



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
UDELAR

# Reformulación del IMESI vehicular como herramienta de política pública para la descarbonización del transporte: integración del etiquetado de eficiencia energética y desarrollo de un modelo de simulación de impactos

Emiliano Federico Roselló Urrutia

Programa de Posgrado en Ingeniería de la Energía  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República

Montevideo – Uruguay  
Setiembre de 2025



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
UDELAR

# Reformulación del IMESI vehicular como herramienta de política pública para la descarbonización del transporte: integración del etiquetado de eficiencia energética y desarrollo de un modelo de simulación de impactos

Emiliano Federico Roselló Urrutia

Tesis de Maestría presentada al Programa de Posgrado en Ingeniería de la Energía, Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del título de Magíster en Ingeniería de la Energía.

Director:

Mag. Ing. Prof. Ernesto Elenter

Director académico:

Mag. Ing. Prof. Ernesto Elenter

Montevideo – Uruguay

Setiembre de 2025

Roselló Urrutia, Emiliano Federico

Reformulación del IMESI vehicular como herramienta de política pública para la descarbonización del transporte: integración del etiquetado de eficiencia energética y desarrollo de un modelo de simulación de impactos / Emiliano Federico Roselló Urrutia. - Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, 2025.

XXI, 149 p.: il.; 29, 7cm.

Director:

Ernesto Elenter

Director académico:

Ernesto Elenter

Tesis de Maestría – Universidad de la República, Programa en Ingeniería de la Energía, 2025.

Referencias bibliográficas: p. 109 – 116.

1. IMESI, 2. eficiencia energética, 3. descarbonización del transporte, 4. vehículos livianos. I. Elenter, Ernesto, . II. Universidad de la República, Programa de Posgrado en Ingeniería de la Energía. III. Título.

## INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

---

Mag. Ing. Prof. Natalia Casanova

---

Mag. Ing. Prof. Juan Carriquiry

---

Mag. Ing. Prof. Santiago Martínez

Montevideo – Uruguay  
Setiembre de 2025

A mi padre, que a través de su  
pasión por la docencia y el  
estudio me enseñó el valor de  
generar nuevos conocimientos.

# Agradecimientos

Quisiera agradecer a todos los que hicieron posible la realización de este trabajo. A mi familia, por el apoyo continuo que me permitió dedicarle el tiempo necesario; a mi tutor, por interesarse en el tema y darle seguimiento a la investigación; a la Dirección Nacional de Energía y a sus técnicos, por valorar el aporte y permitirme acceder a los datos, sin los cuales no hubiera sido posible llevarla a cabo. Adicionalmente, quisiera agradecer a Ramón Méndez, Gonzalo Márquez y a los miembros del tribunal por su tiempo y por los comentarios que permitieron enriquecer el trabajo.

## RESUMEN

En esta tesis se presenta una propuesta orientada a contribuir con elementos técnicos y analíticos que permitan respaldar una eventual reformulación del esquema del Impuesto Específico Interno aplicado a los vehículos livianos cero kilómetro en Uruguay. La propuesta incorpora criterios ambientales a través del etiquetado de eficiencia energética vehicular, utilizando como parámetro principal las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> allí declaradas. El trabajo se enmarca en los compromisos asumidos por el país para descarbonizar el sector transporte y en la discusión actual sobre la sostenibilidad fiscal de los incentivos vigentes.

Con este objetivo, se desarrolló una base de datos y una herramienta de simulación en Python y Excel que permite modelar y comparar distintos esquemas de aplicación del impuesto, evaluando sus impactos energéticos, fiscales y ambientales. La metodología incluye funciones que vinculan las emisiones de CO<sub>2</sub> con las tasas impositivas, considerando diferentes niveles de sensibilidad de la demanda al precio vehicular. Se definieron doce escenarios de simulación, que permiten demostrar la funcionalidad de la herramienta y aportar evidencia útil para alimentar la discusión política sobre posibles esquemas alternativos. Adicionalmente, se realizaron proyecciones a cinco años para estimar el comportamiento de los principales indicadores obtenidos con la herramienta bajo cada escenario, incluyendo la recaudación fiscal, el consumo de combustibles, la demanda eléctrica y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los resultados muestran que la herramienta desarrollada puede aportar insumos relevantes para el análisis técnico requerido frente a los desafíos que plantea, por un lado, la reducción progresiva de la recaudación fiscal derivada del crecimiento de tecnologías vehiculares más limpias, y por otro, la necesidad de profundizar la descarbonización del transporte en Uruguay. Palabras claves:

IMESI, eficiencia energética, descarbonización del transporte, vehículos livianos.

## ABSTRACT

This thesis presents a proposal aimed at contributing technical and analytical elements to support a potential reformulation of the acquisition tax applied to new light-duty vehicles in Uruguay. The proposal incorporates environmental criteria through the vehicle energy efficiency labeling system, using the declared specific CO<sub>2</sub> emissions as the main parameter. The work is framed within the commitments assumed by the country to decarbonize the transport sector and the ongoing discussion on the fiscal sustainability of current incentives.

To this end, a database and a simulation tool were developed in Python and Excel to model and compare different acquisition tax schemes, assessing their energy, fiscal, and environmental impacts. The methodology includes functions that link CO<sub>2</sub> emissions to tax rates, considering different levels of demand sensitivity to vehicle prices. Twelve simulation scenarios were defined, which serve both to demonstrate the functionality of the tool and to provide useful evidence for informing the political discussion on alternative tax designs.

Additionally, five-year projections were carried out to estimate the behaviour of key indicators generated by the tool under each scenario, including fiscal revenue, fuel consumption, electricity demand, and greenhouse gas emissions.

The results show that the tool can provide relevant inputs for the technical analysis required to address the challenges posed by, on one hand, the progressive decline in fiscal revenue due to the growth of cleaner vehicle technologies, and on the other, the need to accelerate the decarbonization of transport in Uruguay.

Keywords:

energy efficiency, transport decarbonization, light vehicle.

# Lista de figuras

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | Emisiones de CO <sub>2</sub> por sector. Matriz 2023. Fuente: [39]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2  |
| 1.2 | Estructura, consumo energético y emisiones del parque vehicular en el año 2023. Fuente: [39]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2  |
| 1.3 | Relación entre emisiones de CO <sub>2</sub> (NEDC) y tasa de IMESI para vehículos comercializados en Uruguay durante 2023. Las ventas totales por categoría de IMESI se presentan en el gráfico inferior. Esta figura es reutilizada en esta sección con fines introductorios y se presenta y analiza en detalle como Figura 4.1 en la Sección 4.1. Aquí se incluye para facilitar la motivación del problema. Fuente: elaboración propia. | 5  |
| 2.1 | Ejemplos de etiquetas de eficiencia energética vehicular de Alemania, España y Francia (de izquierda a derecha).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 10 |
| 2.2 | Ejemplos de etiquetas de eficiencia energética vehicular de EUA. Vehículos a gasolina, híbrido con recarga exterior y eléctrico. Fuente: [59]                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 11 |
| 2.3 | Ejemplo de etiqueta de eficiencia energética vehicular de Brasil. Fuente: [47]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 13 |
| 2.4 | Etiqueta comparativa de eficiencia energética vehicular en Argentina. Fuente: [33]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 14 |
| 2.5 | Carga fiscal por concepto de impuesto de adquisición en función de las emisiones de CO <sub>2</sub> , expresada como porcentaje del valor del vehículo. Aplica a vehículos nuevos y considera exclusivamente tributos al momento de la compra. Fuente: [57].                                                                                                                                                                               | 20 |
| 2.6 | Venta anual de vehículos cero kilómetro diferenciado por tecnología (2021-2024). Fuente: elaboración propia con datos de [44] y [40].                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 24 |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7 | Total de vehículos en parque automotor diferenciados por tecnología (2017-2024). Fuente: elaboración propia con datos de [44] . . . . .                                                                                                                                                              | 24 |
| 2.8 | Porcentaje de participación en el parque automotor de vehículos eléctricos, diferenciado por categoría, en el año 2024. Fuente: elaboración propia con datos de [44] . . . . .                                                                                                                       | 25 |
| 3.1 | Función lineal de IMESI (%) en función de CO <sub>2</sub> (g/km) utilizada en el Escenario 1. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                    | 42 |
| 3.2 | Comparación de la función IMESI (%) en función de CO <sub>2</sub> (g/km) para la línea base (sin +10 % - Escenario 5) y la línea penalizada (+10 % - Escenario 6). Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                               | 44 |
| 3.3 | Comparación de la función IMESI (%) en función de las emisiones de CO <sub>2</sub> (g/km) para los Escenarios 8 y 11. Se observa que el Escenario 11 presenta una pendiente más pronunciada, lo que implica una señal fiscal más intensa frente a las emisiones. Fuente: elaboración propia. . . . . | 47 |
| 3.4 | Grafico de emisiones vs. rendimiento para vehículos a combustión interna en el mercado uruguayo. Fuente: [53] . . . . .                                                                                                                                                                              | 52 |
| 4.1 | Relación entre emisiones de CO <sub>2</sub> (NEDC) y tasa de IMESI para el año 2023. En la parte inferior, se incluyen las ventas totales por categoría de IMESI. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                | 60 |
| 4.2 | Distribución de emisiones específicas de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) en función del porcentaje acumulado de ventas para todas las tasas de IMESI analizadas. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                           | 64 |
| 4.3 | Distribución de emisiones específicas de CO <sub>2</sub> en función del porcentaje acumulado de ventas para todas las tasas de IMESI analizadas. Rango de eje Y fijo para todos los subgráficos de 0 a 300 g/km de CO <sub>2</sub> . Fuente: elaboración propia. . . . .                             | 65 |
| 4.4 | Histograma de emisiones de CO <sub>2</sub> , separado por tasa de IMESI, donde la altura de cada barra representa el volumen total de ventas en cada intervalo de emisiones. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                     | 67 |
| 4.5 | Ventas totales por escenario en relación al año sin intervención (año base). Escenarios filtrados por elasticidad = -1,87. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                       | 71 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6  | Variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por tipo de motor. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                          | 72 |
| 4.7  | Mapa de calor: variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por tipo de motor. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . Fuente: elaboración propia. . .                                                               | 73 |
| 4.8  | Mapa de calor: variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por categoría vehicular. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . Fuente: elaboración propia. . . . .                                                     | 74 |
| 4.9  | Mapa de calor: variación del consumo promedio (L/100km), diferenciado por categoría vehicular. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . No se incluyen vehículos tipo D. Los promedios están ponderados por ventas. Fuente: elaboración propia. . . . .  | 75 |
| 4.10 | Mapa de calor: variación del consumo promedio (L/100km), diferenciado por tipo de motorización. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . No se incluyen vehículos tipo D. Los promedios están ponderados por ventas. Fuente: elaboración propia. . . . . | 76 |
| 4.11 | Diferencia anual de consumo de combustible (en $m^3$ ) por tipo de vehículo y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                             | 77 |
| 4.12 | Diferencia anual de consumo de combustible (en $m^3$ ) por tipo de motorización y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                         | 79 |
| 4.13 | Diferencia anual de emisiones de $CO_2$ (en toneladas) por tipo de vehículo y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                             | 80 |
| 4.14 | Diferencia anual de emisiones de $CO_2$ (en toneladas) por tipo de motorización y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                         | 81 |
| 4.15 | Variación absoluta en la recaudación de IMESI (en millones USD) del escenario respecto al año base. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                         | 88 |
| 4.16 | Variación de la recaudación de IMESI por unidad vendida (USD/unidad) del escenario respecto al año base. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                    | 89 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.17 | Diferencia absoluta en las unidades vendidas (BEV y no BEV) respecto al año base. Escenarios filtrados por elasticidad = $-1,87$ . Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 89 |
| 4.18 | Distribución de ventas de vehículos BEV y No-BEV en el año 2024 para los escenarios simulados con elasticidad-precio $-1,87$ . Cada barra representa la composición de ventas para un escenario, manteniéndose constante el total anual (57.183 unidades). Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                         | 91 |
| 4.19 | Evolución de la participación de BEV (%) en las ventas de vehículos 0 km para doce escenarios y tres trayectorias de electrificación: pesimista, tendencial y acelerado. Dado que se emplean factores de crecimiento acumulativo diferentes para cada trayectoria y que las participaciones iniciales de BEV son únicas para cada uno de los doce escenarios, se obtienen gráficos de proyección distintos para cada uno de ellos. Fuente: elaboración propia. . . . . | 92 |
| 4.20 | Recaudación acumulada por concepto de IMESI en el período 2024–2028, para cada escenario y trayectoria de electrificación. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 94 |
| 4.21 | Variación anual en la recaudación de IMESI con respecto al año base 2023 (línea horizontal = 0), para los Escenarios 8, 9, 10 y 12 bajo tres trayectorias de penetración de BEV (pesimista, tendencial y acelerada). Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                               | 95 |
| 4.22 | Consumo energético acumulado (2024-2028) considerando solo vehículos BEV. Resultados expresados en miles de tep (ktep). Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 97 |
| 4.23 | Consumo energético acumulado (2024-2028) considerando solo vehículos BEV. Resultados expresados en GWh. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 97 |
| 4.24 | Consumo energético acumulado sin considerar BEV para el período 2024–2028. Resultados expresados en miles de tep (ktep). Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 98 |
| 4.25 | Consumo energético acumulado sin considerar BEV para el período 2024–2028. Resultados expresados en GWh. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 98 |

|      |                                                                                                                                                                                                 |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.26 | Consumo energético acumulado total (2024-2028). Resultados expresados en miles de tep (ktep). Fuente: elaboración propia. .                                                                     | 99  |
| 4.27 | Consumo energético acumulado total (2024-2028). Resultados expresados en GWh. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                               | 100 |
| 4.28 | Emisiones acumuladas de CO <sub>2</sub> para el período 2024–2028, filtradas por elasticidad = $-1,87$ , diferenciadas por tipo de penetración tecnológica. Fuente: elaboración propia. . . . . | 101 |

# Lista de tablas

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1 | Puntos de referencia para la creación de función lineal en el Escenario 1. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                 | 42  |
| 3.2 | Puntos de referencia para la creación de función lineal aplicable a automóviles y SUV en el Escenario 8. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                   | 45  |
| 3.3 | Puntos de referencia para la creación de función lineal aplicable a utilitarios en el Escenario 8. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                         | 45  |
| 3.4 | Puntos de referencia para la creación de función lineal aplicable a automóviles y SUV en el Escenario 11. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                  | 46  |
| 3.5 | Resumen de características de los escenarios de simulación. Para un mayor detalle por escenario se debe consultar el archivo Creación de escenarios.xlsx . . . . .                                                                                                                                                             | 48  |
| 3.6 | Comportamiento de la elasticidad variable. Fuente: elaboración propia. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                 | 55  |
| 4.1 | Resultados del Escenario 8 bajo distintos valores de elasticidad-precio (-1,37, -1,87 y -2,37) de la demanda, desagregados por categoría vehicular (Tipo 2). Todas las variaciones reflejan el cambio anual observado en el Escenario 8 en relación con el año base sin intervención. No se incluyen vehículos tipo D. . . . . | 84  |
| 1.1 | Tasas de IMESI para vehículos utilitarios extraídas del Decreto N° 390/021 [6]. Solo se muestran las categorías que se encuentran enmarcadas por la clasificación N1 según la clasificación del reglamento técnico MERCOSUR sobre vehículos automotores y remolques (MERCOSUR/GMC/RES. N° 60/19) [7] . . . . .                 | 145 |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.2 | Tasas de IMESI para automóviles y SUV extraídas del Decreto N° 390/021 [6]. Solo se muestran las categorías que se encuentran enmarcadas por la clasificación M1 según la clasificación del reglamento técnico MERCOSUR sobre vehículos automotores y remolques (MERCOSUR/GMC/RES. N° 60/19) [7] . . . . . | 146 |
| 2.1 | Datos de referencia para la creación de boxplot y para la definición de escenarios . . . . .                                                                                                                                                                                                               | 147 |
| 3.1 | Gráficos generados a partir de scripts en Python para la presentación de los datos, análisis y discusión realizada en el capítulo 4. Parte 1 . . . . .                                                                                                                                                     | 148 |
| 3.2 | Gráficos generados a partir de scripts en Python para la presentación de los datos, análisis y discusión realizada en el capítulo 4. Parte 2 . . . . .                                                                                                                                                     | 149 |

# Lista de siglas

## Lista de abreviaturas y siglas

- BEN** Balance Energético Nacional [1](#)
- BEV** Battery Electric Vehicle [33](#), [46](#), [48](#), [50](#), [91](#), [95](#), [105](#), [108](#), [120](#), [124](#), [126](#), [127](#), [128](#), [132](#)
- CDN** Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional [1](#), [3](#), [7](#), [23](#), [25](#)
- CE** Comisión Europea [17](#)
- CEPE** Comisión Económica De las Naciones Unidas Para Europa [15](#)
- CO<sub>2</sub>** Dióxido de Carbono [x](#), [xviii](#), [xix](#), [xx](#), [1](#), [4](#), [6](#), [9](#), [10](#), [11](#), [12](#), [17](#), [19](#), [20](#), [27](#), [28](#), [33](#), [34](#), [37](#), [39](#), [41](#), [43](#), [48](#), [49](#), [51](#), [52](#), [53](#), [56](#), [57](#), [60](#), [62](#), [63](#), [64](#), [65](#), [67](#), [68](#), [69](#), [76](#), [107](#), [120](#), [121](#), [122](#), [124](#), [125](#), [128](#), [132](#), [133](#), [134](#), [137](#), [148](#)
- CTP** Costo Total de Propiedad [26](#)
- DNE** Dirección Nacional de Energía [21](#)
- EPA** Environmental Protection Agency [10](#), [28](#)
- EUA** Estados Unidos de América [10](#), [17](#)
- FE** Factor de Emisión [122](#)
- GEI** Gases de Efecto Invernadero [1](#), [4](#), [6](#), [10](#), [19](#)
- GWh** gigavatios-hora [96](#), [99](#)
- HEV** Hybrid Electric Vehicle [33](#), [120](#), [124](#)
- ICCT** The International Council on Clean Transportation [18](#), [21](#), [26](#)
- IMESI** Impuesto Específico Interno [xix](#), [4](#), [5](#), [6](#), [22](#), [30](#), [32](#), [34](#), [35](#), [37](#), [40](#), [41](#), [42](#), [43](#), [45](#), [46](#), [49](#), [51](#), [52](#), [53](#), [54](#), [60](#), [61](#), [62](#), [63](#), [65](#), [66](#), [68](#), [70](#), [72](#), [74](#), [76](#), [77](#), [80](#), [87](#), [91](#), [95](#), [100](#), [102](#), [106](#), [107](#), [123](#), [124](#), [125](#), [127](#)
- INMETRO** Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia [12](#)
- IRAE** Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas [22](#), [29](#)
- IVA** Impuesto al Valor Agregado [22](#), [123](#), [125](#)
- IZEVA** International Zero-Emission Vehicle Alliance [21](#)

