2009), la estructura matemática del sistema de input-output consiste en un conjunto de n ecuaciones lineales con n incógnitas, que pueden ser representadas en un sistema de matrices. Asumiendo que la economía cuenta con n sectores, y denotando a x_i como la producción del sector i y a f_i como la demanda final total del producto del sector i , se puede escribir una simple ecuación contable que describa el modo en que el sector i distribuye su producto a través de ventas a los otros sectores y a la demanda final:

$$x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + f_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + f_i \quad (1)$$

El término z_{ij} representa las ventas interindustriales del sector i (también conocidas como las ventas intermedias) a todos los sectores j (incluyendo las ventas al mismo sector cuando $j=i$). La ecuación (1) representa la distribución del producto del sector i y habrá una ecuación como esa que represente las ventas de productos de cada uno de los n sectores de la economía:

$$\begin{aligned}
x_1 &= z_{11} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + f_1 \\
&\vdots \\
x_i &= z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + f_i \quad (2) \\
&\vdots \\
x_n &= z_{n1} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + f_n
\end{aligned}$$

Que ordenado en forma matricial queda:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \dots & z_{nn} \end{bmatrix} \quad y \quad f = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}$$

Donde x y f son vectores columna, mientras que \mathbf{Z} es una matriz. En notación matricial quedaría del siguiente modo:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{f} \quad (3)$$

donde \mathbf{i} representa un vector columna de 1 (unos) de dimensión n , el cual es conocido como el vector suma o sumatorio.

La columna j del sector z en la parte central del sistema de ecuaciones,

$$\begin{bmatrix} z_{1j} \\ \vdots \\ z_{ij} \\ \vdots \\ z_{nj} \end{bmatrix}$$

Informa las ventas del sector j al mismo sector j que le compra, por lo que el vector representa los recursos y las magnitudes de los insumos del sector. Esta relación, de manera agregada en términos de producción, implica que el sector j también compra a otros sectores como trabajo y capital. Todos estos insumos primarios son determinados en el valor agregado del sector j que incluso también puede importar productos primarios. Por lo tanto, este vector tiene la función de captar no solo las compras de insumos intersectoriales, sino también las compras intrasectoriales que son utilizadas como insumo para producir una unidad del sector j .

El análisis de insumo-producto requiere que los flujos interindustriales de i a j dependan del producto total del sector j en el mismo período de tiempo, es decir, no existe en el modelo la idea de a mayor producción de autos, mayor debe ser la producción de acero. Mas bien, la relación que explica el modelo es la de cuánto se utilizó de un bien para obtener una unidad de producción de otro bien. Esta relación está explicada por los llamados coeficientes técnicos:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad (4)$$

donde z_{ij} es el valor del insumo i comprado por el sector j y x_j es el producto total generado por el sector j . Este coeficiente técnico es analizado como una medición de relaciones fijas o constantes entre el sector de insumo y el sector de producto, por lo que el concepto de Economías de Escala es ignorado en este modelo ya que el sistema opera bajo la dinámica de los retornos constantes a escala en la función de producción. Por lo tanto, realizando un álgebra matricial y reemplazando en (2):

$$a_{ij} * x_j = z_{ij} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n + f_1 \\ &\vdots \\ x_i &= a_{i1}x_1 + \dots + a_{ii}x_i + \dots + a_{in}x_n + f_i \quad (6) \\ &\vdots \\ x_n &= a_{n1}x_1 + \dots + a_{ni}x_i + \dots + a_{nn}x_n + f_n \end{aligned}$$

De este modo queda representada la dependencia de los flujos interindustriales en la producción total del sector. Este tipo de planteo del modelo permite responder preguntas como cuáles son los efectos en las variables endógenas (cambio en la producción de bienes) de un shock en las variables exógenas (cambio en la demanda final). Tomando el sistema (6) y teniendo en cuenta que tanto los coeficientes técnicos como las demandas f_i son datos exógenos y las variables a determinar son las producciones totales de los sectores x_i , pasando todos esos componentes de datos a la parte izquierda de la matriz y agrupando variables, resulta:

$$\begin{aligned} (1 - a_{11})x_1 - \dots - a_{1j}x_j - \dots - a_{1n}x_n &= f_1 \\ &\vdots \\ -a_{i1}x_1 - \dots + (1 - a_{ii})x_i - \dots - a_{in}x_n &= f_i \quad (7) \\ &\vdots \\ -a_{n1}x_1 - \dots - a_{ni}x_i - \dots + (1 - a_{nn})x_n &= f_n \end{aligned}$$

Estas relaciones pueden expresarse en formas matriciales. En notación de álgebra matricial, el \hat{x} denota una matriz diagonal con los elementos del vector a lo largo de su diagonal principal,

de modo que $\hat{x} = \begin{bmatrix} x_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & x_n \end{bmatrix}$. Tomando la definición básica de matriz inversa de que la

postmultiplicación de la matriz \hat{x} por su inversa da como resultado la matriz identidad, tenemos que:

$$(\hat{x})(\hat{x})^{-1} = \mathbf{I}$$

$$(\hat{x})(\hat{x})^{-1} = \frac{\mathbf{I}}{(\hat{x})} = \begin{bmatrix} 1/x_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1/x_n \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, por propiedad del algebra matricial tenemos que la postmultiplicación de una matriz \mathbf{M} por una matriz diagonal \hat{d} , crea una matriz \mathbf{A} donde cada elemento en la columna j de \mathbf{M} es multiplicado por el componente \hat{d}_j . Por ende, la matriz de coeficientes de $n \times n$ puede ser presentada del siguiente modo:

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}(\hat{x})^{-1}$$

Usando las matrices definidas inicialmente, tomando el sistema (6) y reordenando, tenemos que:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f}$$

$$\mathbf{x} - \mathbf{Ax} = \mathbf{f}$$

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{f} \quad (8)$$

Donde $\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$, por lo que $(\mathbf{I} - \mathbf{A}) = \begin{bmatrix} (1 - a_{11}) & -a_{12} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & (1 - a_{22}) & \dots & -a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -a_{n1} & -a_{n2} & \dots & (1 - a_{nn}) \end{bmatrix}$.

Reemplazando en (8):

$$\begin{bmatrix} (1 - a_{11}) & -a_{12} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & (1 - a_{22}) & \dots & -a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -a_{n1} & -a_{n2} & \dots & (1 - a_{nn}) \end{bmatrix} \mathbf{x} = \mathbf{f} \quad (9)$$

Para un conjunto dado de demandas \mathbf{f} , existe un set de n ecuaciones lineales con n incógnitas x_1, x_2, \dots, x_n que pueden o no tener una única solución. De hecho, que exista una solución depende del hecho de que la matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A})$ sea no singular, es decir, que exista o no la matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ y para eso debe cumplirse que el determinante de la matriz $|\mathbf{I} - \mathbf{A}|$ sea distinto de cero. Se utilizará la siguiente fórmula que permitirá realizar los escenarios detallados en la Sección 3.3

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} = \mathbf{L}\mathbf{f} \quad (10)$$

Donde \mathbf{L} es la inversa de Leontief o matriz de requerimientos totales. Utilizando este modelo primal, podremos evaluar los impactos macroeconómicos generados por cambios en la demanda final, por ejemplo, de una menor cantidad de vehículos a combustión interna o de una mayor demanda de vehículos eléctricos.

3.2 Datos

Sector energético

La energía es un insumo básico y fundamental para el funcionamiento diario de una economía productiva y es eje central en las decisiones económicas de los agentes de ésta.

La oferta interna total de energía (OIT) se define como la suma de la oferta interna de la energía primaria²⁸ y el efecto del saldo de los intercambios de importación y exportación de la energía secundaria²⁹. Así, la OIT captura el impacto de las importaciones y exportaciones de energías secundarias en la matriz energética y constituye a la oferta energética neta del país sin considerar a los procesos de transformación de los productos energéticos que luego pueden acontecer en el sistema económico.

Una característica de alta relevancia de la matriz energética de Argentina radica en el alto grado de dependencia de los hidrocarburos, y en particular del gas natural. A lo largo de la historia, la dependencia de este tipo de hidrocarburo ha ido tomado mayor relevancia³⁰ debido al descubrimiento de nuevos yacimientos³¹ y al desarrollo de nueva infraestructura de transporte a partir de la década del '70³² que se sumó a la existente. En la actualidad, con el avance de la tecnología de explotación del hidrocarburo no convencional (de esquisto), se factibilizó la explotación de dicho recurso en el yacimiento de Vaca Muerta, lo cual permitió que el gas natural revierta su tendencia declinante en la matriz energética y otorgue perspectivas de crecimiento al país en términos del uso y consumo de este recurso en conjunto con el desarrollo de mayor infraestructura e interconexión comercial con el resto del mundo. En paralelo, en la última década las energías renovables no convencionales tales como la eólica y la solar han logrado incrementar su participación en la oferta interna total gracias a diferentes políticas públicas orientadas a generar incentivos económicos y financieros para la explotación de dichas energías. De este modo, Argentina cuenta con una matriz, que, si bien es dependiente del gas natural en un 60%, cuenta con otras fuentes alternativas que se espera tendrán mayor participación a lo largo del tiempo.

En cuanto al uso intermedio de la energía primaria, la matriz de generación eléctrica está compuesta, en promedio en la última década, por un 64% de generación térmica, seguida de un 27% de hidráulica con potencia mayor a 50 MW, 5% de nuclear y por último 4% de energías

²⁸ Energía hidráulica, energía eólica, energía nuclear, gas natural, petróleo, carbón, leña, bagazo y aceites y alcoholes vegetales.

²⁹ Energía eléctrica, gas distribuido por redes, gas licuado, gas de refinería, naftas, diésel, gasoil, biocombustibles, entre otros combustibles líquidos y gaseosos refinados.

³⁰ La oferta interna total de gas natural en 1970 era del 16%. En 2020 alcanzó una participación del 60%.

³¹ Descubrimiento y explotación del yacimiento Loma La Lata, Neuquén.

³² Construcción de los gasoductos NEUBA I y San Martín en 1970, del CENTRO OESTE en 1981 y del NEUBA II en 1988.

renovables. El combustible más utilizado en la generación térmica es el gas natural, con un promedio de 79% en los últimos 10 años, seguido del fuel oil y el gas oil (9% y 8% respectivamente) y el carbón mineral con un 4%. En cuanto a la generación renovable, la energía del viento aporta el 65% (2.6% de la generación total), seguida de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (PAH) con un 17% (0,68% del total), la energía solar con un 10% (0,4% del total), otros tipos de energías renovables como el biogás y la biomasa aportan el 9% restante (0,36% del total).

En cuanto al consumo final de energía, el sector Residencial, Transporte e Industrial consumen en promedio el 80% (27%, 26% y 26% respectivamente), mientras que el resto es consumido por el sector Comercial, Agropecuario y distintos Usos No Energéticos (por ejemplo, asfaltos y lubricantes derivados del petróleo), tal como puede observarse en la Tabla 2. El sector Residencial consume el 25% de energía eléctrica y el 64% de gas distribuido por redes, y los hogares que no están conectados a la red de distribución consumen un 9% de gas licuado de petróleo en garrafas (GLP). En cuanto al sector Transporte, el 80% de la energía consumida son las moto naftas (36%) y el diésel oil y gasoil (45%), mientras que los vehículos que consumen gas natural comprimido (GNC) que es distribuido por redes toman un 13% de ese energético.

Tabla 2. Consumo final de energía. Promedio 2010-2020.

Energía	Residencial	Comercial y público	Transporte	Agropecuario	Industria
Energía Eléctrica	25%	58%	0%	2%	33%
Gas Distribuido por Redes	64%	30%	13%	0%	56%
Gas Licuado	9%	5%	0%	2%	2%
Moto naftas Total	0%	0%	36%	0%	0%
Diésel Oil + Gas Oil	0%	2%	45%	90%	1%
Fuel Oil	0%	1%	0%	2%	1%
Resto energéticos	1%	3%	5%	0%	0%
Otros primarios	1%	1%	0%	3%	7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Balances Energéticos Secretaría de Energía.

Tanto en este sector como en el Agropecuario (90% de consumo de diésel y gasoil), existe un gran potencial para incrementar el consumo final de energía eléctrica que en la actualidad es de 0%, con el fin de disminuir los consumos de combustibles líquidos que generan emisiones en toda la cadena del automotor, desde el pozo hasta la rueda (o *Wells to Wheel*). Por último, tanto la industria como la demanda comercial y pública consumen en su mayoría gas natural por redes y energía eléctrica.

Sector transporte

El sector energético se interrelaciona con el sector de transporte a través de la refinación y venta de combustibles líquidos y del transporte de gas natural vehicular hacia las bocas de expendio. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), el sector transporte en Argentina explicó en promedio el 5,7% del valor bruto de producción a precios básicos en los últimos 16 años, ubicándose en el tercer puesto luego de comercio (10,7%) y elaboración de productos alimenticios y bebidas (10,2%)³³.

Con respecto a la estimación del parque automotor del país, existen diferentes fuentes de información que mediante distintas metodologías estiman la cantidad de vehículos en circulación por tipo de combustible y chasis. En este trabajo, a modo de homogeneizar bases y fuentes, se replica la metodología aplicada en los Escenarios Energéticos 2030 presentados por la Secretaría de Energía en 2019, la cual toma el relevamiento de la flota de vehículos realizada por la Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC) para cada año³⁴ y ajusta la misma por la distribución de tipo de vehículos del parque automotor estimada por la Asociación de Fabricantes de Automotores (ADEFSA)³⁵.

Debido a que la matriz insumo-producto que se utilizará en el trabajo para realizar las simulaciones corresponde a la estructura productiva de Argentina del año 2017, se utilizará el parque existente en dicho año, el cual, según AFAC y como se muestra en la Tabla 3, estaba compuesto por 13,3 millones de vehículos, de los cuales 12,8 millones eran autos y vehículos livianos y 479 mil eran del tipo pesados. Además, el 64% de los vehículos del parque eran nafteros, de los cuales el 20% contaban con equipo alimentado con gas natural comprimido o GNC (vehículos híbridos nafta-GNC) y el resto poseía motor diésel (36% del parque total). La flota de vehículos a GNC fue de 1,67 millones de vehículos en diciembre de 2017 según lo relevado por el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS)³⁶, organismo encargado de autorizar las conversiones tecnológicas de los autos nafteros a vehículos alimentados con el combustible gaseoso.

Tabla 3. Parque automotor por tipo de vehículo y combustible. Millones de vehículos

Año	Autos			Livianos			Cam	Buses	Total		Parque total	Motos	GNC
	Nafta	Diesel	Total	Nafta	Diesel	Total	Diesel	Diesel	Nafta	Diesel		Nafta	
2017	7,8	2,4	10,3	0,7	1,8	2,6	0,4	0,1	8,6	4,7	13,3	7,7	7,6

Fuente: elaboración propia sobre la base de Escenarios Energéticos 2030, AFAC y ACARA.

³³ Según datos obtenidos del cuadro Series por sector de actividad económica: valor bruto de producción y valor agregado bruto. Años 2004-2021, por trimestre. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-9-47>

³⁴ Sobre la base de AFAC. <http://www.afac.org.ar/#>

³⁵ Sobre la base de Informes Anuales ADEFSA. <http://adefsa.org.ar/upload/anuarios/anuario2017/6.pdf>

³⁶ Sobre la base de Datos Estadísticos de Gas Natural Vehicular (GNV o GNC). <https://www.enargas.gob.ar/secciones/gas-natural-comprimido/estadisticas.php>

En cuanto a la tecnología de electromovilidad, según ACARA (2021) en 2020 en Argentina se patentaron 2.383 vehículos eléctricos, un 59% más que en 2019, de los cuales 39 fueron puramente eléctricos a batería (*BEV* por sus siglas en inglés) y el resto híbridos (*HEV / PHEV* por sus siglas en inglés). Todos estos vehículos fueron importados y no se fabrican en las terminales locales. Actualmente, los decretos 331/2017 y 230/2019 que otorgan aranceles preferenciales para importar este tipo de tecnología, reduciendo del 35% (por ser tecnología importada fuera de Mercosur) al 5% para HEV/PHEV y al 2% para los BEV. No se conocen planes dentro de las principales terminales de producción local para la fabricación de los vehículos puramente eléctricos a batería.

Con respecto a las emisiones, de acuerdo con el Inventario de Gases de Efecto Invernadero de 2019³⁷, el nivel de Argentina fue de 364 MMtCO₂e, representando el 0,8% del total de emisiones a nivel mundial y el 11,5% de América Latina y el Caribe³⁸. El subsector transporte emitió 50,2 MMtCO₂e o 13,8% ubicándose en el segundo puesto luego del sector ganadero (78,6 MMtCO₂e, 21,6%) como puede observarse en la Tabla 4.

Tabla 4. Emisiones GEI por subsector

Subsector	MMtCO₂e	%
Ganadería	78,63	21,6%
Transporte	50,22	13,8%
Generación de electricidad	47,83	13,1%
Cambio de uso de suelos y silvicultura	35,77	9,8%
Combustibles industria	33,26	9,1%
Combustibles residenciales	27,01	7,4%
Agricultura	21,12	5,8%
Procesos industriales	20,05	5,5%
Fabricación de combustibles	16,79	4,6%
Emisiones fugitivas	10,52	2,9%
Residuos sólidos urbanos	9,12	2,5%
Combustibles otros sectores	7,79	2,1%
Aguas residuales	6,32	1,7%
Total	364,43	100,0%

Fuente: Inventario GEI 2019

La estructura del parque automotor actual descrita en esta sección se utilizará como insumo del modelo de equilibrio parcial a desarrollar, y permitirá evaluar el impacto de cambios en el parque automotor de vehículos eléctricos.

Estructura de fabricación de un vehículo eléctrico.

Se relevaron de la literatura diferentes estructuras de costos de fabricación de vehículos eléctricos. En la Tabla 5, dichas estructuras se resumen en tres segmentos de costos de

³⁷ Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación.

<https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>

³⁸ Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO₂). Dato del año 2018. Fuente: Indicadores del desarrollo mundial. Banco Mundial.

producción que incluyen distintos tipos de insumos necesarios tanto para producir un vehículo a combustión interna como uno eléctrico, los cuales tienen distintas relevancias en cada uno.