**JRC** Joint Research Center [17](#)

**MHEV** Mild Hybrid Electric Vehicle [33](#), [120](#), [124](#)

**MIEM** Ministerio de Industria, Energía y Minería [1](#), [3](#), [6](#), [21](#), [23](#), [29](#), [32](#), [35](#),  
[68](#), [76](#), [83](#), [119](#), [120](#), [132](#)

**NEDC** New European Driving Cycle [15](#), [16](#), [32](#), [121](#)

**PBT** Peso Bruto Total [120](#)

**PHEV** Plug-in Hybrid Electric Vehicle [33](#), [120](#), [124](#)

**SIN** Sistema Interconectado Nacional [96](#), [101](#), [107](#), [133](#), [141](#)

**SUV** Sport Utility Vehicle [2](#), [3](#), [26](#), [27](#), [32](#), [55](#), [119](#), [121](#), [124](#)

**UE** Unión Europea [7](#), [9](#), [15](#), [16](#), [19](#)

**UNIT** Instituto Uruguayo de Normas Técnicas [16](#), [18](#)

**URSEA** Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua [32](#), [120](#)

**USD** Dólar Americano [120](#), [123](#), [125](#)

**UTE** Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas [108](#)

**VECM** Vector Error Correction Model [36](#), [106](#)

**WLTC** Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle [15](#)

**WLTP** Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure [15](#), [16](#), [18](#)

**tep** Tonelada Equivalente de Petróleo [83](#), [96](#), [128](#), [132](#), [133](#)

# Tabla de contenidos

|                                                                          |          |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| Lista de figuras                                                         | IX       |
| Lista de tablas                                                          | XIV      |
| Lista de símbolos                                                        | XV       |
| Notaciones                                                               | XV       |
| Lista de siglas                                                          | XVII     |
| <b>1 Introducción</b>                                                    | <b>1</b> |
| 1.1 Justificación y relevancia de la investigación . . . . .             | 1        |
| 1.2 Formulación del tema de la investigación . . . . .                   | 3        |
| 1.3 Objetivos . . . . .                                                  | 6        |
| 1.4 Estructura de la tesis . . . . .                                     | 7        |
| 1.5 Principales resultados obtenidos . . . . .                           | 7        |
| <b>2 Estado del arte</b>                                                 | <b>9</b> |
| 2.1 Etiquetado de eficiencia energética vehicular en el mundo . . . . .  | 9        |
| 2.1.1 Unión Europea . . . . .                                            | 9        |
| 2.1.2 Estados Unidos de América . . . . .                                | 10       |
| 2.1.3 México . . . . .                                                   | 11       |
| 2.1.4 Brasil . . . . .                                                   | 12       |
| 2.1.5 Chile . . . . .                                                    | 13       |
| 2.1.6 Argentina . . . . .                                                | 14       |
| 2.2 Ciclos de prueba para determinación de rendimiento y emisiones       | 15       |
| 2.2.1 WLTP . . . . .                                                     | 15       |
| 2.2.2 NEDC . . . . .                                                     | 16       |
| 2.2.3 Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> entre el WLTP y NEDC | 17       |

|          |                                                                                                                                                         |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.4    | FTP-75 . . . . .                                                                                                                                        | 17        |
| 2.2.5    | JC08 . . . . .                                                                                                                                          | 18        |
| 2.2.6    | Conversión de resultados entre ciclos de prueba . . . . .                                                                                               | 18        |
| 2.3      | Esquemas fiscales aplicados a la adquisición y uso vehicular . . .                                                                                      | 19        |
| 2.4      | Incentivos financieros para vehículos eficientes . . . . .                                                                                              | 21        |
| 2.5      | Recomendaciones de implementación para Uruguay . . . . .                                                                                                | 23        |
| <b>3</b> | <b>Metodología</b>                                                                                                                                      | <b>30</b> |
| 3.1      | Base de datos vehicular . . . . .                                                                                                                       | 32        |
| 3.2      | Herramienta de simulación . . . . .                                                                                                                     | 34        |
| 3.2.1    | Elasticidad-precio de la demanda vehicular . . . . .                                                                                                    | 35        |
| 3.3      | Definición de escenarios de simulación . . . . .                                                                                                        | 37        |
| 3.3.1    | Datos de referencia . . . . .                                                                                                                           | 37        |
| 3.3.2    | Parámetros configurables para la simulación . . . . .                                                                                                   | 39        |
| 3.3.3    | Lógica y definición de los escenarios . . . . .                                                                                                         | 39        |
| 3.3.4    | Resumen general de escenarios . . . . .                                                                                                                 | 47        |
| 3.4      | Proyección . . . . .                                                                                                                                    | 48        |
| 3.5      | Justificación de las decisiones metodológicas adoptadas . . . . .                                                                                       | 51        |
| 3.5.1    | Discusión y selección del parámetro para fijación del Im-<br>puesto Específico Interno (IMESI) (CO <sub>2</sub> vs rendimiento<br>energético) . . . . . | 51        |
| 3.5.2    | Comparación y selección entre esquemas escalonados y<br>lineales para IMESI . . . . .                                                                   | 53        |
| 3.5.3    | Aplicación de elasticidad variable a los vehículos mas<br>económicos . . . . .                                                                          | 55        |
| 3.5.4    | Utilización de valores unitarios constantes en las proyec-<br>ciones . . . . .                                                                          | 56        |
| 3.6      | Generación de gráficos para análisis . . . . .                                                                                                          | 57        |
| <b>4</b> | <b>Presentación de los datos, Análisis, Discusión</b>                                                                                                   | <b>59</b> |
| 4.1      | Análisis de base de datos y generación de datos de referencia<br>para simulación . . . . .                                                              | 59        |
| 4.2      | Resultados de simulación - Análisis Energético . . . . .                                                                                                | 68        |
| 4.2.1    | Variación en las ventas totales, por tipo de motorización<br>y categoría vehicular . . . . .                                                            | 70        |
| 4.2.2    | Variación en el consumo promedio del parque . . . . .                                                                                                   | 74        |

|          |                                                                                                        |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.3    | Variación en el consumo de combustible y las emisiones de CO <sub>2</sub> . . . . .                    | 76         |
| 4.2.4    | Análisis de un escenario representativo con evaluación del efecto de distintas elasticidades . . . . . | 82         |
| 4.2.5    | Análisis general de los resultados . . . . .                                                           | 85         |
| 4.3      | Resultados de simulación - Resumen Escenarios . . . . .                                                | 87         |
| 4.3.1    | Variación absoluta en la recaudación total de IMESI . . . . .                                          | 88         |
| 4.3.2    | Variación en la recaudación de IMESI por unidad vendida . . . . .                                      | 88         |
| 4.3.3    | Diferencia en las ventas entre BEV y no BEV . . . . .                                                  | 89         |
| 4.3.4    | Análisis general de los resultados . . . . .                                                           | 90         |
| 4.4      | Resultados de la proyección . . . . .                                                                  | 90         |
| 4.4.1    | Recaudación acumulada por IMESI . . . . .                                                              | 93         |
| 4.4.2    | Variación anual de la recaudación de IMESI respecto al año base (2023) . . . . .                       | 94         |
| 4.4.3    | Consumo energético acumulado de vehículos eléctricos . . . . .                                         | 95         |
| 4.4.4    | Consumo energético acumulado sin considerar vehículos eléctricos . . . . .                             | 97         |
| 4.4.5    | Consumo energético acumulado total . . . . .                                                           | 99         |
| 4.4.6    | Emisiones acumuladas de CO <sub>2</sub> . . . . .                                                      | 100        |
| <b>5</b> | <b>Conclusiones y trabajos a futuro</b>                                                                | <b>102</b> |
| 5.1      | Conclusiones relativas a la herramienta desarrollada . . . . .                                         | 102        |
| 5.2      | Conclusiones de la proyección . . . . .                                                                | 104        |
| 5.3      | Líneas futuras de investigación . . . . .                                                              | 106        |
|          | <b>Referencias bibliográficas</b>                                                                      | <b>109</b> |
|          | <b>Glosario</b>                                                                                        | <b>116</b> |
|          | <b>Apéndices</b>                                                                                       | <b>117</b> |
|          | Apéndice 1 Procesamiento de datos y estructura de cálculo . . . . .                                    | 118        |
| 1.1      | Base de datos vehicular . . . . .                                                                      | 119        |
| 1.1.1    | Información contenida en la base de datos . . . . .                                                    | 119        |
| 1.1.2    | Tratamiento de datos . . . . .                                                                         | 121        |
| 1.2      | Pasos previos a la simulación de escenarios . . . . .                                                  | 122        |
| 1.2.1    | Preparación de datos . . . . .                                                                         | 122        |
| 1.2.2    | Ejecución del código inicial para cálculo de IMESI . . . . .                                           | 123        |

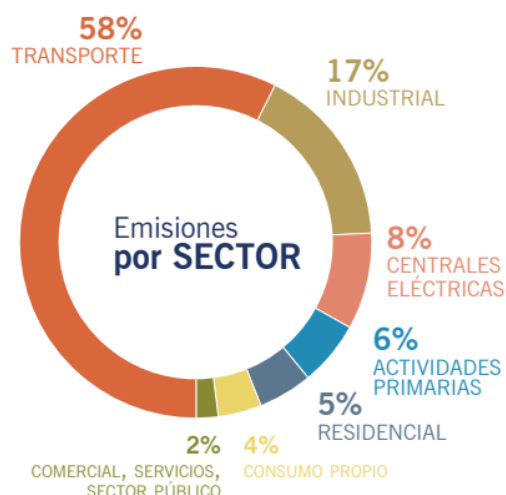
|               |                                                                                      |            |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.2.3         | Generación del archivo intermedio . . . . .                                          | 123        |
| 1.3           | Metodología para la simulación de escenarios . . . . .                               | 123        |
| 1.3.1         | Parámetros configurables y datos de salida . . . . .                                 | 124        |
| 1.3.2         | Información contenida en los escenarios individuales . . .                           | 125        |
| 1.3.3         | Fórmulas empleadas para la creación de los escenarios<br>individuales . . . . .      | 125        |
| 1.3.4         | Información contenida en la hoja Resumen Escenarios . .                              | 126        |
| 1.3.5         | Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Resumen<br>Escenarios . . . . .       | 128        |
| 1.3.6         | Información contenida en la hoja Análisis Energético . .                             | 132        |
| 1.3.7         | Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Análisis<br>Energético . . . . .      | 134        |
| 1.4           | Proyección . . . . .                                                                 | 138        |
| 1.4.1         | Información contenida en la hoja Proyección Recaudación                              | 138        |
| 1.4.2         | Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Proyec-<br>ción Recaudación . . . . . | 139        |
| 1.4.3         | Información contenida en la hoja Proyección Energía . .                              | 140        |
| 1.4.4         | Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Proyec-<br>ción Energía . . . . .     | 141        |
| <b>Anexos</b> |                                                                                      | <b>144</b> |
| Anexo 1       | . . . . .                                                                            | 145        |
| Anexo 2       | . . . . .                                                                            | 147        |
| Anexo 3       | . . . . .                                                                            | 148        |

# Capítulo 1

## Introducción

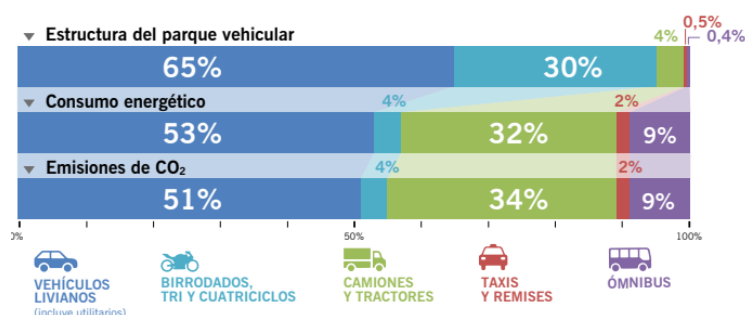
### 1.1. Justificación y relevancia de la investigación

Dentro de los objetivos de desarrollo de bajas emisiones, a los cuales Uruguay se ha comprometido dentro del marco del Acuerdo de París, se encuentran las reducciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector transporte. Los objetivos específicos del sector transporte se encuentran establecidos en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN) [31]. En la segunda CDN, presentada en diciembre de 2022, se establece la necesidad de continuar profundizando la incorporación de vehículos eléctricos y la infraestructura de carga hacia 2030 [32]. Como se observa en la Figura 1.1, en el año 2023 el 58 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> tuvieron su origen en el sector transporte, de acuerdo a los datos publicados en el Balance Energético Nacional (BEN) 2023 [39], el cual es elaborado anualmente por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM).



**Figura 1.1:** Emisiones de CO<sub>2</sub> por sector. Matriz 2023. Fuente: [39]

Del análisis de la estructura del parque vehicular presentado en la Figura 1.2 se desprende que en el año 2023 el 65 % del mismo estaba compuesto por vehículos livianos, los cuales se encuentran incluidos en la implementación del etiquetado de eficiencia energética vehicular.



**Figura 1.2:** Estructura, consumo energético y emisiones del parque vehicular en el año 2023. Fuente: [39]

En el 2023, más del 50 % del consumo energético y de las emisiones del parque vehicular se origina en los vehículos livianos, lo que refuerza la necesidad de priorizar acciones de reducción de emisiones en este segmento. Entre 2017 y 2024, el parque de vehículos livianos (automóviles, Sport Utility Vehicle (SUV)<sup>1</sup>, pick-ups y utilitarios) aumentó un 27,5 %, siendo las SUV y pick-ups las categorías con mayor crecimiento acumulado [44]. Este incremento es consistente con el aumento sostenido en el consumo de gasolina para automoción,

<sup>1</sup>En español, “Vehículo utilitario deportivo”

que alcanzó los 634 ktep en 2023, representando el 45 % del consumo energético total del sector transporte [39].

Finalmente, la elevada proporción de energías renovables en la generación eléctrica, que entre 2016 y 2023 alcanzó el 94 % en promedio [39], hace atractiva la implementación de vehículos eléctricos como una estrategia efectiva para reducir las emisiones de carbono en el sector del transporte. Según datos del MIEM, a 2023, el parque vehicular de vehículos livianos de pasajeros y carga, que incluye automóviles, SUV, crossover, rurales, utilitarios, taxis y remises, sumaba un total de 1.012.417 unidades, de las cuales solo el 0,4 % eran eléctricos y el 0,7 % híbridos [44].

## 1.2. Formulación del tema de la investigación

Dentro de las medidas establecidas en la primera CDN se encuentra el compromiso de implementar el etiquetado obligatorio de eficiencia energética en vehículos livianos a combustión a 2025. El mismo está respaldado por el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015-2024 aprobado por el Poder Ejecutivo a través del Decreto N° 211/015, de 3 de agosto de 2015 [14].

El etiquetado de eficiencia energética de vehículos livianos fue aprobado mediante resolución del MIEM en mayo de 2023 y se estableció la obligatoriedad del etiquetado para vehículos livianos a combustión a partir de setiembre 2024 [15]. Adicionalmente, el etiquetado se volvió obligatorio para los vehículos eléctricos híbridos con y sin recarga exterior en marzo 2025 y lo será para los vehículos eléctricos puros en setiembre 2025. Las categorías incluidas en el etiquetado corresponden a las M1 y N1, según la clasificación del reglamento técnico MERCOSUR sobre vehículos automotores y remolques (MERCOSUR/GMC/RES. N° 60/19) [7]. La categoría M1 comprende a los vehículos destinados al transporte de pasajeros con hasta ocho asientos, sin incluir el del conductor, e incluye tanto a los automóviles como a los SUV. La categoría N1, en tanto, corresponde a vehículos destinados al transporte de carga con un peso bruto máximo de hasta 3,5 toneladas, típicamente identificados como utilitarios.

El propósito del etiquetado es suministrar valores de referencia para cada vehículo en términos de rendimiento, ya sea en kilómetros por litro (km/L) o kilómetros por kilovatio-hora (km/kWh), dependiendo de la tecnología de propulsión del vehículo. Adicionalmente, ofrece información sobre las emisiones

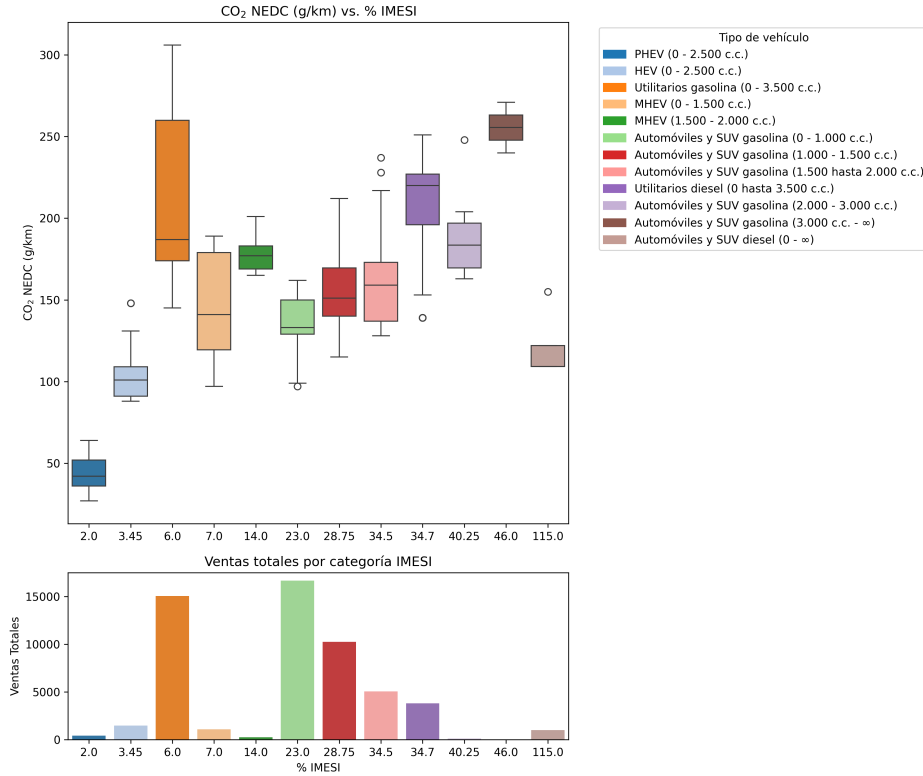
de CO<sub>2</sub><sup>1</sup> en g/km y la norma de emisión de gases contaminantes con la cual el vehículo cumple. En el caso de los vehículos eléctricos puros e híbridos con recarga exterior, se proporciona información adicional sobre la autonomía. Esta información tiene como finalidad ayudar a los consumidores a tomar decisiones de compra más informadas. Asimismo, permite la creación de una base de datos que individualice los vehículos vendidos y los relacione con el consumo de energía vehicular y las emisiones de CO<sub>2</sub>, la cual puede utilizarse para implementar políticas que promuevan la eficiencia energética en el sector del transporte, contribuyendo así a la reducción de emisiones de GEI.

Un aspecto central para la formulación de esta investigación es el desalineamiento existente entre la asignación actual del IMESI, impuesto que grava la venta de vehículos 0 km<sup>1</sup>, y el desempeño ambiental efectivo de los vehículos comercializados en Uruguay. Tal como se ilustra en la Figura 1.3, elaborada en el marco de este trabajo, el esquema vigente presenta una notable superposición de emisiones de CO<sub>2</sub> (representadas en el eje vertical) entre franjas impositivas (representadas en el eje horizontal), lo que genera claras inconsistencias desde el punto de vista ambiental. Por ejemplo, los vehículos híbridos convencionales (HEV), que tributan una tasa reducida del 3,45 %, presentan en algunos casos niveles de emisiones comparables a modelos ubicados en categorías mucho más gravosas, como la de 23 % aplicada a automóviles y SUV con cilindrada menor a 1.000 c.c. Por su parte, los vehículos con hibridación leve (MHEV) muestran superposiciones aún más pronunciadas: los modelos con cilindrada menor a 1.500 c.c. (tasa de 7 %) y entre 1.500 y 2.000 c.c. (tasa de 14 %) registran emisiones específicas similares, o incluso superiores, a las de vehículos que tributan un 23 %. Esta situación evidencia una serie de incongruencias ambientales e impositivas que no solo afectan la equidad del sistema tributario, sino que además distorsionan las señales de precio necesarias para orientar las decisiones de consumo hacia opciones más eficientes y con menores emisiones.

---

<sup>1</sup>Emisiones de tanque a rueda, que son las emisiones directas de un vehículo durante su funcionamiento.

<sup>1</sup>Las tasas actuales de IMESI se encuentran establecidas por el Decreto N° 390/021 y se muestran en el Anexo 1, Tablas 1.1 y 1.2



**Figura 1.3:** Relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> (NEDC) y tasa de IMESI para vehículos comercializados en Uruguay durante 2023. Las ventas totales por categoría de IMESI se presentan en el gráfico inferior. Esta figura es reutilizada en esta sección con fines introductorios y se presenta y analiza en detalle como Figura 4.1 en la Sección 4.1. Aquí se incluye para facilitar la motivación del problema. Fuente: elaboración propia.

Dentro de las posibles medidas a implementar tras la introducción del etiquetado vehicular se encuentra el ajuste de impuestos sobre los vehículos, de manera que la carga impositiva esté directamente vinculada al rendimiento energético o las emisiones asociadas de los mismos. Este tipo de acciones cuenta con una amplia cobertura documental, como se ha destacado en estudios previos [24] [30] [49].

El objetivo de esta investigación es emplear el etiquetado de eficiencia energética vehicular para desarrollar una herramienta analítica que permita simular distintos escenarios de política pública para la descarbonización del transporte. Específicamente, dicha herramienta permitirá evaluar el impacto energético, ambiental y fiscal de diferentes esquemas de ajuste impositivo a través de un IMESI vinculado al desempeño energético y ambiental de cada modelo dentro de las categorías M1 y N1.

Se espera que este estudio contribuya a mejorar la eficiencia energética del parque automotor en Uruguay y sirva como un nuevo instrumento de política energética, permitiendo a las autoridades realizar ajustes más precisos para cumplir con los compromisos del país en materia de cambio climático. Además, esta herramienta facilitará la promoción de vehículos que favorezcan el uso de energía renovable producida localmente en lugar de hidrocarburos importados, lo que resultará en una reducción de las emisiones de GEI en el sector transporte.

### 1.3. Objetivos

Se plantean los siguientes objetivos:

- Elaborar, en base a información proporcionada por el MIEM, una base de datos vehicular, para vehículos categoría M1 y N1 nuevos, actualizada al año 2023, que actúe de base para la herramienta de simulación.
- Desarrollar una herramienta basada en el uso de Python y Excel que permita evaluar el impacto energético, ambiental y fiscal de diferentes esquemas de ajuste impositivo a través de un IMESI vinculado al desempeño energético y ambiental de cada modelo dentro de las categorías M1 y N1. Evaluar ventajas y desventajas de realizar la fijación basada en las emisiones de CO<sub>2</sub> o el rendimiento de combustible.
- Simular distintos esquemas de fijación del IMESI, aplicando diversas elasticidades en la compra de vehículos nuevos, con el objetivo de estimar, tomando los datos del año 2023 como base, la variación en las ventas y su impacto energético, ambiental y fiscal.
- Realizar proyecciones para cada escenario, de forma de estimar en el corto plazo, los efectos sobre la recaudación, el consumo de combustibles, la demanda de electricidad y las emisiones de GEI, así como los cambios asociados en la matriz energética.
- Proponer incentivos complementarios basados en el etiquetado de eficiencia energética vehicular, orientados a promover un parque automotor más eficiente y con menores emisiones

## 1.4. Estructura de la tesis

En esta sección se realiza un breve resumen de las secciones y el contenido de la tesis.

Inicialmente, en el Capítulo 2, titulado Estado del Arte, se realiza un relevamiento de las normas de etiquetado energético vehicular adoptadas en diferentes países, identificando aquellos donde su aplicación es obligatoria y los que utilizan dicho etiquetado para fomentar políticas de promoción de vehículos eficientes. A continuación, se presentan los principales ciclos de prueba utilizados a nivel global para determinar el rendimiento energético y las emisiones de vehículos livianos, mencionando su aplicabilidad, limitaciones y diferencias metodológicas. Luego, se profundiza en la estructura de los esquemas fiscales aplicados a la adquisición y uso vehicular en países de la Unión Europea (UE), con énfasis en los atributos gravados y sus implicancias en términos de incentivos o desincentivos ambientales. Posteriormente, se detallan tipos de incentivos financieros implementados para promover vehículos eficientes. Finalmente, se presentan recomendaciones específicas para Uruguay, basadas en el análisis previo y en línea con los objetivos establecidos en la Segunda CDN.

En el Capítulo 3 desarrolla la metodología empleada para la creación de la base de datos, la herramienta de simulación y las proyecciones. Adicionalmente se detalla como fueron creados los escenarios simulados en el marco de la tesis.

En el Capítulo 4 se realiza la presentación, análisis y discusión de los datos que emergen empleando la metodología desarrollada y explicada en el Capítulo 3.

Finalmente, en el Capítulo 5 se realizan las consideraciones finales y recomendaciones de trabajos a futuro.

## 1.5. Principales resultados obtenidos

A partir del desarrollo y aplicación de la herramienta propuesta en este trabajo, se destacan los siguientes resultados:

- Se demostró que el esquema actual del IMESI basado exclusivamente en la cilindrada no refleja adecuadamente el desempeño ambiental de los vehículos, evidenciando la necesidad de implementar un esquema basado en las emisiones específicas de CO<sub>2</sub>.

- La simulación evidenció que esquemas fiscales más estrictos en términos de emisiones específicas de CO<sub>2</sub> pueden generar reducciones del consumo promedio ponderado por ventas en todas las categorías vehiculares consideradas (Automóviles, SUV y utilitarios).
- Se observó la importancia de realizar una evaluación integral de los resultados simulados. En particular, algunos escenarios mostraron incrementos en las ventas de automóviles que elevaron el consumo de esa categoría respecto al año base; sin embargo, el consumo total agregado del parque vehicular disminuyó, logrando resultados ambientales positivos.
- Las proyecciones realizadas permitieron identificar claramente que la tasa de IMESI aplicada a vehículos eléctricos (BEV) es un factor decisivo en la evolución futura de la recaudación fiscal. Tasas moderadas (5 - 10 %) permiten mantener o aumentar la recaudación respecto al año base incluso en escenarios de alta penetración de vehículos eléctricos.
- Se concluyó que la penetración de vehículos eléctricos es el principal factor determinante para reducir tanto el consumo energético total como las emisiones de CO<sub>2</sub>, aunque la redistribución de ventas en vehículos a combustión e híbridos impulsada por los esquemas fiscales evaluados aporta una reducción adicional.

# Capítulo 2

## Estado del arte

### 2.1. Etiquetado de eficiencia energética vehicular en el mundo

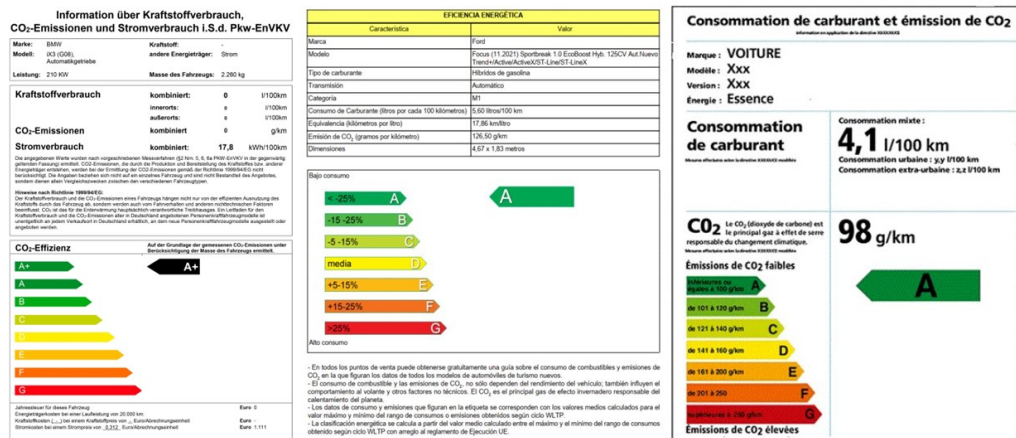
#### 2.1.1. Unión Europea

A nivel de la UE [20], existe el requisito de etiquetar los automóviles nuevos con información sobre su eficiencia en el consumo de combustible y sus emisiones de CO<sub>2</sub>, conforme a lo establecido en la Directiva 1999/94/EC. Esta normativa forma parte de una política orientada a la demanda, cuyo propósito es:

- Facilitar a los consumidores la compra o arrendamiento de vehículos con menor consumo de combustible y, por ende, menores emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Incentivar a los fabricantes a mejorar la eficiencia energética de los vehículos nuevos.

Asimismo, el etiquetado actúa como una medida complementaria para apoyar a los fabricantes en el cumplimiento de los objetivos de emisiones de CO<sub>2</sub> establecidos por el Reglamento (UE) 2019/631.

Como se ilustra en la Figura 2.1, cada Estado miembro presenta ligeras variaciones en el diseño de las etiquetas, aunque todos incluyen datos comunes sobre el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Figura 2.1:** Ejemplos de etiquetas de eficiencia energética vehicular de Alemania, España y Francia (de izquierda a derecha).

En los países indicados en la Figura 2.1, es posible acceder a plataformas en línea para comparar la eficiencia energética de vehículos nuevos: [Alemania](#), [España](#) y [Francia](#). Estas herramientas permiten evaluar distintos modelos en función de su consumo energético y sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 2.1.2. Estados Unidos de América

La Environmental Protection Agency (EPA)<sup>1</sup> es la agencia federal responsable de implementar el etiquetado de eficiencia energética en los Estados Unidos de América (EUA). Este etiquetado, aplicable a vehículos nuevos, incluidos los propulsados por gasolina, híbridos y eléctricos, presenta información como el rendimiento de combustible, los costos estimados de operación y el impacto ambiental, incluyendo las clasificaciones de smog y emisiones de GEI (Figura 2.2). Además, la EPA pone a disposición del público una plataforma en línea que permite comparar la eficiencia energética de distintos modelos de vehículos, así como acceder a herramientas para calcular costos operativos y consumos asociados al uso de vehículos livianos [59].

<sup>1</sup>En español, “Agencia de Protección Ambiental”



**Figura 2.2:** Ejemplos de etiquetas de eficiencia energética vehicular de EUA. Vehículos a gasolina, híbrido con recarga exterior y eléctrico. Fuente: [59]

### 2.1.3. México

Actualmente, México no cuenta con una etiqueta de eficiencia energética adherida directamente a los vehículos. En octubre de 2023, diversas organizaciones de la sociedad civil, como el Observatorio Ciudadano de Calidad del Aire, exigieron a las autoridades competentes la creación de un sistema de etiquetado que informe sobre la eficiencia energética y las emisiones de los vehículos disponibles en el mercado [50].

El acceso a información relacionada con la eficiencia vehicular se brinda a través del portal “Eco-Vehículos”, el cual recopila y publica datos sobre emisiones, rendimiento y gasto anual de combustible de vehículos ligeros nuevos y seminuevos comercializados en el mercado nacional. Su objetivo es fomentar la adquisición de vehículos con tecnologías limpias y bajas en carbono [52]. No obstante, la publicación de información en dicho portal es voluntaria por parte de la industria automotriz [50].

En materia normativa, la regulación vigente sobre emisiones de CO<sub>2</sub> en el parque vehicular se establece en la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013. Esta norma define los parámetros y la metodología para calcular los promedios corporativos ponderados de emisiones de CO<sub>2</sub> por kilómetro, así como

su equivalencia en términos de eficiencia energética, expresada en kilómetros por litro (km/L), para vehículos ligeros nuevos que utilizan gasolina o diésel como combustible [29]. Recientemente, se aprobó una nueva versión de esta normativa: la NOM-163-SEMARNAT-SCFI-2023, la cual entró en vigor el 2 de julio de 2024 [27].

#### 2.1.4. Brasil

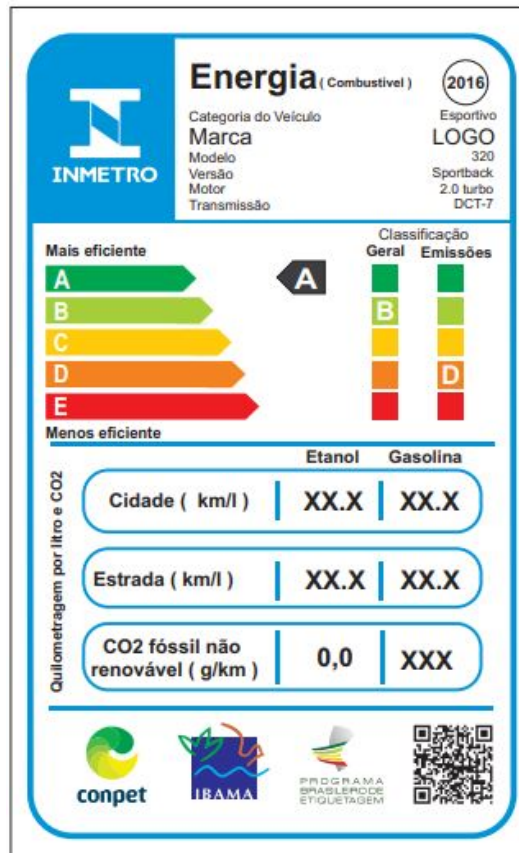
Brasil implementó inicialmente, en 2008, un esquema voluntario de etiquetado vehicular. No obstante, ante su escasa adopción, en 2012 la etiqueta fue incorporada al programa de incentivos fiscales Inovar-Auto, convirtiéndose en un requisito obligatorio para acceder a dichos beneficios fiscales [29].

El Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)<sup>1</sup> mantiene actualizada la base de datos de vehículos livianos incluidos en el Programa Brasileño de Etiquetado, proporcionando información técnica y de eficiencia energética para orientar la toma de decisiones por parte de los consumidores [47].

La etiqueta nacional de conservación de energía (Figura 2.3), fijada en los vehículos, clasifica la eficiencia energética en una escala de A (más eficiente) a E (menos eficiente). Además, proporciona información sobre el consumo de combustible, autonomía de los modelos eléctricos y emisiones de CO<sub>2</sub> para vehículos a combustión e híbridos.

---

<sup>1</sup>En español, “Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología”.



**Figura 2.3:** Ejemplo de etiqueta de eficiencia energética vehicular de Brasil. Fuente: [47]

### 2.1.5. Chile

El sistema de etiquetado de eficiencia energética vehicular en Chile fue introducido en 2012 de manera voluntaria y pasó a ser obligatorio en febrero de 2013 [29].

El Ministerio de Energía de Chile ofrece una plataforma en línea que permite buscar y comparar vehículos, abarcando todas las tecnologías de propulsión actualmente disponibles en el mercado [37].

Adicionalmente, Chile ha establecido un estándar de eficiencia energética para vehículos livianos, que fija metas progresivas de rendimiento promedio del parque vehicular a ser alcanzadas de forma escalonada hasta el año 2030 y en adelante.

Los responsables de cumplir con estas metas serán los importadores o representantes de cada marca, evaluándose su desempeño en función del promedio de eficiencia energética de todos los vehículos para los cuales hayan emitido

un Certificado de Homologación Individual [38].

## 2.1.6. Argentina

En Argentina, el sistema de etiquetado de eficiencia energética vehicular se encuentra actualmente vigente. En 2022, se implementó la transición desde un esquema meramente informativo hacia un etiquetado comparativo para vehículos livianos (Figura 2.4) [33]. De acuerdo con la Resolución 383/2021 los importadores y fabricantes de vehículos automotores deberán exhibir en sus salones y puntos de venta todos los modelos de vehículos en comercialización con una etiqueta comparativa [4].

Cabe señalar que, hasta la fecha, los datos de eficiencia energética publicados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible no incluyen a los vehículos eléctricos [34].



**Figura 2.4:** Etiqueta comparativa de eficiencia energética vehicular en Argentina. Fuente: [33]

## 2.2. Ciclos de prueba para determinación de rendimiento y emisiones

En esta sección se presenta una descripción de los distintos ciclos de prueba utilizados para determinar el rendimiento energético y las emisiones asociadas en vehículos livianos, así como los principales países que los han adoptado.