El segmento de “mecánica de tracción” para los vehículos a combustión interna en promedio incide en el 36% del costo total, e incluye componentes como el motor, elementos auxiliares de motor, sistema de transmisión, sistema de escape, elementos de mecánica en general, componentes eléctricos y electrónicos y demás insumos necesarios intermedios para la tracción de este tipo de vehículos. Esta participación aumenta al 55% en los eléctricos debido a la inclusión de la batería.

En cuanto a los elementos que hacen al “*Glider*” o estructura sin motor, se incluyen el chasis, la carrocería, el interior, componentes eléctricos de bajo voltaje, materiales de exterior e interior, entre otras autopartes. En este caso, debido a que se utilizan materiales más económicos en la construcción del vehículo eléctrico, el porcentaje de incidencia ronda el 32% de los costos totales, mientras que, en los vehículos de combustión interna, esa participación es del 49%.

Por último, los “costos indirectos” tienen una importancia similar sobre el costo total (entre 15 y 13%) e incluyen conceptos tales como depreciación, investigación y desarrollo, y servicios para la fabricación.

König et. al (2021) lograron realizar un desglose detallado de cada componente de tanto los VE como los VCI, separando principalmente por los conceptos descritos en la Tabla 5. A su vez, en la Tabla 6 se pueden observar los montos erogados para la

Tabla 5. Estructura porcentual de costos de VE (autonomía 300 km) y a combustión interna.

Autor	Tecnología	Mecánica de tracción (incluye batería)	Estructura sin motor (Glider)	Costos indirectos
Lutsey et. al (2021)	Combustión interna	35%	54%	11%
	VE (300 km)	39%	38%	23%
König et. al (2021)	Combustión interna	36%	51%	13%
	VE (300 km)	53%	37%	10%
Suehiro y Purwanto (2020)	Combustión interna	33%	53%	14%
	VE (300 km)	57%	34%	9%
Leurent y Windisch (2015)	Combustión interna	34%	48%	18%
	VE (300 km)	59%	30%	11%
Brennan y Barder (2015)	Combustión interna	41%	41%	18%
	VE (300 km)	66%	21%	13%
Promedio literatura relevada	Combustión interna	36%	49%	15%
	VE (300 km)	55%	32%	13%

construcción de cada concepto. El vehículo a combustible posee un 36% de sus costos destinados a cubrir la producción de elementos tales como el motor, la electrónica y distintos

componentes mecánicos (por ejemplo, la caja de cambios), mientras que, en el vehículo eléctrico con autonomía de 300 km, dichos costos pesan aproximadamente un 53%, debido a que se incluye el costo de la batería que está valuada en 6.900 USD. En total, producir este tipo de vehículos puede valer alrededor de los 17.716 USD, valor similar al hallado por Lutsey et. al (2021) quienes relevaron los costos de producir vehículos eléctricos y a combustión interna en China para el año 2019. Los valores estimados van desde los 18.500 USD hasta los 23.500 USD. El principal componente que genera la dispersión de precios es el costo de la batería, la cual fue estimada en 5.800 USD para el automóvil con autonomía de hasta 300 kilómetros y de 10.000 USD para los que pueden recorrer 500 km. Luego, los componentes electrónicos³⁹ adicionan aproximadamente 1.800 USD al costo de producir un vehículo a combustión interna (aproximadamente 13.500 USD).

Tabla 6. Estructura de costos de VE (autonomía 300 km) y a combustión interna. En USD.

Autor	Tecnología	Mecánica de tracción	Estructura sin motor (Glider)	Costos indirectos	Total
Lutsey et. al (2021)	Combustión interna	4,730	7,226	1,444	13,400
	VE (300 km)	7,588	7,286	4,527	19,400
König, A. et. al (2021)	Combustión interna	4,364	6,284	1,571	12,218
	VE (300 km)	9,338	6,633	1,745	17,716
Suehiro y Purwanto (2020)	Combustión interna	6,877	11,229	2,893	21,000
	VE (300 km)	19,902	11,783	2,982	34,666
Leurent y Windisch (2015)	Combustión interna	5,459	7,681	2,931	16,103
	VE (300 km)	15,358	7,731	2,915	26,030
Brennan y Barder (2015)	Combustión interna	7,900	7,800	3,400	19,100
	VE (300 km)	25,100	7,800	4,900	37,800
Promedio literatura relevada	Combustión interna	5,859	8,096	2,403	16,364
	VE (300 km)	14,897	8,642	3,577	27,122

Por otro lado, con el objetivo de evaluar los impactos en las finanzas públicas de Francia de reemplazar el vehículo a combustión interna por el eléctrico, Leurent y Windisch (2015) utilizaron una matriz insumo-producto para identificar los sectores que se involucran en la producción de los vehículos a combustible fósil y obtener de ese modo los consumos intermedios de cada uno sobre el valor total de producir cada tecnología. Para lograrlo, crearon un sector nuevo de producción de VE, asumieron los mismos montos de producir un EV y uno a combustión interna, pero le añadieron un costo de 11.030 USD al sector de equipamiento eléctrico y electrónico, debido a que suponen que las baterías y componentes electrónicos se ensamblan y producen dentro de Francia. Además, asumieron que construir y ensamblar el VE cuesta 1.100 USD menos que el VCI a causa de que el motor es más hacedero de construir.

³⁹ Motor eléctrico, manejo de temperatura, inversor/conversor, modulo eléctrico de conducción, conversor de corriente continua, controlador, módulo de control, cables de alto voltaje, cargador a bordo y cable de carga.

En la misma línea metodológica, Suehiro y Purwanto (2020) utilizaron un modelo insumo producto para evaluar el impacto económico de la penetración de vehículos eléctricos en 121 países. Para lograrlo, relevaron la composición final de los precios de venta de diferentes tipos de tecnologías tales como híbridos, híbridos enchufables y puramente eléctricos. Sobre estos últimos hallaron que el precio de la batería es un 19% del precio total de venta sin impuestos (aproximadamente 35.000 USD en 2019) de un automóvil que recorre aproximadamente 300 km. Este valor, para el mismo tipo de vehículo y batería, es un 9% menor al relevado por Brennan y Barder (2015) quienes hallaron que el precio total de la batería era de 10.200 USD en 2015.

3.3 Modelo y escenarios

Tal como se detalló en la sección de estructura productiva de automóviles eléctricos, Leurent y Windisch (2015) utilizaron una metodología de valuación e identificación de las actividades manufactureras que intervienen en la producción de vehículos a combustión interna para luego aplicarla a la fabricación de vehículos eléctricos, suponiendo la creación de un nuevo sector de producción que utilizará los mismos coeficientes técnicos, con la salvedad de que el mayor valor en la manufactura del mismo es la batería. Esta metodología de identificación de coeficientes técnicos será aplicada en este trabajo a la matriz insumo producto para el año 2017 elaborada por el Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP-BAIRES)⁴⁰ en conjunto con el Área de Modelos Económicos de Simulación (MESi)⁴¹ encargada de construir modelos multisectoriales de insumo-producto y de equilibrio general computado (nacionales y regionales), modelos sectoriales de equilibrio parcial, modelos de redes de energía y modelos de fronteras de eficiencia, entre otros. En la Tabla 1 del Anexo de tablas se presentan los sectores productivos identificados.

Para proyectar la cantidad de vehículos eléctricos en cada escenario, se utilizarán las proyecciones establecidas por la Agencia Internacional de Energía (IEA) en su informe de “*Global Electric Vehicle Outlook 2022*”⁴² donde se plantean diversos escenarios de proyección de ventas de vehículos eléctricos.

En relación con el llamado Escenario “STEPS” o de políticas existentes legisladas por los gobiernos en el resto del mundo⁴³, se tomaron las tasas de penetración detalladas en la Tabla 2 del Anexo de tablas, las cuales son graduales y podrían representar una velocidad de

⁴⁰ <https://iiep-baires.econ.uba.ar/>

⁴¹ <http://mesi.webiiep.econ.uba.ar/institucional/>

⁴² <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>

⁴³ Resto del mundo son todos los países OECD menos China, Estados Unidos, India y países del continente europeo.

inserción de los autos y livianos eléctricos si Argentina genera algunos incentivos macroeconómicos y regulatorios en el corto plazo para que a partir del año 2025 comiencen a venderse.

En cambio, en el caso que Argentina hiciera grandes esfuerzos para incentivar la mayor inserción de este tipo de tecnología, se utilizaron las tasas de ventas planteadas en el llamado Escenario APS, el cual capta todos los compromisos asumidos por los países de la OCDE para reducir las emisiones globales pero que aún no tienen actividades analizadas para su aplicación. Estas tasas serán utilizadas para simular transiciones aceleradas para la adopción de los vehículos eléctricos a partir del año 2025 y pueden ser observadas en la Tabla 3 del Anexo de tablas.