### 2.2.1. WLTP

El Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC)<sup>1</sup> es un ciclo de prueba realizado en dinamómetro de chasis, diseñado para evaluar el desempeño energético y las emisiones de vehículos livianos en el marco de la certificación de emisiones y la aprobación de tipo en la UE. Este ciclo fue desarrollado por el Grupo de Trabajo sobre Contaminación y Energía de la Comisión Económica De las Naciones Unidas Para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas.

El WLTC forma parte integral del procedimiento más amplio conocido como Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP)<sup>2</sup>, que fue adoptado como el Reglamento Técnico Mundial N.º 15 (GTR 15) de la CEPE. Si bien los términos WLTP y WLTC se utilizan a veces de forma intercambiable, es importante señalar que el WLTP abarca un conjunto más amplio de procedimientos, más allá del ciclo de conducción WLTC, necesarios para la homologación de un vehículo [58].

El WLTP establece no solo los parámetros del ciclo de conducción, sino también los procedimientos relativos a la preparación del vehículo, las condiciones de prueba, los requisitos del equipamiento de medición y la metodología de cálculo de los resultados [58].

Este procedimiento reemplazó al anterior ciclo europeo New European Driving Cycle (NEDC)<sup>3</sup> en los procesos de aprobación de tipo para vehículos livianos. La transición entre ambos se llevó a cabo entre setiembre de 2017 y setiembre de 2019 [19].

---

<sup>1</sup>En español, “Ciclo de pruebas armonizado a nivel mundial para vehículos ligeros”

<sup>2</sup>En español, “Procedimiento de ensayo de vehículos ligeros armonizado a nivel mundial”

<sup>3</sup>En español, “Nuevo ciclo de conducción europeo”

### 2.2.2. NEDC

El ciclo de prueba ECE+EUDC fue utilizado para las pruebas de homologación de tipo UE, con el fin de determinar las emisiones y el consumo de combustible de vehículos ligeros, hasta la adopción del procedimiento WLTP [12].

Uruguay, bajo la norma técnica 1130:2020 del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT) [43], ha elegido utilizar el ciclo NEDC para la evaluación de emisiones y consumo de combustible de vehículos ligeros debido a su amplia adopción y aceptación internacional. Una de las principales razones para esta elección fue la búsqueda de coherencia regional, ya que tanto Argentina como Chile comenzaron adoptando el ciclo NEDC. Asimismo, se realizó un análisis de participación de marcas, el cual reveló que la mayoría de los vehículos importados provienen de países con capacidad técnica para aplicar este protocolo. Este enfoque facilitó la armonización regulatoria y el comercio intrarregional de vehículos.

Cabe destacar que la versión previa de esta norma, la UNIT 1130:2013, contemplaba la posibilidad de convertir resultados entre distintos ciclos de ensayo. Sin embargo, esta opción fue eliminada en la versión 2020, con el objetivo de asegurar una mayor consistencia en los datos reportados y evitar incertidumbres asociadas a factores de corrección poco representativos. Se discute la conversión entre resultados con mayor detalle en la sección 2.2.6.

No obstante, el NEDC ha sido ampliamente cuestionado por su escasa representatividad de las condiciones reales de conducción, lo que genera discrepancias significativas entre los resultados de laboratorio y el desempeño real en ruta [56].

Si bien Uruguay aún no ha adoptado el procedimiento WLTP ni ha definido una fecha para su implementación, se reconoce la necesidad de avanzar hacia este nuevo estándar para mejorar la precisión en las mediciones de emisiones y eficiencia energética. Chile, por su parte, ha anunciado la adopción del WLTP a partir del 1 de octubre del año 2025 [3]. Esta adopción permitirá reflejar mejor las condiciones de conducción reales y alinear las normativas con los estándares internacionales más recientes.

### 2.2.3. Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> entre el WLTP y NEDC

Una de las principales diferencias entre el WLTP y NEDC radica en la estructura de los datos resultantes. En el caso de los vehículos a gasolina o gasoil, no se emplean los términos tradicionales de “urbano”, “extraurbano” y “combinado” utilizados en el NEDC para describir las fases de conducción. En su lugar, el procedimiento WLTP categoriza las condiciones en cuatro fases: “Bajo”, “Medio”, “Alto”, “Extra alto”, además de un valor “Combinado” [60].

Vehicle High (VH): Corresponde a condiciones de conducción más exigentes, caracterizadas por altas velocidades, mayor aceleración y cargas del motor. Esto resulta en mayores emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible.

Vehicle Low (VL): Representa condiciones de conducción más suaves, con velocidades reducidas, menor aceleración y cargas más bajas del motor, resultando en menores emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible.

De acuerdo con el estudio realizado por el Joint Research Center (JRC)<sup>1</sup> [10], de la Comisión Europea (CE), la relación entre las emisiones declaradas bajo WLTP y NEDC presenta las siguientes características:

- La relación media WLTP/NEDC es mayor en vehículos a gasoil que en aquellos a gasolina.
- Para vehículos a gasoil, la relación media fue 1.26 (M1) y 1.28 (N1) para la condición VH, y 1.18 (M1) y 1.22 (N1) para la condición VL.
- En vehículos a gasolina, la relación media fue 1.16 (M1) y 1.19 (N1) para VH, y 1.13 (M1) y 1.14 (N1) para VL.
- En el 70 % (VH) y 73 % (VL) de las familias de vehículos analizadas, los valores declarados bajo el WLTP fueron aproximadamente un 5 % superiores a los valores efectivamente medidos.

### 2.2.4. FTP-75

El ciclo FTP-75 (Federal Test Procedure) es empleado en los EUA para la certificación de emisiones y la evaluación del rendimiento en consumo de combustible de vehículos livianos [13]. Además, este protocolo ha sido adoptado, con algunas modificaciones, por países como Corea del Sur y Brasil [36].

---

<sup>1</sup>En español, “Centro Conjunto de Investigación”

### 2.2.5. JC08

En Japón, el ciclo de pruebas JC08 fue el estándar principal para la medición de emisiones y consumo de combustible en vehículos livianos, siendo de aplicación específica para el mercado japonés desde su implementación completa en 2011 [26]. No obstante, en el año 2018 se introdujeron nuevos estándares de emisiones para vehículos livianos basados en el WLTP, en línea con los marcos normativos internacionales más recientes [51].

### 2.2.6. Conversión de resultados entre ciclos de prueba

A continuación, se presentan consideraciones generales sobre la conversión de resultados entre distintos ciclos de prueba, basadas en el informe de consultoría elaborado por el The International Council on Clean Transportation (ICCT)<sup>1</sup> para el caso de Nueva Zelanda [62].

- Diseño y características del vehículo: incluso dentro de un mismo modelo, los vehículos pueden presentar diferencias en diseño, como aerodinámica, resistencia a la rodadura o masa, que inciden directamente en su consumo energético y en las emisiones durante los ciclos de prueba. El ciclo de conducción por sí solo no permite determinar con precisión los requerimientos energéticos, incluso en un vehículo hipotéticamente eficiente al 100 % en la conversión de energía. Esta variabilidad dificulta el desarrollo de factores de conversión universalmente aplicables.
- Relaciones generales: los factores de conversión se desarrollan en función de las relaciones promedio observadas en una variedad de vehículos y ciclos de prueba. Si bien estos factores pueden proporcionar una estimación general, su aplicación a casos particulares, especialmente a vehículos cuyas características se apartan del promedio, puede resultar inexacta.

Con base en esta evidencia, la decisión de Uruguay ya mencionada en la sección 2.2.2, de adoptar un único ciclo de prueba bajo la norma técnica UNIT 1130:2020 [43] y no permitir conversiones entre protocolos se considera una medida apropiada para asegurar una mejor aproximación en la evaluación del consumo energético y de las emisiones vehiculares. Esta estrategia contribuye a generar datos más consistentes, facilitando el diseño y la implementación de políticas públicas y regulaciones ambientales eficaces.

---

<sup>1</sup>En español, “Consejo Internacional de Transporte Limpio”

## 2.3. Esquemas fiscales aplicados a la adquisición y uso vehicular

A nivel general, se destaca que la vinculación del etiquetado de eficiencia energética con instrumentos fiscales potencia significativamente su capacidad de mitigación de GEI. La articulación de estas políticas facilita una transformación en la composición del parque vehicular, orientando el mercado hacia modelos con menor consumo de combustible y menores emisiones de GEI [29].

El análisis comparativo realizado por Transport and Environment [57] para 31 países de la UE pone de manifiesto que las diferencias entre países no solo residen en la tasa del impuesto, sino también en su base imponible. En total, se identifican hasta 14 atributos diferentes utilizados en los esquemas fiscales analizados, con el precio del vehículo y las emisiones de CO<sub>2</sub> como los más comunes en los impuestos a la adquisición, la propiedad o el uso del vehículo. La diversidad se extiende también al tratamiento de vehículos empresariales, donde la deducción del IVA y la amortización acelerada suelen depender del precio y, en algunos casos, de las emisiones del vehículo.

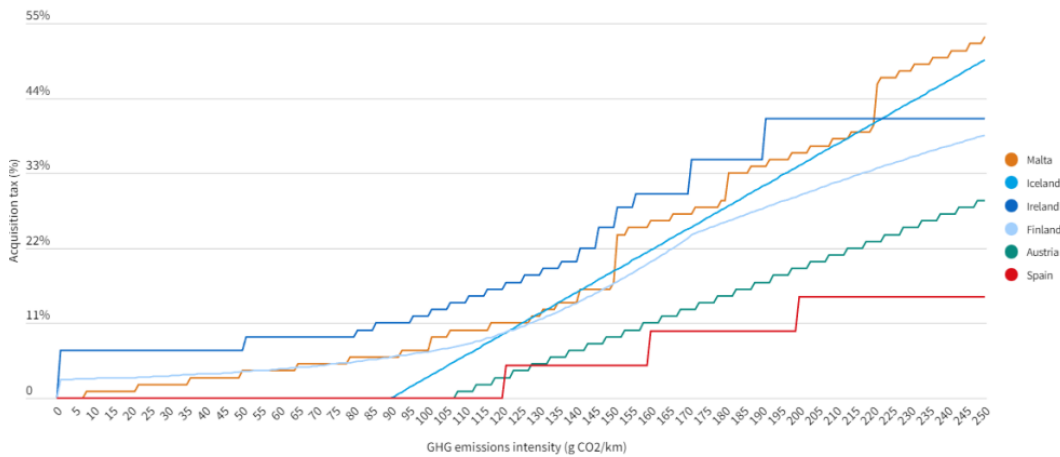
Si bien existen coincidencias entre países respecto a los atributos gravados, realizar comparaciones directas entre los distintos esquemas fiscales resulta complejo. Aun cuando varios países aplican un impuesto de adquisición basado en un mismo atributo, como las emisiones de CO<sub>2</sub>, este puede diferir en su estructura. Algunos países calculan un monto fijo según la intensidad de emisiones, mientras que otros aplican un porcentaje sobre el valor del vehículo, también basado en la intensidad de emisiones, de modo que los vehículos más costosos enfrentan una mayor carga impositiva. Uruguay actualmente aplica esta segunda opción pero basado en la cilindrada del vehículo.

Aun cuando se aísla un único atributo común como el CO<sub>2</sub>, las estructuras impositivas presentan una amplia variabilidad entre países, en aspectos como:

- Punto de partida: umbral a partir del cual comienza a aplicarse el impuesto.
- Pendiente: severidad del tributo ante aumentos marginales del atributo gravado.
- Número de escalones: cantidad y amplitud de las franjas del impuesto.
- Forma del perfil: progresividad o regresividad del esquema.

La Figura 2.5 presenta un análisis comparativo del impuesto de adquisición

en diferentes países europeos, expresado como porcentaje del valor del vehículo según su nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>. El gráfico aplica a vehículos nuevos e incluye únicamente los tributos aplicables al momento de la compra, excluyendo impuestos de uso o propiedad. Se observa que la mayoría de los países eximen total o parcialmente a los modelos con bajas o nulas emisiones (como híbridos o eléctricos), mientras que los vehículos más contaminantes enfrentan cargas progresivamente mayores. Este tipo de estructura busca incentivar la adquisición de vehículos más eficientes desde el punto de vista ambiental.



**Figura 2.5:** Carga fiscal por concepto de impuesto de adquisición en función de las emisiones de CO<sub>2</sub>, expresada como porcentaje del valor del vehículo. Aplica a vehículos nuevos y considera exclusivamente tributos al momento de la compra. Fuente: [57].

Los resultados del estudio [57] muestran que, incluso en países con impuestos diferenciados por emisiones, el diferencial efectivo entre vehículos contaminantes y de cero emisiones puede ser limitado. Esto se observa, por ejemplo, cuando los tramos impositivos comienzan a aplicarse a partir de niveles de emisiones elevados o cuando las tasas son demasiado bajas, reduciendo así su capacidad para inducir cambios de comportamiento en los consumidores.

En términos de carga fiscal acumulada a lo largo del ciclo de vida de un vehículo privado, los impuestos al uso, en particular los impuestos específicos a los combustibles, representan el componente más significativo en la mayoría de los países. No obstante, de acuerdo con [57], se coincide en que los impuestos aplicados en el momento de la compra del vehículo tienen un mayor impacto en las decisiones de adquisición. Esto se explica por fenómenos como la miopía del consumidor (tendencia a priorizar costos inmediatos sobre futu-

ros) y la incertidumbre sobre cambios impositivos posteriores. Sin embargo, los impuestos a la propiedad pueden cumplir un rol relevante desde el punto de vista recaudatorio y pueden alinearse con los impuestos de adquisición [57].

Finalmente, los impuestos al uso, como los impuestos a los combustibles, son considerados los más eficaces para reflejar las externalidades asociadas al transporte, ya que se relacionan directamente con el uso efectivo del vehículo y la generación de emisiones. Su impacto inmediato en los costos operativos tienden a favorecer flotas más eficientes. No obstante, su aplicación se enfrenta a importantes restricciones políticas, y en muchos países europeos su valor ha disminuido en términos reales durante la última década [57].

## 2.4. Incentivos financieros para vehículos eficientes

Los incentivos financieros son herramientas fundamentales para acelerar la adopción de vehículos de bajas emisiones y mejorar la eficiencia energética del parque automotor. Estos pueden variar significativamente en función de los objetivos políticos, la estructura del mercado y las características demográficas de cada país. A continuación, se detallan distintos enfoques internacionales descritos en el análisis reciente titulado “Adapting zero-emission vehicle incentives for a mainstream market”, publicado en abril de 2024 por la International Zero-Emission Vehicle Alliance (IZEVA) y el ICCT [55], indicando, en caso de existir, su aplicación actual en Uruguay.

- **Bonificaciones de compra anticipada y reembolsos en efectivo:** estos incentivos disminuyen el costo inicial del vehículo mediante deducciones en el precio de venta o reembolsos posteriores, facilitando así la adquisición por parte de los consumidores. En Uruguay se encuentra en operación el programa “Subite”, impulsado por la Dirección Nacional de Energía (DNE) del MIEM. El programa tiene el objetivo de facilitar la adquisición de vehículos eléctricos a través de programas que brindan apoyo y beneficios, entre otros, el reintegro de un porcentaje del valor de compra del vehículo [46].
- **Créditos fiscales sobre la renta:** consisten en deducciones en los impuestos anuales correspondientes al año fiscal de la compra del vehículo,

o incluso en años posteriores. Su efectividad depende de que el comprador tenga una responsabilidad tributaria suficiente para aprovechar plenamente el beneficio fiscal, lo que puede ocasionar cierta demora en la recepción efectiva del incentivo. En Uruguay, existe un beneficio fiscal específico para empresas que permite computar la adquisición de vehículos como parte de un proyecto de inversión promovido, accediendo así a un crédito sobre el Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas (IRAE), conforme a la Ley de Promoción de Inversiones N° 16.906 y el Decreto 268/020 [35]. Dentro de este esquema, se incluyen tanto vehículos utilitarios eléctricos como a combustión, siempre que estén destinados exclusivamente a la actividad de la empresa. En cambio, los vehículos de pasajeros a combustión no son elegibles para este beneficio. Una ventaja adicional se presenta en el caso de los vehículos utilitarios y de pasajeros con motorización exclusivamente eléctrica (beneficio vigente hasta el 31 de agosto de 2025). Estos pueden computarse como inversiones en tecnologías limpias, de acuerdo con el Anexo I de la normativa [35], lo que incrementa el puntaje del proyecto y permite acceder a un mayor porcentaje de exoneración del IRAE. Este reconocimiento se basa en que estos vehículos contribuyen a una reducción de emisiones y sustituyen el uso de combustibles fósiles, cumpliendo con los criterios establecidos para dicho indicador. Actualmente solo los utilitarios eléctricos continúan siendo elegibles como bienes muebles, con tope de valor CIF USD 60.000.

- **Descuentos impositivos y esquemas basados en el principio de “quien contamina paga”:** estos incentivos combinan la reducción o exoneración de impuestos (tales como impuestos vehiculares, impuestos sobre ventas o el Impuesto al Valor Agregado (IVA)) con esquemas fiscales fundamentados en las emisiones generadas por los vehículos, aplicando el principio de “quien contamina paga”. Típicamente, se establece una reducción impositiva para vehículos con bajas emisiones, mientras que aquellos con mayores emisiones enfrentan tasas más elevadas, generando recursos que financian los incentivos positivos. En Uruguay, este enfoque se manifiesta a través del Decreto 390/021, que establece tasas diferenciales del IMESI para vehículos híbridos según la tecnología empleada y una tasa cero para los eléctricos, mientras que para los vehículos de gasolina el impuesto varía en función de la cilindrada del motor [6, 8].
- **Programas de desguace o chatarrización:** estos programas brindan

incentivos específicos para que propietarios retiren vehículos antiguos altamente contaminantes al momento de adquirir vehículos nuevos con emisiones cero o bajas. Este enfoque no solo promueve la adopción de vehículos eléctricos, sino que también ayuda a retirar los vehículos más contaminantes de la circulación, reduciendo las emisiones y mejorando la calidad del aire. En Uruguay, según una nota publicada por el diario El País en julio de 2024, actualmente circulan aproximadamente 120.000 vehículos con más de 30 años de antigüedad por las calles de Montevideo. Este dato ha motivado al Congreso de Intendentes a considerar la implementación de un programa de chatarrización [17].

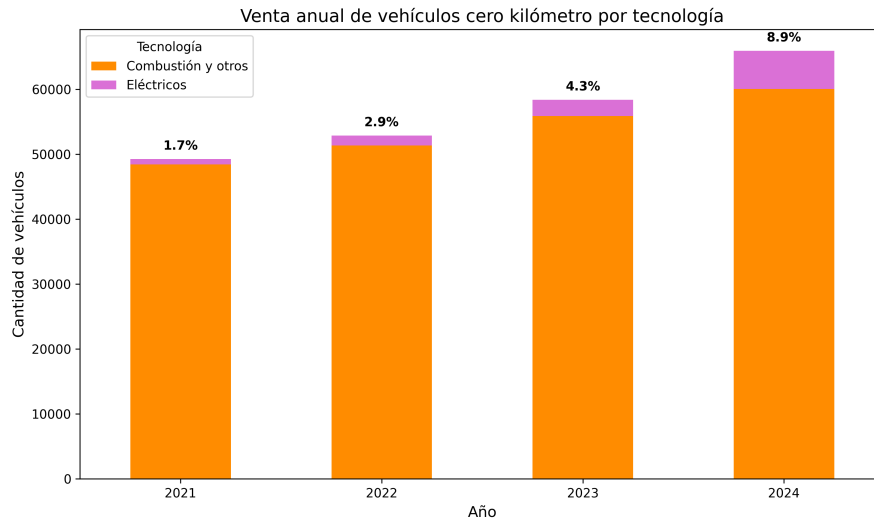
## 2.5. Recomendaciones de implementación para Uruguay

Esta sección analiza los incentivos financieros discutidos previamente y presenta recomendaciones específicas para alcanzar las metas nacionales establecidas en la Segunda CDN para el sector transporte en Uruguay [32]. Asimismo, se enfatiza la relevancia estratégica del etiquetado de eficiencia energética vehicular como herramienta clave para la implementación efectiva de estos incentivos.

En muchos mercados, aunque no de manera uniforme, se observa una tendencia a reducir los incentivos para vehículos de pasajeros mientras se expanden los incentivos para vehículos pesados. Los programas para vehículos de pasajeros tienden a disminuir gradualmente el valor de los incentivos, restringir la elegibilidad y centrarse en segmentos más desafiantes, según el grado de penetración de vehículos eléctricos en cada país [55].

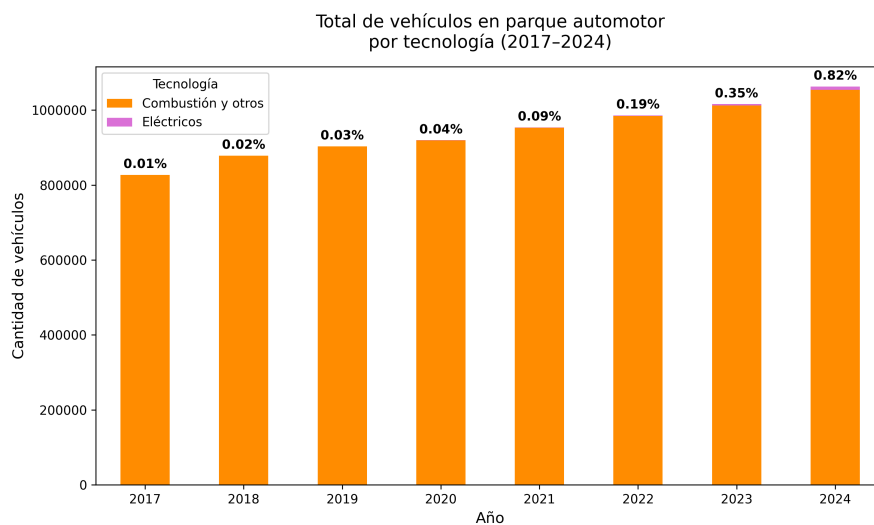
En el caso de Uruguay, las medidas condicionales de la Segunda CDN establecen un objetivo claro: para 2030, el 30 % de las ventas de vehículos livianos de pasajeros nuevos deberá corresponder a vehículos eléctricos. A finales de 2023, según datos del MIEM recopilados para este trabajo, se vendieron un total de 58.367 vehículos, incluyendo automóviles de pasajeros (M1) y vehículos comerciales livianos (N1), siendo eléctricos el 4,3 %. Para 2024, esta participación aumentó hasta un 8,9 % del mercado [16], como se ilustra en la Figura 2.6. Este incremento sostenido se visualiza claramente en la evolución de la participación anual de vehículos eléctricos sobre el total de ventas entre 2021 y

2024.



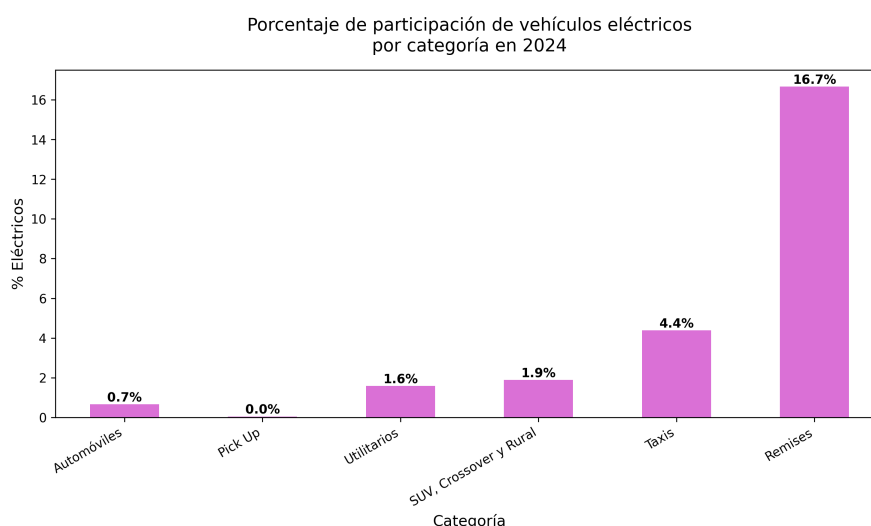
**Figura 2.6:** Venta anual de vehículos cero kilómetro diferenciado por tecnología (2021-2024). Fuente: elaboración propia con datos de [44] y [40].

No obstante, si se considera la totalidad del parque automotor, la participación de vehículos eléctricos sigue siendo marginal, representando menos del 1 % en 2024. La Figura 2.7 muestra la evolución del parque vehicular nacional entre 2017 y 2024, evidenciando que, a pesar del crecimiento reciente en ventas, los vehículos eléctricos todavía ocupan una proporción muy reducida del total acumulado.



**Figura 2.7:** Total de vehículos en parque automotor diferenciados por tecnología (2017-2024). Fuente: elaboración propia con datos de [44]

Finalmente, al analizar la participación de vehículos eléctricos según categoría para el año 2024, se observan diferencias significativas. Las categorías vinculadas a servicios intensivos en kilometraje, como taxis y remises, muestran una penetración considerablemente más elevada (superior al 4 % y 16 %, respectivamente). Esto sugiere que, bajo los incentivos actuales, el recambio a vehículos eléctricos resulta particularmente atractivo en estos segmentos, dado que el ahorro operativo compensa más rápidamente el costo inicial. En contraste, categorías como automóviles de uso particular o vehículos utilitarios presentan niveles mucho más bajos de electrificación. Esta heterogeneidad, ilustrada en la Figura 2.8, refuerza la necesidad de diseñar esquemas de incentivos diferenciados por tipo de uso, priorizando aquellas aplicaciones donde la transición tecnológica resulta más eficiente desde el punto de vista económico y ambiental.



**Figura 2.8:** Porcentaje de participación en el parque automotor de vehículos eléctricos, diferenciado por categoría, en el año 2024. Fuente: elaboración propia con datos de [44]

Si bien el incremento anual de ventas es significativo, resulta fundamental mantener una evaluación continua de los programas de incentivos. Esto no solo permitirá acercarse al cumplimiento de los compromisos de la CDN, sino que también brindará a los responsables de la formulación de políticas públicas herramientas analíticas para estimar impactos fiscales, energéticos y ambientales derivados de dichos programas.

#### **Estrategias recomendadas:**

- **Estrategia progresiva de incentivos basada en el etiquetado de eficiencia energética vehicular:** según el análisis realizado por el ICCT [55], algunos segmentos de automóviles y camionetas eléctricas ya han alcanzado la paridad en el Costo Total de Propiedad (CTP) respecto a sus equivalentes a combustión, considerando un período de seis años. El CTP proporciona una forma de calcular y comparar los costos de adquisición y operación de un vehículo a lo largo del tiempo. Este enfoque integra el precio de compra, los costos de operación (como combustible/carga y mantenimiento), así como los costos de financiamiento. Dado que estos elementos varían según la tecnología utilizada, el análisis del CTP permite a los gobiernos tomar decisiones sobre los programas de incentivos [25]. El momento exacto de la paridad del CTP varía según la geografía, el segmento y el rango. En este marco, el estudio proyecta que los vehículos eléctricos livianos con 480 kilómetros de autonomía (como autos, SUV y pickups) tendrán un CTP inferior al de sus contrapartes a combustión en el año 2025. No obstante, la paridad en el precio de compra inicial se alcanzaría recién en el período 2028–2029. Esta diferencia temporal es relevante, ya que los consumidores suelen priorizar el precio de adquisición por encima de los costos operativos, por lo cual el estudio recomienda mantener incentivos al menos hasta que se alcance la paridad en el CTP para el primer propietario, y, en lo posible, hasta que se logre también la paridad en el precio inicial. A medida que los costos continúen descendiendo, los incentivos podrían ir reduciéndose progresivamente y focalizarse en segmentos o grupos de consumidores específicos.

En 2021, el Proyecto MOVÉS publicó el informe Estudio de esquemas fiscales e incentivos en la movilidad y el transporte [28], en el que se realizaron simulaciones bajo distintos escenarios para comparar los CTP de vehículos eléctricos con sus equivalentes de combustión interna, considerando los patrones de uso relevantes para cada caso. Una de las principales conclusiones del estudio fue que la baja penetración de automóviles totalmente eléctricos se explica, en gran medida, por su elevado CTP, determinado principalmente por el alto precio de compra, independientemente del tamaño del vehículo (pequeño, mediano o grande). En el segmento de SUV y crossover, también inciden otros factores que afectan su aceptación en el mercado. En contraste, los vehículos híbridos presentan una mejor competitividad en los segmentos de automóviles

grandes, SUV y crossover. Sin embargo, la limitada disponibilidad de modelos continúa siendo una barrera para una mayor adopción.

Desde la publicación de ese estudio hasta la redacción de esta tesis, se ha registrado un incremento significativo en la variedad de modelos eléctricos disponibles, acompañado de una reducción en los precios de compra, lo que ha mejorado sustancialmente el acceso para los consumidores. No obstante, como se señaló previamente, las ventas de vehículos de combustión interna continúan superando ampliamente a las de vehículos eléctricos.

Tal como se mencionó en la introducción, el parque de vehículos livianos (autos, SUV, pick-ups y utilitarios) creció un 27,5 % entre 2017 y 2024, destacándose las SUV y las pick-ups como las categorías con mayor crecimiento acumulado [44].

En este contexto, se propone sustituir el actual esquema de fijación del IMESI por un sistema fundamentado en el etiquetado de eficiencia energética. Este nuevo enfoque permitirá reflejar con mayor precisión el consumo y las emisiones de los vehículos, facilitando la implementación de una estrategia de incentivos progresiva y coherente con los objetivos establecidos en la Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (CDN).

Además, se recomienda complementar esta estrategia progresiva con una segmentación específica de incentivos dirigida a segmentos más desafiantes y grupos prioritarios, como conductores de bajos ingresos y pequeñas flotas comerciales, hasta que se logre la paridad en el precio inicial. Esta segmentación mejorará la precisión y efectividad del nuevo esquema basado en el etiquetado energético.

- **Mecanismos de financiación basados en bonificación-penalización (bonus-malus):** estos mecanismos funcionan mediante la aplicación de tasas específicas a la compra de vehículos con mayores emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizando los ingresos obtenidos para financiar incentivos hacia vehículos con emisiones reducidas o nulas. Según [61], un diseño progresivo, en lugar de escalonado, permite mantener mejor la neutralidad presupuestaria, evitando que los fabricantes diseñen o importen vehículos que registren emisiones de CO<sub>2</sub> de homologación justo por debajo de los puntos de corte de la función escalonada para calificar a mayores descuentos.

Aunque Uruguay ya aplica un sistema escalonado basado en cilindrada, se recomienda evolucionar hacia un esquema de bonificación-penalización más preciso, alineado con las emisiones de CO<sub>2</sub> y la eficiencia energética vehicular. La adopción del etiquetado energético es crucial para implementar un sistema progresivo basado en emisiones. Este mecanismo proporciona una herramienta robusta que fomenta el desarrollo tecnológico vehicular y mejora la previsibilidad para todos los actores.

Este esquema puede complementarse efectivamente con políticas específicas para renovación vehicular, fortaleciendo su impacto en términos ambientales y sociales.

- **Chatarrización de vehículos viejos:** Aproximadamente el 50 % del parque vehicular liviano en Uruguay tiene más de 10 años de antigüedad [44]. En este contexto, se considera pertinente incorporar un mecanismo de chatarrización articulado con el esquema de bonificación-penalización, de modo de incentivar de forma simultánea la renovación del parque vehicular.

Esta medida de política pública puede justificarse por diversos factores:

1. Uruguay tiene la obligación de establecer una reglamentación para vehículos fuera de uso como residuos especiales, debido a que son catalogados como residuos especiales por la Ley N° 19.829 de 18/09/2019 [9]. Esta regulación podría complementarse con un esquema de recambio dirigido a los sectores que el gobierno determine como prioritarios.
2. Ya existe interés político en desarrollar un esquema de chatarrización [17].
3. Según datos de la EPA, en 2023 se mantuvo la tendencia a la baja en la tasa promedio de emisiones reales de CO<sub>2</sub> en vehículos nuevos. Esta mejora se atribuye en gran medida al incremento en la producción de vehículos eléctricos a batería e híbridos enchufables. Sin estas tecnologías, las emisiones promedio de los vehículos nuevos hubieran sido más altas [18].

- **Incentivos dirigidos para vehículos de mediano y gran peso:** los costos para los vehículos de bajas emisiones en las categorías de mediano y gran peso son generalmente más elevados y variados. Se anticipa que la paridad en el precio de compra no se logrará hasta después de 2030,

por lo que los incentivos para estos vehículos deben ser más específicos y prolongarse hasta que se alcance la paridad para el primer propietario [55]. Se destaca adicionalmente que para este sector se deberán tener en cuenta los costos adicionales de infraestructura, mantenimiento de la red eléctrica y capacitación del personal.

Según datos del parque automotor de 2023 publicados por el MIEM [44], de un total de 57.942 camiones, solo 144 tienen motorización eléctrica, representando apenas el 0.2 % del total. En cuanto a la antigüedad de los vehículos pesados (camiones y tractocamiones), la mitad del parque tiene 13 años o menos de servicio, y el 25 % más nuevo tiene 7 años o menos [44].

Existen incentivos asociados a este segmento, como la exoneración de IRAE. Sin embargo, establecer incentivos adecuados para estos vehículos representa un desafío importante que deberá abordarse en los próximos años.

Aunque actualmente el etiquetado de eficiencia vehicular solo abarca vehículos livianos y esto deja al segmento de pesados fuera del alcance de esta tesis, es relevante mencionar que se necesitarán incentivos adicionales para fomentar la adopción de vehículos de bajas emisiones en los segmentos de mediano y gran peso.

## Capítulo 3

# Metodología

El objetivo de este capítulo es presentar la metodología diseñada para esta investigación, detallando los procedimientos empleados para obtener resultados reproducibles. La metodología está estructurada en varias secciones que abordan desde la construcción inicial de una base de datos vehicular hasta la simulación y análisis de escenarios fiscales relacionados con emisiones vehiculares. La investigación combina elementos descriptivos y analíticos, utilizando herramientas de simulación numérica desarrolladas específicamente para este propósito. Los datos utilizados provienen de fuentes oficiales, documentos técnicos y registros públicos.

Es importante señalar que la **simulación de escenarios fiscales y la etapa de proyección constituyen fases metodológicas diferenciadas**. La **herramienta de simulación** permite modelar cómo distintos esquemas impositivos afectan la distribución de ventas por tipo de vehículo, modificando la base de datos vehicular del año base (2023) en función de los cambios inducidos por las variaciones en las tasas del IMESI. Esta herramienta estima los impactos fiscales, energéticos y ambientales **exclusivamente para el año base modificado**, comparándolo con el escenario original del mismo año.

En cambio, la **etapa de proyección** aplica una metodología propia para **extrapolar en el tiempo los resultados del año modificado**, evaluando la evolución de la recaudación fiscal, el consumo energético y las emisiones durante un período de cinco años, bajo distintos supuestos de penetración de vehículos eléctricos puros. La lógica metodológica de cada una de estas fases se presenta en las secciones correspondientes: la Sección [3.2](#) para la herramienta de simulación y la Sección [3.4](#) para la proyección.

Los resultados generados por cada fase también se presentan de manera separada en el Capítulo 4. Por un lado, los impactos fiscales, energéticos y ambientales derivados de la herramienta de simulación se analizan en las Secciones 4.2 y 4.3. Por otro, los resultados obtenidos a partir de la etapa de proyección se desarrollan en la Sección 4.4. Esta separación permite distinguir claramente los efectos inmediatos de los escenarios simulados sobre el año base, de los efectos acumulados proyectados en el mediano plazo.

Las secciones están organizadas de acuerdo con el orden en que se llevaron a cabo las distintas etapas del trabajo:

1. **Base de datos vehicular (3.1)**: primero se detalla la construcción y características de la base de datos empleada, incluyendo la clasificación de vehículos según categorías técnicas y tributarias, así como su desempeño energético. La base de datos es el insumo principal de entrada de la herramienta de simulación.
2. **Herramienta de simulación (3.2)**: describe la herramienta desarrollada para simular distintos escenarios fiscales. Incluye, entre otros aspectos, una explicación sobre la aplicación de la elasticidad-precio de la demanda vehicular en el modelo.
3. **Definición de escenarios de simulación (3.3)**: presenta cómo se estructuraron los distintos escenarios simulados, destacando los datos de referencia utilizados y las variables ajustables en cada escenario.
4. **Proyección (3.4)**: detalla el procedimiento para realizar proyecciones de recaudación fiscal, consumo energético y emisiones bajo los distintos escenarios creados con la herramienta de simulación. Esta etapa extra-pola en el tiempo los resultados de la etapa de simulación, usando una metodología propia e independiente.
5. **Justificación de las decisiones metodológicas adoptadas (3.5)**: discute las decisiones sobre la selección de esquemas fiscales, la métrica utilizada para definir impuestos, la implementación de elasticidades variables y la utilización de valores constantes para proyecciones.
6. **Generación de gráficos para análisis (3.6)**: enumera e indica la sección de los gráficos generados mediante códigos de Python.