Con esta información, se desarrollarán tres Escenarios, detallados en la Tabla 4 del Anexo de tablas. En primer lugar, se analizará un Escenario de Base que supondrá que el PBI de Argentina crece al 2% anual, que se continúan las políticas de electromovilidad detalladas en la Sección 2.2 y que se mantienen las estructuras productivas actuales de vehículos a combustión interna, sin participación relevante de los vehículos eléctricos. Luego se crearán 2 escenarios que serán testeados con respecto al Escenario Base; uno llamado Escenario 1 (ESC1), cuyo principal supuesto es que las nuevas demandas de electricidad de este tipo de automotores serán abastecidas con una matriz de generación eléctrica con predominancia de la energía térmica; el otro llamado Escenario 2 (ESC2) el cual supone que toda la nueva demanda eléctrica será abastecida por una matriz de generación con mayor aporte de energías renovables. En cada escenario, se analizarán los efectos de que los VE sean completamente importados o producidos localmente (salvo la batería, que debe ser importada) y que se inserten al parque automotor de manera gradual o acelerada, con las tasas de penetración de las Tablas 2 y 3 del Anexo de tablas.

En cuanto a los agentes que utilizarán los VE, se supone que la mayor demanda de vehículos eléctricos estará impulsada principalmente por inversiones privadas que realiza el sector de transporte para la compra de livianos a batería y por un aumento de la demanda final de autos traccionada por los hogares de mayores ingresos. Otros de los supuestos relacionados con el parque automotor, es que el mismo crece a la tasa que lo hace el PIB (2%) y que la tasa de motorización se mantiene constante en 0,291 vehículos por persona hasta el 2030. Además, las bajas anuales son del 2% y 3% del parque para autos y livianos, respectivamente. Por último, no se aplica eficiencia en el consumo de combustibles líquidos ni cambios en los kilómetros anuales recorridos.

Los efectos se analizarán para PBI o Valor Bruto de la Producción, Importación, Exportación, Saldo de Balanza Comercial, Empleo total y sectorial, la demanda eléctrica total de los VE y

el nivel de emisiones totales ahorrados. Además, debido a la metodología utilizada, se podrán analizar multiplicadores y encadenamientos productivos en cada escenario. Adicionalmente, debido a que se cuenta con datos de consumo y recorridos medios del parque automotor detallados en la Tabla 5 del Anexo de tablas, se podrán cuantificar los impactos sobre las demandas de combustibles líquidos y eléctrica.

4. Resultados

En el escenario de línea de base (LB), la estructura productiva del año 2017 se replica por 13 años hasta el año 2030, suponiendo que la economía crece al 2% anual y que no se importan ni producen localmente vehículos eléctricos en gran escala. El principal resultado de este escenario es que el parque automotor al 2030 alcanzaría los 17,1 millones de vehículos, de los cuales 13,3 millones serán automóviles (2,3 millones autos con GNC), 3,3 millones serán livianos, 60 mil buses y 482 mil camiones con diésel, mientras que las motos vehículos alcanzarían los 13,9 millones. El consumo final de energía del sector transporte sería de 27,4 Millones de tonelada equivalente de petróleo (MMTEP), abastecido principalmente por un 44% de diésel, un 35% de moto naftas, 11% de gas distribuido por redes, 0,2% por electricidad, 8% de biocombustibles y 3% por el resto de los combustibles⁴⁴. Para las simulaciones de todos los escenarios, el parque automotor será el mismo, pero los vehículos eléctricos sustituirán ventas de autos y livianos a combustión interna alimentados por diésel y gasolina/nafta, a las diferentes velocidades mencionadas en la Sección 3.3. Por el lado macroeconómico, el PBI sería de 23,912,496 MMAR\$ de 2017, el empleo total de la economía pasaría de 20,3 millones en 2017 a 26,3 millones en 2030, momento en el que el sector de fabricación de vehículos a combustión interna alcanzaría los 105 mil puestos de trabajo, necesarios para suplir el aumento del parque automotor. El saldo comercial sería superavitario, representando el 11,4% sobre el PIB. Por último, el nivel de emisiones totales pasaría de 375 en 2017 a 485 millones de CO₂ equivalente (MMtCO₂e), de las cuales el sector transporte emitiría 66,8 MMtCO₂e. Estos resultados pueden verse en la Tabla 6 y Tabla 7 del Anexo de tablas.

En el caso de que Argentina decida crear algunas legislaciones que comiencen a incentivar el uso de la electromovilidad a partir del año 2025, en el Escenario 1 (ESC1) con 100% de importación de los autos y livianos puramente eléctricos abastecidos con electricidad generada por fuentes térmicas, se aplicaron dos tipos de velocidades de sustitución. El impacto de la sustitución más gradual (8% y 7% ventas autos y livianos en 2030, tal como lo enuncia IEA (2022) en el Escenario “STEPS” o de políticas existentes legisladas por los

⁴⁴ Incluye fuel oil, kerosene y aerokerosene.

gobiernos en el resto del mundo) resulta negativo para toda la economía respecto del escenario Base; el PIB disminuye 2%, el saldo comercial empeora un 4,4% debido a que las importaciones aumentan 4% y las exportaciones caen 2,1%. Por su parte, el empleo alcanza los 25,7 millones de puestos de trabajo, 570 mil menos que en el caso sin sustitución de autos y livianos a combustión interna. La causa principal de este menor crecimiento respecto del escenario base se debe a que la caída del valor bruto de la producción por menores ventas de autos y livianos a nafta y gasoil (-28,5% respecto del escenario base) no llega a ser compensado por los mayores ingresos de las ventas de los nuevos vehículos eléctricos, tal como puede observarse en el gráfico 1 del Anexo de tablas. En cuanto a estos, el total de VE alcanzado en 2030 es de 101 mil, de los cuales 82,7 mil son autos particulares comprados por los hogares de mayores ingresos y 18,4 mil son livianos que serán utilizados por el sector transporte. En total logran una participación del 0,6% del parque y demandan 1,4 GWh. En relación con el mix de generación total, se mantienen las participaciones existentes del 2017 en el 2030, donde la energía térmica ocuparía el 65%, la hidroeléctrica el 29%, la nuclear el 4% y las renovables el 2%. Por último, las emisiones totales alcanzan las 489 MMtCO_{2e}, un 0,8% más que en el base, especialmente por el mayor uso de generación térmica (+12,8 MMtCO_{2e}), abastecida en su mayoría con gas natural no convencional. Respecto a la producción de este energético, es uno de los sectores con mayores impactos positivos en este proceso: su valor bruto de producción se incrementa un 131,7%, se crean 2.700 nuevos puestos de trabajo y el saldo comercial de esta actividad mejora un 53%. Por último, debido al menor consumo de combustibles líquidos, el VBP de refinación de gasoil y nafta, caen 10,9% y 9,3% respectivamente respecto a la línea de base.

Al acelerar la sustitución para que los autos eléctricos lleguen al 35% de las ventas y los livianos eléctricos al 34% vía la importación total de los mismos, los resultados se tornan relativamente más positivos en términos macroeconómicos. La economía crece en total un 0,8% más a pesar de que las importaciones aumentan un 39% y el saldo comercial disminuye un 9%. En cuanto al empleo, los resultados muestran un empeoramiento del empleo tanto del escenario base (-2,5%) como de la sustitución gradual (-0,4%), alcanzando los 25,6 millones de puestos de trabajo. Con relación a los valores bruto de producción, el crecimiento de la actividad del vehículo eléctrico alcanza y supera a la caída de la actividad de fabricación de vehículos a combustión interna en un 28%, pero queda por debajo del valor alcanzado en el escenario base por este último, tal como se observa en el gráfico 2 del Anexo de tablas. En este caso, si bien crece el VBP del sector de producción de VE, no se crea ni absorbe la caída de los empleos del sector de producción de VCI debido a que todo el vehículo es importado.

En cuanto al parque automotor, los vehículos eléctricos en circulación alcanzan un total de 485 mil (2,8% del parque total), de los cuales 397 mil son autos y 88 mil son livianos y en total

demandan 6,5 GWh de energía eléctrica, lo cual equivale a dejar de producir 8.800 barriles de petróleo por día (bep/día) para refinar combustibles líquidos. Por último, según lo esperado, las emisiones totales alcanzan las 506 MMtCO₂e, un 4,4% más que las emisiones en el escenario base, impulsadas principalmente por las ocasionadas por el sector de generación térmica (+31 MMtCO₂e respecto al base). Respecto del mix de generación total, se mantienen las participaciones existentes del 2017 en el 2030, donde la energía térmica ocuparía el 66%, la hidroeléctrica el 28%, la nuclear el 4% y las renovables el 2%.