### 3.1. Base de datos vehicular

Al momento de la redacción de esta tesis, el [registro nacional](#) de eficiencia energética de vehículos automotores, gestionado por la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA), no se encuentra completo debido a los plazos establecidos para la implementación gradual del etiquetado obligatorio. Ante esta limitación, se procedió a construir una base de datos complementaria, utilizando como insumo principal los datos suministrados por el MIEM, los cuales fueron enriquecidos con información proveniente de registros públicos disponibles en [Chile](#) y [Argentina](#). Estos países aplican el mismo procedimiento de ensayo de emisiones (NEDC) que el adoptado inicialmente en Uruguay, y existe una importante coincidencia entre los modelos comercializados en los tres países.

La base de datos empleada para la simulación se encuentra disponible en el archivo [Base de datos 2023.xlsx](#)<sup>1</sup>, el cual recopila atributos técnicos, comerciales y ambientales de los vehículos nuevos vendidos en Uruguay durante 2023. Cada modelo fue caracterizado principalmente según los siguientes criterios:

- **Categoría de vehículo:** diferenciados en Automóvil, SUV y Utilitario. Esta diferenciación se corresponde con la columna *Tipo 2* de la base de datos.
- **Tipo de combustible utilizado:** N para gasolina y D para diésel.
- **Tipo de motor:** los vehículos se agrupan según su tecnología de tracción, manteniendo una nomenclatura utilizada a lo largo de esta tesis, la cual se corresponde con las definiciones establecidas por el Decreto N° 390/021 [6], que actualmente regula la asignación del IMESI vehicular en Uruguay:
  - N: vehículo con motor a gasolina que, a efectos de su propulsión mecánica, dispone únicamente de motores de combustión interna que utilizan como combustible gasolinas (naftas), mezclas de gases combustibles o alcohol carburante.
  - D: vehículo con motor diésel que, a efectos de su propulsión mecánica, dispone únicamente de motores de combustión interna que utilizan como combustible gasóleos (gas oil, gas oil especial, diésel oil o biodiésel).

---

<sup>1</sup>Para descargar el archivo se debe primero acceder al link y luego presionar *View raw*

- Battery Electric Vehicle (BEV)<sup>2</sup>: vehículo eléctrico que dispone únicamente de uno o varios motores eléctricos como elemento para proporcionar la fuerza motriz.
  - Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)<sup>1</sup>: vehículo eléctrico híbrido con recarga exterior, cuyo dispositivo de almacenamiento de energía o potencia eléctrica puede ser cargado desde una fuente externa.
  - Hybrid Electric Vehicle (HEV)<sup>2</sup>: vehículo eléctrico híbrido sin recarga exterior, cuyo dispositivo de almacenamiento de energía o potencia eléctrica no puede ser cargado desde una fuente externa.
  - Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV)<sup>3</sup>: mild hybrid o híbrido suave. Vehículo eléctrico híbrido que no tiene la posibilidad de impulsarse en modo eléctrico puro o exclusivamente por medio de un motor eléctrico.
- **Datos técnicos de desempeño energético:** cilindrada (cm<sup>3</sup>), potencia (HP), rendimiento energético (km/L o km/kWh) y emisiones específicas CO<sub>2</sub> (g/km).
  - **Datos comerciales:** precio de venta al público y número de unidades vendidas.

De acuerdo con el Decreto N° 390/021 [6] un vehículo eléctrico híbrido es un vehículo que a efectos de su propulsión mecánica se alimenta de la energía de las siguientes dos fuentes de energía o potencia eléctrica acumulada, situadas en el propio vehículo: 1) un carburante fungible, y 2) un dispositivo de almacenamiento de energía o potencia eléctrica (por ejemplo: batería, condensador, volante de inercia/generador, etc.). Los PHEV, HEV y MHEV son subcategorías dentro de los vehículos híbridos.

La sección 1.1.1 del Apéndice 1 describe en detalle la información contenida en cada columna de la base de datos, incluyendo su procedencia, definición y criterios de clasificación. Asimismo, en la sección 1.1.2 del mismo Apéndice se documenta el tratamiento de datos aplicado sobre ciertas variables, incluyendo las fórmulas utilizadas en Microsoft Excel y los códigos de Python desarrollados para automatizar parte del procesamiento.

---

<sup>2</sup>En español, “Vehículo eléctrico a batería”

<sup>1</sup>En español, “Vehículo eléctrico híbrido con recarga exterior”

<sup>2</sup>En español, “Vehículo eléctrico híbrido sin recarga exterior”

<sup>3</sup>En español, “Vehículo eléctrico híbrido suave”

## 3.2. Herramienta de simulación

La evaluación de distintos esquemas de aplicación del IMESI, basada en criterios ambientales y elasticidades de demanda, se lleva a cabo mediante una herramienta desarrollada específicamente para este trabajo. Dicha herramienta permite simular y comparar escenarios de políticas impositivas vehiculares, proyectando sus efectos en términos fiscales, energéticos y ambientales.

Es importante aclarar que el presente análisis se limita exclusivamente al IMESI aplicado sobre la primera venta de vehículos 0 km. La herramienta no considera las recaudaciones derivadas del IMESI sobre la venta de combustibles, como la gasolina.

La metodología general se compone de tres etapas fundamentales:

1. **Preparación de los datos de entrada:** los datos del archivo [Base de datos 2023.xlsx](#) se procesan previamente para incluir información sobre el IMESI vigente y precios sin impuestos para cada modelo.
2. **Simulación de escenarios:** empleando el código [Simulacion de Escenarios.py](#), el usuario puede configurar relaciones impositivas lineales o escalonadas según emisiones de CO<sub>2</sub>, diferenciadas por categoría y motorización vehicular. Asimismo, se aplica la elasticidad-precio de la demanda vehicular para estimar la variación en las ventas producto de los cambios en los precios. Esta se explica en mayor detalle en la sección [3.2.1](#). Para construir cada escenario, la base de datos vehicular ([3.1](#)) es modificada mediante un proceso en dos etapas. En primer lugar, se redefine la tasa de IMESI aplicable a cada modelo vehicular según sus emisiones específicas de CO<sub>2</sub> (g/km), lo que da lugar a un nuevo precio de venta al público. En segundo lugar, se aplica la elasticidad-precio mencionada para ajustar las ventas individuales de cada modelo en función del nuevo precio. Este proceso genera una redistribución del total de ventas del parque 2023, dando lugar a una versión ajustada del año base específica para cada escenario.
3. **Análisis de resultados:** la herramienta genera un archivo Excel de salida, [Salida Escenarios.xlsx](#), que contiene tres componentes principales:
  - Escenarios individuales, mostrando resultados detallados para cada configuración simulada. Cada configuración se corresponde a una hoja del archivo Excel.

- Una hoja *Resumen Escenarios*, que condensa resultados clave, facilitando comparaciones rápidas entre los distintos escenarios.
- Una hoja *Análisis Energético*, que presenta un desglose detallado del consumo energético y las emisiones asociadas para cada escenario. Se calcula la diferencia entre el consumo y las emisiones del parque vehicular ajustado en cada escenario y los valores correspondientes al parque original del año 2023 sin intervención. Para ambos casos, el cálculo se realiza aplicando un recorrido anual promedio por tipo de vehículo, según datos provistos por el MIEM.

Para acceder a la descripción detallada del procedimiento operativo, parámetros configurables, fórmulas utilizadas, e interpretación de los resultados generados por la herramienta se recomienda consultar las secciones de *Pasos previos a la simulación de escenarios* (1.2) y la de *Metodología para la simulación de escenarios* (1.3) del Apéndice 1.

### 3.2.1. Elasticidad-precio de la demanda vehicular

La elasticidad-precio de la demanda es un indicador económico que mide la variación porcentual en la cantidad demandada de un bien ante una variación porcentual en su precio. Se define formalmente como [21]:

$$\varepsilon = \frac{\% \text{ Variación en la cantidad demandada}}{\% \text{ Variación en el precio}}$$

En mercados competitivos como el automotor, el precio constituye una variable determinante en las decisiones de compra [21]. En esta tesis, la elasticidad se utiliza como insumo de la herramienta de simulación para proyectar cómo reaccionarían las ventas de vehículos nuevos ante modificaciones en la estructura del IMESI y, con ello, estimar los impactos fiscales, energéticos y ambientales asociados. Para Uruguay, se adoptó como valor base una elasticidad de -1,87, derivada de una estimación empírica específica para el mercado de vehículos 0 km [2]. Este valor implica que un incremento del 10 % en el precio generaría una caída del 18,7 % en las ventas. A efectos de considerar una sensibilidad, se incluyó un rango ampliado de elasticidad entre -1,37 y -2,37, lo que permite evaluar escenarios más conservadores o agresivos <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>La elasticidad es un parámetro modificable de la herramienta

El uso de la elasticidad conlleva ciertas limitaciones e incertidumbres. En primer lugar, la estimación se basa en promedios históricos y no necesariamente refleja cambios recientes en las preferencias de los consumidores. Este parámetro puede evolucionar con el tiempo a medida que se modifican los hábitos de consumo [22]. Además, la elasticidad-precio se define bajo el supuesto *ceteris paribus*, es decir, que únicamente varía el precio, mientras que el resto de las condiciones permanece constante [22]. En la práctica, factores como el ingreso disponible, las condiciones de acceso al crédito de los consumidores o la percepción de valor pueden cambiar simultáneamente, afectando la validez de la estimación.

Es importante señalar que la utilización del modelo Vector Error Correction Model (VECM)<sup>1</sup> empleado para la determinación de la elasticidad en [2] busca mitigar las limitaciones mencionadas, y aunque el estudio de referencia se centro en los determinantes de la demanda de servicios de transporte público en Montevideo, se considera relevante poder desarrollar un modelo VECM propio para el estudio realizado en esta tesis.

Adicionalmente, en línea con el objetivo de capturar cómo reacciona el mercado ante aumentos generalizados de precios, esta tesis modela un comportamiento de migración hacia opciones más accesibles al interior de cada grupo (*Tipo 2*), sin simular sustitución cruzada entre categorías. Operativamente, se implementa una elasticidad variable por nivel de precio para el segmento de menor precio dentro de cada grupo, de modo de atenuar la caída de ventas de las opciones más accesibles cuando los precios suben de forma generalizada. La evidencia de encuestas de consumidores [11] indica que el precio encabeza la lista de factores que determinan la elección de marca en los mercados desarrollados; se asume que este patrón es aplicable al caso uruguayo. En consecuencia, la herramienta incorpora este esquema de elasticidad variable cuyos detalles se presentan en la Sección 3.5.3.

---

<sup>1</sup>El VECM un modelo econométrico muy usado cuando se cuenta con series de tiempo de variables macro como ventas de vehículos, precios, PIB, ingreso disponible, tasas de interés, etc.; cuando las series son no estacionarias y existe una relación de largo plazo (cointegración) entre ellas.

### 3.3. Definición de escenarios de simulación

Con el objetivo de evaluar distintas configuraciones del IMESI en función de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se definieron doce escenarios de simulación. Estos escenarios permiten analizar el impacto fiscal, ambiental y económico de diferentes esquemas, en función del tipo de función impositiva aplicada (lineal o escalonada), los datos de referencia utilizados para construir dichas funciones, y las elasticidades de respuesta de la demanda vehicular.

Esta sección se organiza en cinco partes. Primero, se presentan los datos de referencia utilizados como insumo para la construcción de las funciones impositivas (3.3.1). Luego, se detallan los parámetros configurables para la definición de los escenarios (3.3.2) y la lógica de construcción de cada uno (3.3.3). Finalmente, se presenta un resumen general con las principales características de cada escenario (3.3.4).

Los datos de referencia, así como el detalle de cada escenario, se encuentran disponibles en el archivo [Creación de escenarios.xlsx](#).

#### 3.3.1. Datos de referencia

Los datos de referencia son esenciales para generar los escenarios analizados en esta tesis. A partir de estos datos se definen las funciones (lineales o escalonadas) que relacionan las emisiones de CO<sub>2</sub> con las tasas del IMESI, estableciendo así la base para simular diferentes esquemas fiscales.

Estos datos se obtienen mediante el código en Python [Extracción datos CO2 vs IMESI y Graficos.py](#), que procesa el archivo [Base de datos 2023 - Prueba output.xlsx](#). El proceso permite agrupar los modelos vehiculares según las tasas efectivas de IMESI, establecidas por el Decreto N.º 390/021 [6], detalladas en las Tablas 1.1 y 1.2 del Anexo 1.

Para cada categoría de IMESI se calculan indicadores estadísticos que describen cómo se distribuyen las emisiones de CO<sub>2</sub>, aportando información clave para el diseño de escenarios. Estos indicadores, que se presentan en la Tabla 2.1 del Anexo 2, incluyen:

- Cuartiles (Q1, mediana (Q2) y Q3): delimitan el rango central de la distribución de emisiones para cada categoría, permitiendo identificar la tendencia central y la dispersión intermedia de los datos. En términos prácticos, el primer cuartil (Q1) representa el valor por debajo del cual

se encuentra el 25 % de los modelos con menores emisiones; la mediana corresponde al valor central de la distribución (50 % por debajo y 50 % por encima); y el tercer cuartil (Q3) señala el valor por debajo del cual se encuentran el 75 % de los modelos. Estas medidas permiten conocer cómo se agrupan los vehículos dentro de cada tramo impositivo en función de sus emisiones. Cabe destacar que ninguno de estos valores está ponderado por ventas, por lo que reflejan únicamente la distribución de modelos disponibles, sin considerar su volumen de comercialización.

- Rango intercuartílico (IQR) y valores límite: el IQR se define como la diferencia entre el tercer y el primer cuartil (Q3–Q1). Los valores límite inferior y superior se calculan como aquellos que se encuentran, como máximo, a 1,5 veces el IQR por debajo de Q1 o por encima de Q3, respectivamente. Estos valores delimitan el rango esperado de variación sin considerar valores atípicos.
- Identificación de valores atípicos (outliers): se detectan los modelos cuyas emisiones se encuentran fuera del rango definido por los valores límite, lo que permite evaluar la presencia de casos inusuales o fuera de tendencia en cada categoría.
- Media ponderada de emisiones: se calcula considerando la participación relativa en las ventas de cada modelo dentro de su categoría, lo que proporciona un indicador representativo del desempeño ambiental promedio ponderado por la incidencia real en el mercado. A diferencia de los valores utilizados para construir el boxplot, esta media ponderada no está representada visualmente en el gráfico, sino que se incorpora como un punto de referencia adicional para el análisis.

Es importante mencionar que la mediana indica el punto medio de la distribución (el 50 % de los modelos tiene emisiones menores y el otro 50 % mayores), sin importar cuántos vehículos se venden de cada modelo. En cambio, la media ponderada tiene en cuenta el volumen de ventas de cada modelo, por lo que refleja el impacto promedio en términos de comercialización real.

Estos indicadores permiten crear gráficos como el boxplot (Figura 4.1), el cual es analizado en detalle en la sección 4.1, que facilita visualizar la distribución y concentración de las emisiones por categoría impositiva.

Finalmente, estos datos de referencia son almacenados en el archivo [Datos CO2 vs IMESI 2023.xlsx](#), y posteriormente utilizados en la hoja *Datos CO2 vs*

IMESI 2023 del archivo [Creación de escenarios.xlsx](#).

### 3.3.2. Parámetros configurables para la simulación

La herramienta permite ajustar múltiples parámetros para definir cada escenario:

- Función aplicada: determina cómo se vincula el CO<sub>2</sub> (g/km) con el porcentaje de IMESI aplicado. Puede ser una función lineal o escalonada.
- Datos de referencia: se generan según lo explicado en la sección [3.3.1](#) y están disponibles en la hoja *Datos CO2 vs IMESI 2023* del archivo [Creación de escenarios.xlsx](#), así como en la Tabla [2.1](#) del Anexo 2.
- Categorías vehiculares sobre las cuales se aplica la función: incluye automóviles, SUV y utilitarios. A su vez, cada categoría se subdivide por tipo de motorización (N, D, MHEV, HEV, PHEV y BEV). La explicación de cada categoría está disponible en la sección [3.1](#).
- Elasticidades: elasticidad-precio de la demanda vehicular, que puede ser fija o variable. Se justifica su aplicación general en la sección [3.2.1](#), y la aplicación variable se detalla en la sección [3.5.3](#).
- Combustibles: aunque la herramienta permite modificar tasas para todos los tipos de motorización, se opta por mantener una tasa fija para vehículos diésel (D), siguiendo decisiones regulatorias previas (ver sección [3.5.1](#)).

### 3.3.3. Lógica y definición de los escenarios

Los escenarios fueron diseñados de manera progresiva para facilitar su comparación e interpretación. Los cálculos y detalles específicos están disponibles individualmente en el archivo [Creación de escenarios.xlsx](#). En esta sección se describe brevemente cada escenario, explicando sus particularidades y decisiones asociadas. Se destacan primero los siguientes comentarios generales:

1. Se profundiza en la explicación de dos escenarios (1 y 8) a los efectos de mejorar la comprensión de la lógica detrás de los mismos
2. Se destaca que para todos los escenarios se opta por mantener la tasa para vehículos diésel (D) fija e igual a 115 % para automóviles y de 34,7 % para utilitarios, manteniendo la decisión regulatoria establecida en el Decreto

N° 390/021 [6] de penalizar este tipo de motorización frente a los motores de gasolina (ver sección 3.5.1). Esta decisión también responde a un criterio metodológico, dado que incorporar variaciones adicionales para los vehículos diésel implicaría introducir una dimensión más en el análisis, dificultando la interpretación comparativa entre escenarios. Por ello, se optó por focalizar los ajustes exclusivamente en vehículos a gasolina, lo que permite evaluar con mayor claridad los efectos del rediseño tributario sobre este segmento mayoritario de las ventas.

3. Algunos escenarios suponen que los cambios en los precios relativos derivados del rediseño del IMESI podrían no generar variaciones proporcionales en el volumen total de ventas. En particular, se asume que parte de la demanda migra hacia opciones más accesibles al interior de cada grupo (*Tipo 2*), sin sustitución cruzada entre categorías. Para reflejar este comportamiento, la herramienta de simulación incorpora un mecanismo de elasticidad variable configurable, detallado en la Sección 3.5.3, que permite ajustar diferencialmente la sensibilidad al precio según el nivel de precio del vehículo. Esta funcionalidad puede contribuir a preservar la estabilidad del total de unidades vendidas en algunos escenarios (véase Figura 4.5). No obstante, no garantiza mantener constante el volumen total del mercado.
4. A fin de evitar que la tasa resultante de la función lineal adopte valores excesivamente negativos, bajos o altos para ciertos niveles de emisiones, la herramienta permite configurar topes mínimo y máximo al valor de IMESI calculado. Estos topes actúan como límites que restringen el rango de aplicación de la función, garantizando mayor coherencia con el marco normativo actual y facilitando el control sobre los efectos fiscales del esquema propuesto. La activación de estos límites es opcional y se define en la etapa de configuración de cada escenario. Por ejemplo, en los Escenarios 8 a 12, que incorporan a los utilitarios gasolina, se aplicó un tope mínimo de 6 % y un tope máximo de 18 % para la tasa resultante de la función lineal.
5. La herramienta de simulación no contempla migraciones entre distintos tipos de motorización. Es decir, si un vehículo híbrido (HEV, MHEV o PHEV) incrementa su precio y cae en ventas, esta reducción no se redistribuye hacia modelos eléctricos (BEV) ni hacia otras tecnologías. Las variaciones de demanda inducidas por cambios de precio se modelan

exclusivamente dentro del mismo tipo de motorización. Esto implica que el efecto de los esquemas fiscales se traduce principalmente en una redistribución de ventas entre modelos más y menos eficientes dentro de una misma tecnología, sin alterar la composición tecnológica del parque vehicular proyectado. Esta característica metodológica debe ser considerada al interpretar fenómenos como la caída en ventas de híbridos, observada en algunos escenarios (ver sección 4.2.1.2).

6. Los únicos escenarios en los que se afecta directamente el precio (y, por tanto, las ventas) de los vehículos BEV son los escenarios 9 y 10. En estos casos, se asigna una tasa fija de IMESI del 5 % y 10 % respectivamente, con el objetivo de explorar esquemas tributarios que incorporen de manera gradual a esta tecnología en la base impositiva. En el resto de los escenarios, los BEV mantienen una tasa de 0 %, por lo que su precio y volumen de venta permanecen constantes respecto al escenario base.

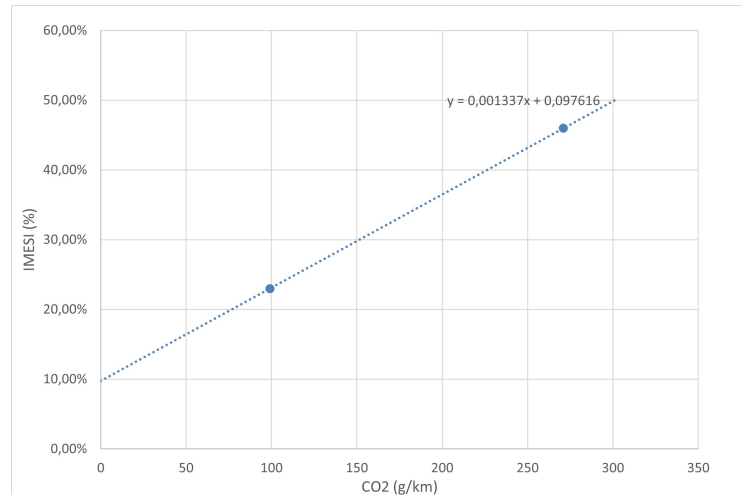
A continuación se realiza la descripción de los escenarios:

- **Escenario 1:** se emplea una relación lineal y escalonada, siendo el único escenario que utiliza la relación escalonada con fines demostrativos. A continuación, se detalla únicamente la construcción de la relación lineal. Esta relación se define a partir de dos puntos de referencia creados a partir de la distribución de emisiones de CO<sub>2</sub> y tasas de IMESI establecido por el Decreto N° 390/021 [6] para automóviles y SUV gasolina. El Punto 1 se encuentra definido por el valor límite inferior de emisiones de CO<sub>2</sub> para modelos con cilindrada entre 0 y 1.000 c.c., al cual se le asigna el porcentaje (23 %) de dicha categoría establecido por el Decreto N° 390/021, mientras que el Punto 2 se define por el valor límite superior de emisiones de CO<sub>2</sub> para modelos con cilindrada mayor a 3.000 c.c. y el porcentaje de IMESI (46 %) de dicha categoría del Decreto N° 390/021. Los valores de CO<sub>2</sub> se encuentran en la Tabla 2.1 del Anexo 2 y se presentan de forma resumida en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1:** Puntos de referencia para la creación de función lineal en el Escenario 1. Fuente: elaboración propia.

|         | CO <sub>2</sub> (g/km) | Fuente del valor de CO <sub>2</sub>                                   | IMESI (%) | Fuente IMESI                               | Categorías afectadas en escenario simulado            |
|---------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Punto 1 | 99                     | Valor límite inferior para automóviles y SUV gasolina (0-1.000 c.c.)  | 23,00     | Automóviles y SUV gasolina (0-1.000 c.c.)  | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV |
| Punto 2 | 271                    | Valor límite superior para automóviles y SUV gasolina (3.000 c.c.- ∞) | 46,00     | Automóviles y SUV gasolina (3.000 c.c.- ∞) | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV |

A partir de estos dos puntos se construye una recta que será utilizada para determinar el nuevo porcentaje de IMESI aplicable a cada modelo en el Escenario 1 en función de sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta recta, representada gráficamente en la Figura 3.1, permite calcular los coeficientes de pendiente ( $\alpha$ ) y punto de corte en el eje y ( $\beta$ ) de la función lineal. Los valores obtenidos para este escenario son:  $\alpha = 0,001337$  y  $\beta = 0,0976$ . Estos coeficientes constituyen la forma operativa de ingresar la relación en el código de simulación desarrollado en Python, razón por la cual se calculan explícitamente. Cabe destacar que esta relación se aplica exclusivamente a las categorías vehiculares detalladas en la última columna de la Tabla 3.1.



**Figura 3.1:** Función lineal de IMESI (%) en función de CO<sub>2</sub> (g/km) utilizada en el Escenario 1. Fuente: elaboración propia.

Para consultar la construcción de la versión escalonada de este escenario se puede acceder a la hoja correspondiente al Escenario 1 en el archivo [Creación de escenarios.xlsx](#).

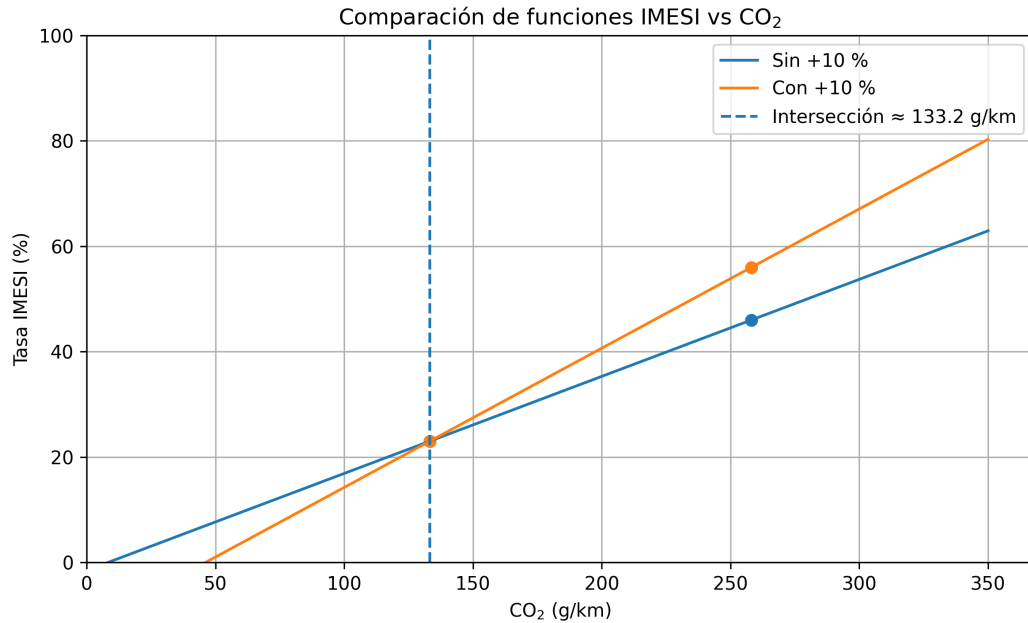
- **Escenario 2:** se diferencia con el escenario 1 en que utiliza una elasticidad diferenciada para el segmento más económico.
- **Escenario 3:** modifica el enfoque de los datos de referencia. En este caso, se traza una línea de tendencia basada en todos los modelos de automóviles y SUV comercializados en el año, sin segmentación por cilindrada.
- **Escenario 4:** cambia nuevamente los datos de referencia, utilizando en esta ocasión el valor de CO<sub>2</sub> correspondiente a la media ponderada por ventas.
- **Escenario 5:** replica la metodología del Escenario 4, pero incorpora una elasticidad diferenciada para el segmento más económico.
- **Escenario 6:** se eleva el valor máximo de IMESI de los datos de referencia en un 10 %. Con esto se busca generar escenarios mas exigentes desde el punto de vista tributarios para los vehículos con mayores emisiones. Para ilustrar cómo el alza del 10 % en el punto máximo de la recta afecta tanto a los vehículos con menos emisiones como a los más contaminantes, se comparan dos funciones lineales:
  - Línea base: conecta (133,2 gCO<sub>2</sub>/km, 23 %) con (258.0 g/km, 46 %).
  - Con +10 %: une (133,2 gCO<sub>2</sub>/km, 23 %) con (258.0 g/km, 56 %).

En la Figura 3.2 se muestran ambas rectas y su punto de intersección (133,2 gCO<sub>2</sub>/km). Para emisiones menores a la intersección, la tasa con +10 % queda por debajo de la línea base, lo que favorece impositivamente a los vehículos más eficientes. Para emisiones mayores a la intersección, la tasa con +10 % queda por encima, penalizando con mayor fuerza a los vehículos más contaminantes. Se destaca que el código no permite que se asuman valores de IMESI negativos. El mínimo valor posible de IMESI se fija de acuerdo con el Decreto N° 390/021 [6] en función de la tecnología de propulsión y la cilindrada del motor <sup>1</sup>.

- **Escenario 7:** se incrementa el valor máximo de IMESI en un 20 % respecto a los datos de referencia, con el fin de explorar un escenario aún más estricto desde el punto de vista impositivo.
- **Escenario 8:** en este escenario se amplía la aplicación del esquema de IMESI en función de las emisiones de CO<sub>2</sub> para incluir también a los

---

<sup>1</sup>Las tasas actuales de IMESI se encuentran establecidas por el Decreto N° 390/021 y se muestran en el Anexo 1, Tablas 1.1 y 1.2



**Figura 3.2:** Comparación de la función IMESI (%) en función de CO<sub>2</sub> (g/km) para la línea base (sin +10 % - Escenario 5) y la línea penalizada (+10 % - Escenario 6). Fuente: elaboración propia.

vehículos utilitarios, además de automóviles y SUV. Para ello, se construyen dos funciones lineales independientes: una para automóviles y SUV, y otra para utilitarios. A continuación se detallan los puntos de referencia utilizados para definir cada una de ellas.

Para el caso de automóviles y SUV, se definen dos puntos basados en la distribución de emisiones de CO<sub>2</sub> y en los valores de IMESI establecidos por el Decreto N° 390/021 [6]. El Punto 1 se basa en la media ponderada por ventas (g/km) para modelos con cilindrada entre 0 y 1.000 c.c., manteniendo el IMESI del 23 % establecido por el decreto para la categoría. El Punto 2 corresponde a la media ponderada por ventas (g/km) para vehículos con cilindrada superior a 3.000 c.c., a la cual se le aplica un IMESI incrementado en un 20 % respecto del valor original del decreto, el cual se encuentra en 46 %. Ambos puntos se detallan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2:** Puntos de referencia para la creación de función lineal aplicable a automóviles y SUV en el Escenario 8. Fuente: elaboración propia.

|         | CO <sub>2</sub> (g/km) | Fuente del valor de CO <sub>2</sub>                                                          | IMESI (%) | Fuente IMESI                                                   | Categorías afectadas en escenario simulado            |
|---------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Punto 1 | 133,20                 | CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas para Automóviles y SUV gasolina (0–1.000 c.c.) | 23,00     | IMESI: Automóviles y SUV gasolina (0–1.000 c.c.)               | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV |
| Punto 2 | 258,08                 | CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas para Automóviles y SUV gasolina (3.000 c.c.–∞) | 66,00     | IMESI: Automóviles y SUV gasolina (3.000 c.c.–∞) + <b>20 %</b> | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV |

Para los vehículos utilitarios, también se establecen dos puntos de referencia. El Punto 1 se construye a partir de la media ponderada por ventas de los utilitarios gasolina con cilindrada de hasta 3.500 c.c., al que se asigna el IMESI actualmente vigente (6 %). El Punto 2 toma como base el valor límite superior de emisiones para esta categoría y define un IMESI igual al triple del actual, coincidiendo además con el 50 % de la tasa aplicable a los utilitarios diésel según el decreto vigente. Los detalles se presentan en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3:** Puntos de referencia para la creación de función lineal aplicable a utilitarios en el Escenario 8. Fuente: elaboración propia.

|         | CO <sub>2</sub> (g/km) | Fuente del valor de CO <sub>2</sub>                                                    | IMESI (%) | Fuente IMESI                                                                                                                                                | Categorías afectadas en escenario simulado       |
|---------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Punto 1 | 177,86                 | CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas para Utilitarios gasolina (0–3.500 c.c.) | 6,00      | IMESI: Utilitarios gasolina (0–3.500 c.c.), IMESI mínimo.                                                                                                   | Utilitarios. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV. |
| Punto 2 | 306,00                 | Valor límite superior para Utilitarios gasolina (0–3.500 c.c.)                         | 18,00     | IMESI: se multiplica por 3 el IMESI actual para Utilitarios gasolina (0–3.500 c.c.); coincide con el 50 % del IMESI para utilitarios diésel (0–3.500 c.c.). | Utilitarios. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV. |

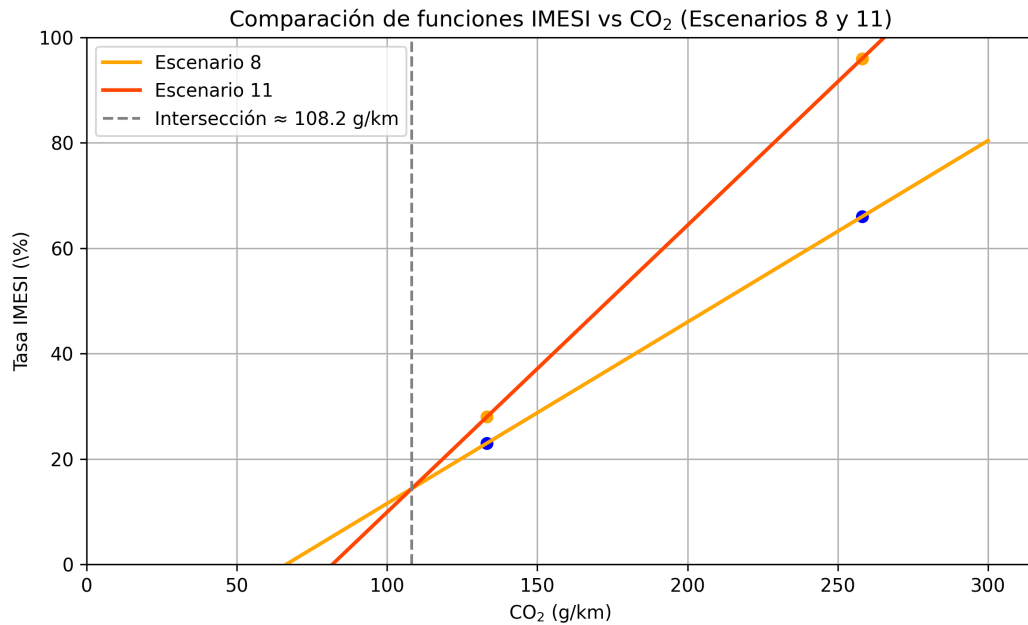
A partir de estos pares de puntos se construyen dos funciones lineales independientes, una para automóviles y SUV, y otra para utilitarios. Cada una de ellas permite calcular un nuevo porcentaje de IMESI aplicable a los modelos de su categoría según sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Los coeficientes de pendiente ( $\alpha$ ) y punto de corte en el eje y ( $\beta$ ) resultantes de ambas rectas son utilizados como parámetros de entrada en la herramienta de simulación desarrollada en Python.

- **Escenario 9:** igual a escenario 8 pero se asigna una tasa fija de IMESI para los BEV, igual a 5 %.
- **Escenario 10:** igual a escenario 8 pero se asigna una tasa fija de IMESI para los BEV, igual a 10 %.
- **Escenario 11:** este escenario mantiene los lineamientos generales del Escenario 8 (aplicación de una tasa del 0 % de IMESI para los BEV y una relación lineal equivalente para vehículos utilitarios), pero introduce una señal fiscal más exigente para automóviles y SUV.

La Tabla 3.4 presenta los puntos de referencia utilizados para construir la nueva función lineal, y en la Figura 3.3 se ilustra la pendiente de este escenario en comparación con la del Escenario 8. Como se observa, la relación entre IMESI y las emisiones de CO<sub>2</sub> se vuelve más pronunciada en el Escenario 11, reflejando una señal ambiental más intensa.