En el caso que se diseñen y apliquen políticas de transformación productiva de la matriz de producción de vehículos con el fin de comenzar a producir localmente la nueva tecnología, se podrían generar impactos positivos en toda la economía. Dentro del ESC1 supondremos que existe un 100% de producción local de la estructura del VE, es decir, de lo que corresponde al motor y al “*glider*”, que la batería requiere aún de ser importada y que también se abastecerá la nueva demanda con generación térmica. Al igual que en el caso con el VE 100% importado, se aplicaron distintas velocidades de penetración en el parque automotor de los autos y livianos eléctricos. En el caso gradual, respecto de la línea de base, el principal resultado es la mejora sustancial en el saldo de la balanza comercial, la cual, a pesar de que se continúa importando la batería de los autos y livianos eléctricos, cae sólo un 3,8% debido a que las importaciones aumentan un 2,5% y las exportaciones caen un 2,1%. El PBI, contrario a lo esperado, cae un 2%, al igual que en el caso de los VE 100% importado. En cuanto al empleo, tal como se esperaba, se crearían 14 mil nuevos en el sector de producción de vehículos eléctricos y 2.700 en la producción de gas natural no convencional. Es relevante destacar los cambios estructurales que genera producir localmente el vehículo; en primer lugar, atender la mayor demanda eléctrica con generación térmica abastecida con gas natural no convencional logra que dicho sector pase de ser estratégico a ser impulsor⁴⁵. En segundo lugar, la mayor demanda de energía eléctrica hace que el sector de distribución y transporte de energía pase de ser un sector estratégico a uno clave, en el sentido de que promoverá el crecimiento tanto por aumento de demanda intermedia (mayor demanda de generación térmica) como por ser proveedor de insumos para otros sectores que están creciendo (mayor demanda final de electricidad). Por último, al tener menor demanda final, la refinación de nafta y gasoil deja de ser un sector clave para pasar a ser uno estratégico. Respecto de estos, debido al menor

⁴⁵ Siguiendo la definición de Mastronardi et al. (2017), los sectores estratégicos tienen bajos encadenamientos hacia atrás y altos encadenamientos hacia delante, por lo que no tendrán mucha demanda intermedia de insumos, pero si son van a proveer de insumos a otros sectores que estén creciendo. En cambio, los impulsores tienen altos encadenamientos hacia atrás y bajos encadenamientos hacia delante, por lo que, si estos crecen, el resto de los sectores tendrán un arrastre de crecimiento por el incremento de la demanda intermedia.

consumo, y al igual que en el caso de los VE importados, el VBP de la refinación de gasoil y nafta, caen 10,9% y 9,3% respectivamente respecto a la línea de base.

Al acelerar la transición hacia la mayor electromovilidad, el crecimiento en la economía es de 0,8% en 2030, respecto al escenario base, mismo número hallado en la simulación de 100% importación, aunque en este caso el saldo comercial en lugar de desmejorar un 39% lo hace en un 6,5%, principalmente porque se dejan de importar los VE y por el mayor nivel de exportación de gas natural no convencional. Respecto del nivel de empleo, se crean ahora 65 mil puestos de trabajo en el sector de producción de VE y 4.400 en la producción de gas no convencional.

En cuanto a las emisiones totales y la demanda energética total, se obtienen los mismos resultados que en el escenario con 100% importación de los autos y livianos puramente eléctricos. Sin dudas, la estrategia de producir localmente el vehículo genera cambios estructurales en sectores importantes de la economía, y en cierto punto puede hasta crear más empleos respecto al escenario base si se decide acelerar aún más las ventas de VE. Sin embargo, abastecer la nueva demanda eléctrica con generación térmica no permite reducir las emisiones totales y por ende no permite comenzar a cumplir los compromisos de emisión asumidos.

En cuanto al Escenario 2 (ESC2), se utilizarán los mismos supuestos y shocks que en el ESC1, pero en este caso, la mayor demanda de electricidad será abastecida por energías renovables no convencionales tales como la eólica y la solar. Se establecerá que la matriz de generación eléctrica tenga una participación de energías renovables del 20% al 2030 para la simulación gradual y del 25% para la acelerada, impulsada principalmente por las mencionadas fuentes.

Como se puede ver en la Tabla 7 del Anexo de tablas, en el caso de 100% de importación de los autos y livianos con penetración gradual en el parque automotor, el PBI disminuye levemente en 0.7% respecto a la línea de base porque, si bien los vehículos no son producidos localmente, el desarrollo de parques solares y molinos de viento tracciona a otros sectores y evita que la caída del PBI sea como en la simulación gradual con energía térmica (-2%). El saldo comercial se reduce un 5.4% debido a que las exportaciones caen un 4.2% y las importaciones se reducen un 0.9%. Por último, se crean 560 mil empleos menos que el base (contra 577 mil empleos en el Escenario 1). En términos ambientales, las mejoras son sustanciales y las esperadas respecto de la línea de base y del Escenario 1 de abastecimiento con generación térmica; se generan 443 MMtCO₂e y se logra un ahorro de emisiones totales por 42.2 MMtCO₂e respecto del primero y de 46 MMtCO₂e respecto del segundo, explicado principalmente porque ahora la nueva demanda eléctrica es abastecida con energías de

fuentes limpias y se requiere de menos combustibles fósiles para abastecerla. Por su parte, la menor demanda de combustibles fósiles para circulación permite reducir 0.25 MMtCO_{2e} las emisiones por circulación del parque automotor y el VBP de la refinación de gasoil cae un 13.3% y el de refinación de nafta un 9.5%.

Acelerar la sustitución importando todos los vehículos traería mayores beneficios tanto ambientales como macroeconómicos respecto del escenario base. La economía crece 10.7%, la diferencia de empleo se reduce a 200 mil, se crean 360 mil empleos nuevos respecto a la simulación gradual, el valor bruto de producción de los vehículos eléctricos supera al de producción de vehículos a combustión interna, pero está principalmente impulsado por un crecimiento exponencial de las importaciones de estos productos. Como consecuencia de esto, la balanza comercial reduce su saldo superavitario un 11.3% y la mayor inserción de energías renovables para abastecer la nueva demanda eléctrica permite generar un ahorro de 50.5 MMtCO_{2e} de emisiones totales, de las cuales 36.2 MMtCO_{2e} fueron evitadas por menor generación térmica. Este resultado es el esperado por la teoría y permite demostrar que la sustitución por tecnologías limpias para la circulación debe ir acompañada de transiciones hacia energías limpias en toda la cadena de valor. La menor circulación de vehículos alimentados con hidrocarburos permite reducir un 1.7% las emisiones respecto del parque automotor sin sustitución, lo que equivale a dejar de refinar en 2030 casi 400 mil y 130 mil m³ de nafta y gasoil, respectivamente. Dicho cambio, genera una caída del 18.9% de la actividad de refinación de nafta y del 16.5% de la actividad de refinación de gasoil.

Las simulaciones con producción local de los vehículos otorgan condiciones de borde máximas, tanto para el caso gradual como acelerado, para incentivar transiciones y cambios paralelos tales como cambio en estructura productiva, desarrollo de energías limpias e introducción de la electromovilidad. En el caso de una transición gradual, respecto a la línea de base, el PBI cae 0.7% y la diferencia de los puestos de trabajo alcanza los 550 mil empleos, aunque se puede resaltar que como resultado de producir localmente se crean 14 mil empleos en dicho sector y se crearían 23.3 mil empleos en la generación eólica y solar, lo cual es un resultado esperado en comparación con la simulación en la que el auto es plenamente importado y abastecido con generación térmica. Además, el saldo de la balanza comercial sólo cae un 4.9% principalmente porque se requiere aún de importar las baterías que alimentan los vehículos y en cuanto a las emisiones, se generan los mismos ahorros que en la simulación con el auto importado (-42.2 MMtCO_{2e}). Por su parte, la menor demanda de combustibles líquidos para circulación vehicular hace caer el VBP de la refinación de gasoil un 13.3% y en un 9.5% el VBP de refinación de naftas; estos porcentajes de caída son mayores a los obtenidos en la simulación de producción local del Escenario 1. En adición, el cambio estructural de comenzar a producir localmente el vehículo eléctrico y desarrollar la

energía solar y eólica genera diferentes encadenamientos comparados con el escenario base. En primer lugar, la generación térmica deja de ser un sector clave para ser uno estratégico, principalmente porque cae su encadenamiento hacia atrás (es decir, no tendrá mucha demanda de insumos intermedios). Lo contrario sucede con la generación eólica y solar, las cuales dejan de ser sectores independientes para ser impulsores, debido a que aumentaron su encadenamiento hacia atrás en el sentido de que ahora las distribuidoras deben adquirir este tipo de fuentes limpias para abastecer la nueva demanda eléctrica.

Finalmente, al precipitar la transición hacia la mayor electromovilidad, el crecimiento en la economía es de 10.7% respecto al escenario base, mismo número hallado en el escenario de 100% importación, aunque el saldo comercial en lugar de desmejorar un 11.3% lo hace en un 9%. Se crean 65 empleos nuevos para la producción de VE y 140 mil puestos de trabajo en generación eólica y solar. Respecto de las emisiones totales y de la demanda energética total, se obtienen los mismos resultados que en el escenario con 100% importación de los autos y livianos puramente eléctricos.

Como se demostró en ambos escenarios, la estrategia de producir localmente el vehículo genera cambios estructurales en sectores importantes de la economía, y en cierto punto puede hasta crear más empleos si se decide acelerar aún más las ventas de VE, respecto al escenario base y respecto a un abastecimiento de demanda con generación térmica. Además, los resultados del saldo de la balanza comercial en el ESC1 son mejores en relación con el ESC2 debido a que producir más cantidad de gas natural para abastecer la generación térmica, permite aumentar las exportaciones de este energético y por ende ayuda a que los impactos de la importación de vehículos y baterías eléctricas sean más leves. Por último, abastecer la nueva demanda eléctrica con generación renovable permite reducir las emisiones totales considerablemente y, por ende, en conjunto con otras políticas de mitigación, se podrían comenzar a cumplir los compromisos de emisión asumidos.

5. Conclusiones y futuras investigaciones

Tal como se planteó en el trabajo, se necesitan estudios que permitan cuantificar los costos y/o beneficios de las transiciones energéticas que están avanzando en todo el mundo, que indudablemente comenzarán en el corto plazo en Argentina, y que tengan como objetivo nutrir de más información al debate de las posibles estrategias de transiciones energéticas a llevar a cabo para cumplir con los compromisos asumidos por el país en el Acuerdo de París y en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC).

Una de las estrategias para resolver la problemática del aumento de emisiones del país puede ser abordada con la promoción de la electromovilidad a gran escala en conjunto con una

mayor inserción de energías de fuentes limpias en la matriz de generación eléctrica. Este trabajo cuantificó las ventajas y desventajas que generaría esa promoción, desde el punto de vista de la mayor penetración de autos y livianos eléctricos a batería en el parque automotor.

A través de un modelo de insumo producto se crearon 2 escenarios, con el fin de comparar los resultados económicos y ambientales de una transición hacia el VE con predominancia de fuentes fósiles en la matriz respecto de una con mayor participación de energías renovables. Los resultados del ESC 1 permiten concluir en términos económicos, que acelerar una mayor electromovilidad con producción local de la tecnología y abastecer la nueva demanda eléctrica con generación térmica hace crecer la economía (+0.8%), genera empleo en los sectores de producción de hidrocarburos (+2.700) y cambia los encadenamientos de sectores intervinientes en las cadenas de valor debido a que se producen localmente los VE y se demanda mayor gas natural para generación. Sin embargo, en términos ambientales, los resultados son contrarios a los necesarios para cumplir con los compromisos asumidos de reducción de emisiones en el 2030 debido a que mantener la composición de generación eléctrica con predominancia de la energía térmica incrementa las emisiones totales un 4.4% respecto al escenario base.

En cambio, en el ESC 2 la misma estrategia de una mayor aceleración de la sustitución entre VE y VCI combinado con producción local y abastecimiento de nueva demanda con EERR, hace crecer un 10.7% la economía respecto a un escenario de base, mucho más que el 0.8% obtenido en el ESC1, mejora el saldo de la balanza comercial respecto de la simulación con los autos totalmente importados y se crean 65 mil empleos por la aparición de un nuevo sector productivo. Adicionalmente, en términos ambientales, los resultados demuestran que una matriz de generación eléctrica con mayor predominancia de energías renovables (25% al 2030) permite completar y potenciar el ahorro de emisiones que genera la mayor electromovilidad, generando ahorros totales de 50.5 MMtCO_{2e}, principalmente por el menor uso de generación térmica y las menores emisiones generadas por la circulación del parque automotor. Este resultado permite deducir que, en conjunto con las políticas de mitigación de emisiones detalladas en la Sección 2.2 y con la diseño e implementación de nuevas, es posible una reducción de las emisiones totales con crecimiento económico, que permita cumplir los compromisos asumidos por el país en el Acuerdo de París y en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC).

Por último, comparando ambos Escenarios, puede concluirse que en todas las simulaciones del ESC1 los saldos de la balanza comercial son mejores respecto a los hallados en el ESC2, debido principalmente a que la mayor generación térmica para atender la nueva demanda eléctrica de transporte es abastecida con gas natural no convencional; por consiguiente, la

mayor producción de este energético también genera mayores exportaciones y por ende el aporte al saldo comercial total es mayor, compensando la gran demanda de importación de autos y livianos y baterías para cada simulación.

Debe tenerse en cuenta que en estos modelos de equilibrio parcial no se pueden modelar variables tales como el desempleo, el cambio de precios relativos, el cambio en la distribución del ingreso y los límites en las capacidades instaladas de producción. Sin embargo, una de las cuestiones que se podrían simular pero que quedaron fuera del alcance de este trabajo es el análisis de los impactos de posibles cambios de precios de los VE generados tanto por reducción de precio de baterías, o bien por políticas de incentivo a la compra de los VE tales como subsidios al precio de venta, creación de impuestos a la contaminación o bien reducciones arancelarias para la importación de los VE. Además, también debería analizarse que sucedería con la economía y las cadenas de valor si la batería del VE comienza a producirse localmente en lugar de ser importada, aprovechando la ventaja comparativa de Argentina de pertenecer al llamado Triángulo del Litio, el cual concentra más del 85% de las reservas mundiales de litio, insumo necesario para la producción de baterías para VE. A la vez, con mayor granularidad de datos puede utilizarse la metodología de modelos de equilibrio general computado, la cual, a diferencia del Modelo de Leontief aplicado en este trabajo, permite estudiar con mayor detalle los comportamientos de todos los agentes de la economía frente a los shocks mencionados anteriormente.

Sin dudas Argentina tiene potencial para implementar tanto políticas estructurales de fabricación e inserción de vehículos de combustión limpia como políticas de aprovechamiento de energías renovables, que deben ser incentivadas tanto por el sector público como por el sector privado, en un contexto de señales de precios transparentes y claras, macroeconomía estable y regulaciones proactivas y adaptativas de las nuevas tecnologías venideras.

6. Anexo de tablas

Tabla 1. SAM Argentina 2017.

Sector	Actividad	Sector	
Actividades primarias	Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca	1	
	Petróleo convencional	2	
	Petróleo no convencional	3	
	Gas convencional	4	
	Gas no convencional	5	
	Carbón	6	
	Minería	7	
Industria liviana	Elaboración de alimentos, bebidas y productos de tabaco	8	
	Productos textiles y prendas de vestir	9	
	Curtido y terminación de cueros	10	
Químicos, minerales no metálicos y otros	Producción de madera y fabricación de productos de madera (excepto muebles)	11	
	Fabricación de papel y de productos de papel	12	
	Edición e impresión; reproducción de grabaciones	13	
	Aerokerosene	14	
	Gasoil	15	
	Nafta	16	
	Otras naftas	17	
	Fuel oil	18	
	Biodiésel	19	
	Etanol	20	
	Otros energéticos	21	
	Fabricación de sustancias y productos químicos	22	
	Fabricación de productos de caucho y plástico	23	
	Fabricación de productos minerales no metálicos	24	
Metálicos, maquinaria y equipo	Fabricación de metales comunes	25	
	Fabricación de productos elaborados de metal (excepto maquinaria y equipo)	26	
	Fabricación de maquinaria y equipo.	27	
	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	28	
	Vehículos de combustión interna	28a	
	Vehículos eléctricos	28b	
	Fabricación de equipo de transporte n.c.p.	29	
	Otras industrias manufactureras	30	
	Electricidad, gas y agua	Generación de Energía Térmica	31
		Generación de Energía Hidroeléctrica	32
Generación de Energía Nuclear		33	
Generación de Energía renovable Eólica		34	
Generación de Energía renovable Solar		35	
Resto de Generación de Energía		36	
Distribución y transporte de Energía		37	
Fabricación de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías		38	
Construcción	Captación, depuración y distribución de agua	39	
	Construcción	40	
Comercio, transporte y comunicaciones	Comercio	41	
	Hoteles, hospedaje, restaurantes, bares y cantinas	42	
	Transporte por tuberías	43	
	Transporte ferroviario	44	
	Transporte por carreteras	45	
	Transporte por agua	46	
	Transporte Aéreo	47	
	Agencias de viaje	48	
	Resto transporte	49	
	Comunicaciones	50	
Servicios financieros y afines	Intermediación financiera	51	
Actividades empresariales	Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	52	
Servicios sociales y personales	Administración Pública	53	
	Enseñanza	54	
	Servicios sociales y de salud	55	
	Otras actividades de servicios comunitarios	56	

Fuente: IIEP-BAIRES <http://mesi.webiiep.econ.uba.ar/institucional/>

Tabla 2. Participación de ventas de VE sobre el total de la categoría. Escenario Gradual. STEPS Resto del Mundo. IEA.

Año	Autos	Livianos
2025	3.00%	3.00%
2026	4.00%	3.80%
2027	5.00%	4.60%
2028	6.00%	5.40%
2029	7.00%	6.20%
2030	8.00%	7.00%

Fuente: "Global EV Outlook 2022". IEA

Tabla 3. Participación de ventas de VE sobre el total de la categoría. Escenario Aceleración. APS Mundo. IEA.

Año	Autos	Livianos
2025	18.0%	13.0%
2026	21.4%	17.2%
2027	24.8%	21.4%
2028	28.2%	25.6%
2029	31.6%	29.8%
2030	35.0%	34.0%

Fuente: "Global EV Outlook 2022". IEA

Tabla 4. Resumen de escenarios.

Escenarios	Supuestos	Shocks
Línea de base (LB)	<ul style="list-style-type: none"> Estructuras productivas actuales de vehículos a combustión interna (VCI). Sin VE. 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento PIB: 2%
Escenario 1 (ESC1)	<ul style="list-style-type: none"> VE 100% importado desde 2025 Demanda electromovilidad satisfecha con matriz energética existente 	<ul style="list-style-type: none"> STEPS resto del mundo: ventas 8% autos y 7% livianos en 2030 APS Mundo: ventas 35% autos y 34% livianos en 2030
	<ul style="list-style-type: none"> VE 100% producción local desde 2025. Batería importada. Demanda electromovilidad satisfecha con matriz energética existente 	<ul style="list-style-type: none"> STEPS resto del mundo: ventas 8% autos y 7% livianos en 2030 APS Mundo: ventas 35% autos y 34% livianos en 2030
Escenario 2 (ESC2)	<ul style="list-style-type: none"> VE 100% importado desde 2025 Demanda electromovilidad satisfecha con matriz energética con más energías renovables 	<ul style="list-style-type: none"> STEPS resto del mundo: ventas 8% autos y 7% livianos en 2030 EERR 2030: 20% APS Mundo: ventas 35% autos y 34% livianos en 2030 EERR 2030: 25%
	<ul style="list-style-type: none"> VE 100% producción local desde 2025. Batería importada. Demanda electromovilidad satisfecha con matriz energética con más energías renovables 	<ul style="list-style-type: none"> STEPS resto del mundo: ventas 8% autos y 7% livianos en 2030 EERR 2030: 20% APS Mundo: ventas 35% autos y 34% livianos en 2030 EERR 2030: 25%

Tabla 5. Supuestos de consumos y recorridos parque automotor.

Vehículo	Unidad	Consumo	Km anuales
Auto Nafta	L/100	9.90	8,947
Auto Gasoil	L/100	8.55	8,947
Liviano Nafta	L/100	13.00	15,571
Liviano Gasoil	L/100	11.70	15,571
Auto eléctrico	KWh/100	0.15	8,947
Liviano eléctrico	KWh/100	0.15	15,571
Moto	L/100	3.00	11,159
Bus diésel CD	L/100	45.00	52,402
Camión diésel	L/100	40.00	40,000
Auto GNC	L/100	9.90	1,179
Liviano GNC	L/100	13.00	2,052

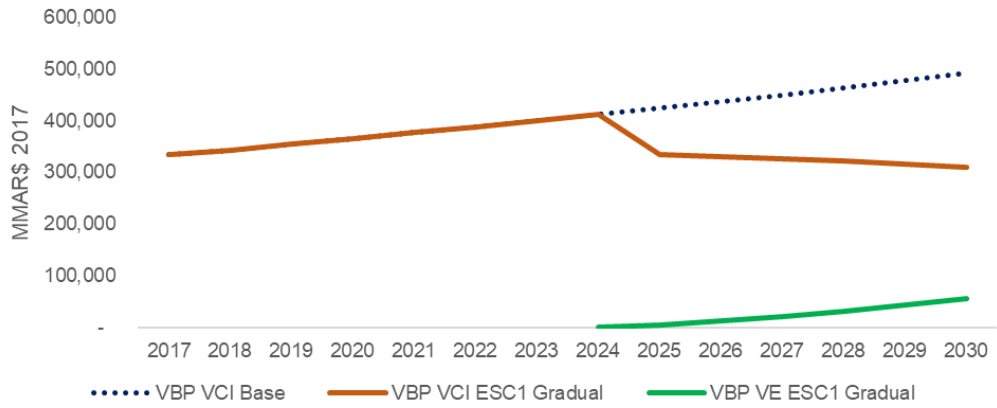
Tabla 6. Comparación de simulaciones con Escenario 1 de generación térmica.

Variable	Unidad	2017	2030				
			Base	100% importado		100% local	
				Gradual	Acelerado	Gradual	Acelerado
PBI	MMAR\$ 2017	18,485,137	23,912,496	23,440,016	24,114,207	23,440,029	24,114,222
VBP VCI	MMAR\$ 2017	335,045	433,416	310,020	210,891	310,020	210,891
VBP VE	MMAR\$ 2017	-	1	56,294	269,259	56,294	269,259
Importación	MMAR\$ 2017	764,553	989,031	1,029,879	1,373,631	1,014,200	1,301,448
Exportación	MMAR\$ 2017	1,206,768	3,710,934	3,632,259	3,845,610	3,632,262	3,845,614
Saldo comercial	MMAR\$ 2017	442,215	2,721,904	2,602,380	2,471,979	2,618,062	2,544,166
Importación/PIB	%	4%	4%	4%	6%	4%	5%
Exportación/PIB	%	7%	16%	15%	16%	15%	16%
Saldo Comercial/PIB	%	2%	11%	11%	10%	11%	11%
Empleo	Miles	20,345	26,318	25,741	25,659	25,755	25,724
Empleo VCI	Miles	81	105	75	51	75	51
Empleo VE	Miles	-	0	0	0	14	65
Emisiones totales	MMtCO ₂ e	375	485	489	506	489	506
Emisiones por generación térmica	MMtCO ₂ e	49	64	76	94	76	94

Tabla 7. Comparación de simulaciones con Escenario 2 de generación renovable

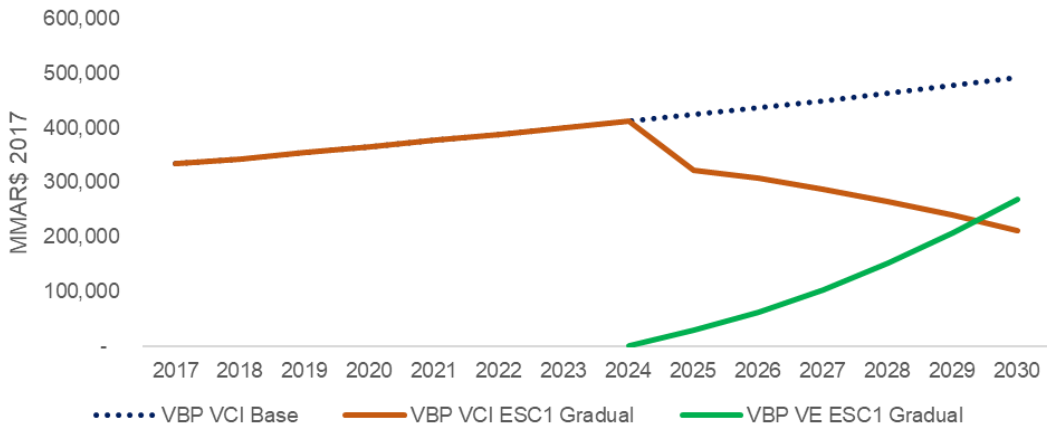
Variable	Unidad	2017	2030				
			Base	100% importado		100% local	
				Gradual	Acelerado	Gradual	Acelerado
PBI	MMAR\$ 2017	18,485,137	23,912,496	23,735,297	26,474,433	23,735,311	26,474,448
VBP VCI	MMAR\$ 2017	335,045	433,416	309,973	210,710	309,973	210,710
VBP VE	MMAR\$ 2017	-	1	57,260	273,444	57,260	273,444
Importación	MMAR\$ 2017	764,553	989,031	980,287	1,130,281	966,913	1,066,440
Exportación	MMAR\$ 2017	1,206,768	3,710,934	3,554,607	3,543,887	3,554,610	3,543,890
Saldo comercial	MMAR\$ 2017	442,215	2,721,904	2,574,321	2,413,607	2,587,697	2,477,450
Importación/PIB	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Exportación/PIB	%	7%	16%	15%	13%	15%	13%
Saldo Comercial/PIB	%	2%	11%	11%	9%	11%	9%
Empleo	Miles	20,345	26,318	25,756	26,114	25,769	26,179
Empleo VCI	Miles	81	105	75	51	75	51
Empleo VE	Miles	-	0	0	0	14	65
Emisiones totales	MMtCO ₂ e	375	485	443	434	443	434

Gráfico 1. Evolución de VBP de producción de vehículos. Sustitución gradual. MMAR\$ 2017



Fuente: elaboración propia

Gráfico 2. Evolución de VBP de producción de vehículos. Sustitución acelerada. MMAR\$ 2017



Fuente: elaboración propia

7. Referencias bibliográficas

1. Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina, A.C.A.R.A, (2021), 'Electromovilidad: Un repaso por el estado de la tecnología y el mercado', SIOMAA.
2. Berg, C, (2006), 'Household Transport Demand in a CGE-framework', *Environmental and Resource Economics* **37**(3), 573—597.
3. Brennan, John W.; Barder, Timothy E, (2015), Battery Electric Vehicles.
4. vs, Internal Combustion Engine Vehicles, A United States-Based Comprehensive Assessment”, Arthur D, Little, <https://www.adlittle.com/en>
5. Bröcker, J.; Kancs, A.; Schürmann, C, & Wegener, M, (2002), 'Methodology for the Assessment of Spatial Economic Impacts of Transport Projects and Policies', Reports from the Institute for Spatial Planning.
6. Chenery, H.B. and Watanabe, T. (1958) International Comparison of the Structure of Production. *Econometrica*, 26, 487-521.
7. Danyang Li, Wenying Chen (2019), 'TIMES modeling of the large-scale popularization of electric vehicles under the worldwide prohibition of liquid vehicle sales', *Applied Energy* **254** (113627).
8. Dietzenbacher, Erik and Esther Velazquez. 2007. 'Analysing Andalusian Virtual Water Trade in an Input-Output Framework’ *Regional Studies*, 41, 185–196.
9. Dirección Nacional de Cambio Climático (2019), 'Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero'.
10. Dirección Nacional de Escenarios y Planeamiento Energético, SSPE (2019), Escenarios Energéticos 2030, Documento de síntesis. Luciano Caratori, Leonardo Javier Mastronardi, ed.
11. Energy Technology Policy Division, I, E, A, (2020), 'Global EV Outlook 2020, Entering the decade of electric drive', Technical report, International Energy Agency (IEA).
12. Garros M., Orbaiz P., Movsichoff C., Agulló J., Rivera P, J., Cosentino S., Oxenford N., Aguirre S., Fernández C, C, Buses a Biodiésel, Prueba Piloto de Buses de Combustibles Alternativos, Secretaría de Transporte y Obras Públicas, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Julio de 2021.
13. Garros M., Orbaiz P., Movsichoff C., Agulló J., Rivera P, J., Cosentino S., Oxenford N., Aguirre S., Fernández C, C, Buses GNC, Prueba Piloto de Buses de Combustibles Alternativos, Secretaría de Transporte y Obras Públicas, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Julio de 2021.
14. Garros M., Orbaiz P., Movsichoff C., Agulló J., Rivera P, J., Cosentino S., Oxenford N., Aguirre S, Fernández C, C, Buses eléctricos, Prueba Piloto de Buses de Combustibles Alternativos, Secretaría de Transporte y Obras Públicas, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Julio de 2021.
15. International Energy Agency, Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future. International Energy Agency. Mayo 2022.
16. Karkatsoulis, P.; Siskos, P.; Paroussos, L, & 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.
17. Kejun, J.; Chenmin, H.; Songli, Z.; Pianpian, X, & Sha, C, (2021), 'Transport scenarios for China and the role of electric vehicles under global 2 °C/1,5 °C targets', *Energy Economics*, 105172.
18. Khanam, S.; Miyata, Y, & Liu, Y, (2011), A Computable General Equilibrium Analysis of Electric Vehicle Society in Toyohashi City, Japan, in 'ERSA conference papers', European Regional Science Association., pp, 1892.

19. König, A.; Nicoletti, L.; Schröder, D.; Wolff, S.; Waclaw, A.; Lienkamp, M, An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles, *World Electr, Veh, J*, **2021**, 12, 21. <https://doi.org/10.3390/wevj12010021>
20. Leurent, F., & 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*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2015.06.006>
21. León, Sonia M, Evaluación de impacto del Metrobús 9 de julio sobre el valor de los departamentos aledaños, LI Reunión Anual ASOCIACION ARGENTINA DE ECONOMIA POLITICA (AAEP), noviembre de 2016.
22. Li, W.; Jia, Z, & Zhang, H, (2016), 'The impact of electric vehicles and CCS in the context of emission trading scheme in China: A CGE-based analysis', *Energy* (2016),
23. Lin, B, & Wu, W, (2021), 'The impact of electric vehicle penetration: A recursive dynamic CGE analysis of China', *Energy Economics* **94**, 105086.
24. Lutsey, Nic, Cui, Hongyang, Yu, Rujie, (2021), "Evaluating electric vehicle costs and benefits in china in the 2020–2035 time-frame", White Paper, International Council on Clean Transportation (ICCT), <https://theicct.org/>
25. Mastronardi, Leonardo J.; Vila Martinez, Juan P.; Capobianco, S.; Michelena, G. (2017). Matriz de Contabilidad Social para Argentina 2015. Estimación con desagregación exhaustiva de los sectores energéticos. Ministerio de Energía y Ministerio de Producción.
26. Melvin, J. R. (1979). Short-Run Price Effects of the Corporate Income Tax and Implications for International Trade. *The American Economic Review*, 69(5), 765–774. <http://www.jstor.org/stable/1813645>
27. Ministerio de Desarrollo Productivo, Proyecto de Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable, octubre de 2021.
28. Movilidad Sustentable, Metrobús, 2022, Argentina.gob.ar
29. National Academies of Sciences, E, & M, (2021), Assessment of Technologies for Improving Fuel Economy of Light-Duty Vehicles—2025-2035, National Academies Press, Washington, DC..
30. Prensa Gobierno de Mendoza, Mendoza suma más transporte sustentable a su servicio público, agosto de 2021.
31. Revista Vial, La incorporación de buses eléctricos en la ciudad de Mendoza, septiembre 2020.
32. Rodriguez Tornquist, Rodrigo / Vazano, P, Barbero, Jose / Bertranou, J., ed, (2019), "Impacto y consumo de recursos en el sector transporte", Las políticas de transporte en Argentina, Los años de la post-convertibilidad (2002-2015), Biblos.
33. R, Prieto, J, V, y, S, G, (2021), 'Transporte Sostenible en Argentina: Costos e impactos ambientales de los distintos combustibles', Sostenibilidad en el transporte público en Argentina - APE Cámara Argentina de la Construcción.
34. Robson, E, N.; Wijayaratna, K, P, & Dixit, V, V, (2018), 'A review of computable general equilibrium models for transport and their applications in appraisal', *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **116**, 31—53.
35. Rocco, M, V.; Casalegno, A, & Colombo, E, (2018), 'Modelling Road transport technologies in future scenarios: Theoretical comparison and application of Well-to-Wheels and Input-Output analyses', *Appl, Energy* **232**, 583—597.
36. Schmelzer, S.; Miess, M.; Scasny, M, & Kopečna, V, (2018), 'Modelling Electric Vehicles as an Abatement Technology in a Hybrid CGE Model', IES Working Paper, Charles University in Prague, Institute of Economic Studies (IES), Prague (16/2018),
37. Shafiei, E.; Leaver, J, & Davidsdottir, B, (2017), 'Cost-effectiveness analysis of inducing green vehicles to achieve deep reductions in greenhouse gas emissions in New Zealand', *Journal of Cleaner Production* **150**, 339—351.
38. Shafiei, E.; Davidsdottir, B.; Fazeli, R.; Leaver, J.; Stefansson, H, & Asgeirsson, E, I, (2018), 'Macroeconomic effects of fiscal incentives to promote electric vehicles in

- Iceland: Implications for government and consumer costs', *Energy Policy* **114**, 431—443.
39. Sharma, A, & Strezov, V, (2017), 'Life cycle environmental and economic impact assessment of alternative transport fuels and power-train technologies', *Energy* **133**, 1132—1141.
 40. Steenbergen, A, V.; Vandresse, M, & Mayeres, I, (2011), 'A computable general equilibrium for Belgium with a special focus on transport policies', WORKING PAPER 12-11 Federal Planning Bureau.
 41. Suehiro, S, and A.J. Purwanto (2020) "Impacts on Industry by xEV Penetration", The Influence on Energy and the Economy of Electrified Vehicle Penetration in ASEAN, ERIA, Research Project Report FY2020 no,14, Jakarta: ERIA, pp,28-57.
 42. Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos, S, d, P, E, E, (2018), 'Balance Energético Nacional 2015, Documento Metodológico'.
 43. Unidiversidad, Transporte sustentable: Mendoza busca sumar 20 colectivos con propulsión total a GNC, agosto de 2021.
 44. UNTREF, Hacia una Política de Transporte de Calidad en el AMBA: Diagnóstico y Recomendaciones, Informe Final, 24/11/2015.
 45. U.S. EPA (2015). Environmental Protection Agency (EPA) International Decontamination Research and Development Conference. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-15/283, 2015.
 46. Wu, Y.; Yang, Z.; Lin, B.; Liu, H.; Wang, R.; Zhou, B. & Hao, J. (2012). 'Energy consumption and CO2 emission impacts of vehicle electrification in three developed regions of China', *Energy Policy* **48**, 537—550.
 47. Zhang, Y, & Han, Q, (2017), 'Development of electric vehicles for China's power generation portfolio: A regional economic and environmental analysis', *Journal of Cleaner Production* **162**, 71—85.
 48. Zhang, R.; Zhang, J.; Long, Y.; Wu, W.; Liu, J, & Jiang, Y, (2021), 'Long-term implications of electric vehicle penetration in urban decarbonization scenarios: An integrated land use transport energy model', *Sustainable Cities and Society* **68**, 102800.
 49. Zhang, R.; Long, Y.; Wu, W, & Li, G, (2018a), 'How do transport policies contribute to a low carbon city? An integrated assessment using an urban computable general equilibrium model', *Energy Procedia* **152**, 606—611.
 50. Zhang, R.; Fujimori, S.; Dai, H, & Hanaoka, T, (2018), 'Contribution of the transport sector to climate change mitigation: Insights from a global passenger transport model coupled with a computable general equilibrium model', *Applied Energy* **211**, 76—88.
 51. Zhao, Y, & Tatari, O, (2015), 'A hybrid life cycle assessment of the vehicle-to-grid application in light duty commercial fleet', *Energy* **93**, 1277—1286.
 52. Zhao, Y.; Onat, N, C.; Kucukvar, M, & Tatari, O, (2016), 'Carbon and energy footprints of electric delivery trucks: A hybrid multi-regional input-output life cycle assessment', *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **47**, 195—207.