**Tabla 3.4:** Puntos de referencia para la creación de función lineal aplicable a automóviles y SUV en el Escenario 11. Fuente: elaboración propia.

|         | CO <sub>2</sub> (g/km) | Fuente del valor de CO <sub>2</sub>                                                          | IMESI (%) | Fuente IMESI                                                   | Categorías afectadas en escenario simulado            |
|---------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Punto 1 | 133,20                 | CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas para Automóviles y SUV gasolina (0–1.000 c.c.) | 28,00     | IMESI: Automóviles y SUV gasolina (0–1.000 c.c.) + <b>5 %</b>  | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV |
| Punto 2 | 258,08                 | CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas para Automóviles y SUV gasolina (3.000 c.c.–∞) | 96,00     | IMESI: Automóviles y SUV gasolina (3.000 c.c.–∞) + <b>50 %</b> | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV |



**Figura 3.3:** Comparación de la función IMESI (%) en función de las emisiones de CO<sub>2</sub> (g/km) para los Escenarios 8 y 11. Se observa que el Escenario 11 presenta una pendiente más pronunciada, lo que implica una señal fiscal más intensa frente a las emisiones. Fuente: elaboración propia.

- **Escenario 12:** replica la metodología del Escenario 11, pero incorpora una elasticidad diferenciada para el segmento más económico.

### 3.3.4. Resumen general de escenarios

La Tabla 3.5 presenta un resumen de cada escenario definido. El detalle completo de los mismos se encuentra disponible en la hoja *Descripción de escenarios* del archivo [Creación de escenarios.xlsx](#).

| Escenario | Datos de referencia para CO <sub>2</sub> (g/km) e IMESI                                                                                                                                                                       | Función             | Elasticidad | Categorías afectadas                                                                                                |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | Automóviles y SUV. Valor límite inferior y superior de IMESI y CO <sub>2</sub>                                                                                                                                                | Lineal y escalonada | Fija        | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                               |
| 2         | Automóviles y SUV. Valor límite inferior y superior de IMESI y CO <sub>2</sub>                                                                                                                                                | Lineal              | Variable    | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                               |
| 3         | Automóviles y SUV. Todos los modelos                                                                                                                                                                                          | Lineal              | Fija        | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                               |
| 4         | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas                                                                                                                                                              | Lineal              | Fija        | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                               |
| 5         | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas                                                                                                                                                              | Lineal              | Variable    | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                               |
| 6         | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas; se eleva el valor superior de IMESI en +10 %                                                                                                                | Lineal              | Fija        | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                               |
| 7         | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas; se eleva el valor superior de IMESI en +20 %                                                                                                                | Lineal              | Fija        | Automóviles y SUV. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                               |
| 8         | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas; se eleva el valor superior de IMESI en +20 %. Utilitarios: CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas y valor límite superior.                           | Lineal              | Fija        | Automóviles, SUV y Utilitarios. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV                                                  |
| 9         | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas; se eleva el valor superior de IMESI en +20 %. Utilitarios: CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas y valor límite superior.                           | Lineal              | Fija        | Automóviles, SUV y Utilitarios. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV. BEV se le asigna una tasa fija de IMESI de 5 %  |
| 10        | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas; se eleva el valor superior de IMESI en +20 %. Utilitarios: CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas y valor límite superior.                           | Lineal              | Fija        | Automóviles, SUV y Utilitarios. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV. BEV se le asigna una tasa fija de IMESI de 10 % |
| 11        | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas. Se eleva valor inferior de IMESI + 5 % y valor superior de IMESI +50 %. Utilitarios: CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas y valor límite superior. | Lineal              | Fija        | Automóviles, SUV y Utilitarios. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV.                                                 |
| 12        | Automóviles y SUV. CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas. Se eleva valor inferior de IMESI + 5 % y valor superior de IMESI +50 %. Utilitarios: CO <sub>2</sub> promedio ponderado por ventas y valor límite superior. | Lineal              | Variable    | Automóviles, SUV y Utilitarios. Tipo de motor: N, MHEV, HEV y PHEV.                                                 |

**Tabla 3.5:** Resumen de características de los escenarios de simulación. Para un mayor detalle por escenario se debe consultar el archivo Creación de escenarios.xlsx

### 3.4. Proyección

La etapa de proyección constituye una fase metodológicamente independiente respecto a la simulación de escenarios. Su objetivo es analizar la evolución teórica de los impactos fiscales, energéticos y ambientales derivados de los distintos esquemas impositivos, proyectando su evolución a lo largo de un horizonte de cinco años, bajo diferentes supuestos de penetración de vehículos eléctricos puros (BEV).

A diferencia de la herramienta de simulación, que compara únicamente el año base modificado con el original (2023), esta etapa proyecta en el tiempo los resultados generados para cada escenario simulado. Las proyecciones se centran en tres trayectorias alternativas de adopción de BEV: pesimista, tendencial y acelerada.

El período de proyección no debe interpretarse como una predicción cronológica estricta, sino como un horizonte analítico que permite evaluar comparativamente los efectos acumulados de las políticas bajo estudio. Todas las proyecciones parten de una base de datos fija correspondiente al año 2023, que ha sido modificada por la herramienta de simulación mediante un proceso en dos etapas: primero, la redefinición de las tasas de IMESI según las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> (g/km); y segundo, la aplicación de una elasticidad-precio de la demanda que ajusta las ventas individuales de cada modelo según su nuevo precio. Este proceso genera una distribución ajustada de ventas (unidades vendidas) para cada escenario, sobre la cual se calculan tres parámetros unitarios (recaudación por unidad, consumo energético por unidad y emisiones por unidad), que se mantienen constantes a lo largo del horizonte proyectado. La justificación de esta decisión se desarrolla en la Sección 3.5.4.

Otro supuesto metodológico adoptado en la etapa de proyección es que el volumen total de ventas anuales se mantiene constante e igual al año base (57.183 unidades). Esto se introduce para aislar, en la comparación entre escenarios proyectados, el efecto del cambio en la composición tecnológica, evitando que diferencias en el tamaño total del mercado afecten los resultados. En la simulación previa, los distintos esquemas impositivos provocan caídas en las ventas totales respecto al año base, como resultado de la aplicación de elasticidades-precio. Estas caídas se originan en el encarecimiento relativo de los modelos con mayores emisiones específicas de CO<sub>2</sub>, que enfrentan aumentos más pronunciados en el IMESI aplicado. Este efecto se acentúa en los escenarios más exigentes, donde la carga fiscal se incrementa de forma más sensible en función del nivel de emisiones.

Para la etapa de proyección, se adopta un enfoque que compensa dichas caídas de ventas reasignando esas unidades perdidas a vehículos eléctricos puros (BEV), bajo el supuesto de que los consumidores desplazados por aumentos impositivos tenderían a optar por opciones más eficientes y menor carga tributaria. Como consecuencia, cada escenario inicia en 2024 con una participación distinta de BEV, determinada por la magnitud de la caída de ventas simulada

previamente. La Figura 4.18 ilustra esta distribución inicial.

A partir de ese punto, se aplican tasas de crecimiento acumulativo anual específicas para cada trayectoria de penetración. En lugar de utilizar valores fijos predeterminados, las proyecciones se construyen de forma incremental, partiendo de la participación inicial de BEV en 2024 y aplicando tasas de crecimiento acumulativas del 20 %, 40 % y 60 % <sup>1</sup> anual para los escenarios pesimista, tendencial y acelerado, respectivamente. Como resultado, la participación proyectada de BEV es única para cada combinación de escenario fiscal y tipo de penetración.

Cabe señalar que se exploró una metodología alternativa en la que las caídas de ventas derivadas de la simulación no se compensaban con BEV. En ese enfoque, se mantenía constante el volumen de ventas resultante de la simulación y se aplicaba un mismo porcentaje de participación de BEV a todos los escenarios, de modo que la única variación entre las proyecciones provenía de los valores unitarios estimados en cada escenario.

Dado que los parámetros unitarios ya incorporan la caída de ventas inducida por la elasticidad-precio en cada escenario, esto implica que, aun cuando el consumo promedio (L/100 km) de un tipo/categoría mejore respecto del año base, si las ventas totales caen proporcionalmente más que el consumo total, el indicador por unidad del escenario puede resultar mayor que el del año base. Proyectar esos valores unitarios manteniendo ventas constantes de vehículos convencionales conduce entonces a resultados contraintuitivos, por un problema de coherencia del denominador.

Dado que esta alternativa producía proyecciones muy similares entre escenarios y, además, introducía la inconsistencia señalada, se adoptó la metodología actual: reasignar a BEV las unidades “perdidas” en la simulación y mantener constantes las ventas totales (bajo el supuesto ya señalado). Este enfoque permite capturar una mayor migración hacia BEV en los escenarios donde la estructura fiscal penaliza con mayor intensidad a los vehículos convencionales e híbridos, y también considera una participación acumulativa de BEV a lo largo del horizonte proyectado que se amplifica según el punto de partida de cada escenario y trayectoria.

La implementación práctica de este procedimiento se realiza mediante el código [Proyección 5 años.py](#), que utiliza como insumo los resultados del archivo [Salida Escenarios.xlsx](#) y genera como salida el archivo [Proyección 5 años.xlsx](#),

---

<sup>1</sup>Estos son valores por defecto y pueden ser modificados por el usuario

compuesto por dos hojas principales:

- **Proyección Recaudación:** estima la evolución anual de la recaudación por concepto de IMESI para cada combinación de escenario y participación de BEV. El cálculo se basa en la aplicación de parámetros unitarios fijos (recaudación por unidad) y en la evolución proyectada de las ventas de BEV y No-BEV, manteniendo un volumen constante de ventas totales.
- **Proyección Energía:** estima el consumo energético anual y las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales para cada combinación de escenario y participación de BEV. Los resultados se obtienen a partir de los consumos y factores de emisión unitarios para BEV y No-BEV definidos en cada escenario, considerando también un volumen anual de ventas constante.

El detalle de las columnas incluidas en cada hoja, así como las fórmulas aplicadas para su cálculo, se presenta en la sección 1.4 del Apéndice 1.

Finalmente, el código produce una serie de visualizaciones que permiten analizar comparativamente los escenarios modelados a lo largo del horizonte temporal definido.

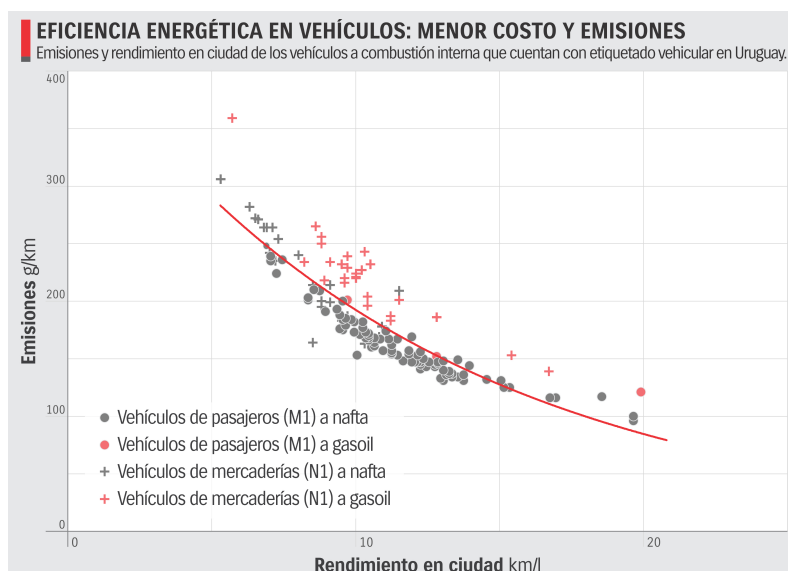
### 3.5. Justificación de las decisiones metodológicas adoptadas

#### 3.5.1. Discusión y selección del parámetro para fijación del IMESI (CO<sub>2</sub> vs rendimiento energético)

La necesidad de definir un criterio adecuado para la determinación del IMESI aplicado a vehículos nuevos surge a partir de la disponibilidad de dos métricas en el etiquetado de eficiencia energética: las emisiones de CO<sub>2</sub> (gCO<sub>2</sub>/km) y el rendimiento energético (km/L). Esto plantea la interrogante sobre cuál de ellas constituye la base más pertinente para estructurar el impuesto de forma alineada con los objetivos ambientales y energéticos del país.

Utilizar exclusivamente el rendimiento energético como base del IMESI resulta metodológicamente limitado, ya que diferentes tipos de combustible presentan factores de emisión de CO<sub>2</sub> distintos. Por ejemplo, si bien un vehículo

diésel puede exhibir un menor consumo de combustible en términos de km/L, sus emisiones de CO<sub>2</sub> por litro consumido superan a las de un vehículo a gasolina. Según el análisis que se muestra en la Figura 3.4 de SEG Ingeniería [53], a igual rendimiento energético, los vehículos diésel tienden a generar mayores emisiones totales de CO<sub>2</sub>. En consecuencia, un esquema impositivo centra-



**Figura 3.4:** Grafico de emisiones vs. rendimiento para vehículos a combustión interna en el mercado uruguayo. Fuente: [53]

do únicamente en el consumo de combustible podría favorecer vehículos que, aunque más eficientes desde el punto de vista energético, contribuyen en mayor medida al cambio climático, contradiciendo así el objetivo fundamental de descarbonización del sector transporte.

Por el contrario, establecer el IMESI en función de las emisiones de CO<sub>2</sub> presenta la ventaja de ser neutral respecto al tipo de combustible, ya que esta métrica incorpora automáticamente las diferencias en emisiones asociadas a distintas fuentes energéticas [5]. Esta característica es especialmente relevante en un contexto donde, en el futuro, podría considerarse el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional para establecer un IMESI a la adquisición de vehículos eléctricos que se base en las emisiones asociadas a los mismos. Además, un enfoque basado en CO<sub>2</sub> proporciona un incentivo financiero uniforme por cada gramo de CO<sub>2</sub> evitado, lo que asegura señales ambientales coherentes a lo largo de todo el espectro vehicular, independientemente de su nivel inicial de eficiencia [5].

Sin embargo, una aplicación estricta de esta lógica podría comprometer la

capacidad del país para aplicar tratamientos diferenciados a tecnologías específicas, como los vehículos diésel. Históricamente, Uruguay ha utilizado el IMESI para desincentivar su uso. Actualmente, los vehículos livianos a diesel tributan con una tasa diferenciada de 115 % respecto a los que emplean gasolina, cuyo IMESI varía con la cilindrada del motor [6]. Las tablas 1.1 y 1.2 del Anexo 1 contienen las tasas vigentes.

En este contexto, la herramienta desarrollada en esta tesis permite simular todas las combinaciones posibles entre tipo de vehículo y tipo de motorización. Para cada caso, puede optarse por mantener un IMESI fijo (como ocurre actualmente con motores diésel) o aplicar un ajuste progresivo según las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta flexibilidad posibilita un diseño impositivo más robusto, que integra los beneficios de una métrica ambientalmente neutra con la capacidad de incorporar penalizaciones estratégicas a tecnologías más contaminantes.

Dado que las emisiones de CO<sub>2</sub> han sido seleccionadas como el parámetro principal para la fijación del IMESI, en lo que sigue se trabajará exclusivamente con esta variable, dejando de lado el rendimiento energético como criterio de referencia.

### **3.5.2. Comparación y selección entre esquemas escalonados y lineales para IMESI**

La presente comparación entre esquemas escalonados y lineales para la determinación del IMESI se basa en el análisis conceptual desarrollado por CE Delft en el contexto de sistemas feebate aplicados a vehículos livianos [5]. Las consideraciones sobre el diseño de funciones impositivas resultan pertinentes para evaluar la estructura óptima del IMESI en función de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El esquema lineal asigna un valor del IMESI proporcional al nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> del vehículo, de forma continua. Esto significa que cualquier mejora, por mínima que sea, en el rendimiento ambiental de un vehículo se traduce automáticamente en una reducción del impuesto aplicado. Esta propiedad otorga un incentivo constante tanto para consumidores como para fabricantes, promoviendo la reducción de emisiones a lo largo de todo el espectro de desempeño vehicular. En este sentido, se establece una relación directa entre la variable ambiental (gCO<sub>2</sub>/km) y el nivel impositivo, sin zonas neutras ni discontinuidades.

Desde el punto de vista de diseño fiscal, la principal ventaja de este enfoque es que evita distorsiones: dos vehículos con niveles de emisiones apenas distintos no pagan el mismo impuesto, lo que evita “efectos umbral” y mantiene la coherencia de la señal de precio. Además, la linealidad garantiza que tanto los vehículos menos eficientes como los más eficientes reciben una señal clara, proporcional al impacto ambiental que generan.

Por otro lado, los esquemas escalonados, consisten en definir franjas discretas de emisiones, a las que se asocia un valor fijo de IMESI. Esto implica que todos los vehículos cuyas emisiones se encuentren dentro del mismo tramo pagan el mismo nivel impositivo, independientemente de su desempeño preciso dentro del intervalo. Esta estructura es más sencilla de implementar y comunicar, y facilita la administración fiscal. Asimismo, puede ser ajustada políticamente para reforzar el castigo a determinados segmentos (por ejemplo, vehículos de alta gama con elevadas emisiones). No obstante, este diseño presenta desventajas relevantes desde el punto de vista ambiental. El incentivo a mejorar es discontinuo: solo existe motivación para reducir emisiones si ello permite ingresar en un tramo inferior. Por tanto, una vez que se alcanza el umbral de una franja, se pierde el estímulo a seguir mejorando, salvo que se esté próximo al siguiente salto. Esto puede limitar el alcance de los beneficios ambientales del esquema y favorecer estrategias mínimas de cumplimiento por parte de los fabricantes.

Existen también versiones intermedias, como los esquemas escalonados con tramos de distinto tamaño, que permiten reforzar el castigo fiscal en segmentos específicos, usualmente los de mayor impacto ambiental. Esta opción puede responder a criterios de equidad distributiva o a prioridades políticas particulares, pero no elimina el problema de fondo: la falta de incentivo continuo a la mejora.

La herramienta desarrollada permite modelar tanto esquemas escalonados como lineales para la determinación del IMESI, brindando flexibilidad al usuario para adaptar el diseño impositivo según distintos objetivos fiscales o ambientales. No obstante, tal como se detalla en la sección *Definición de escenarios de simulación* 3.3, en el presente trabajo se optó por priorizar los esquemas lineales como base para demostrar la funcionalidad de la herramienta. Esta elección se fundamenta en la capacidad de estos esquemas para mantener una señal de precio coherente con el desempeño ambiental de los vehículos.

### 3.5.3. Aplicación de elasticidad variable a los vehículos mas económicos

Con el objetivo práctico de contribuir a mantener más estable el nivel agregado de ventas ante aumentos generalizados de precios, y bajo el supuesto metodológico de que los compradores priorizan la opción de menor precio (Sección 3.2.1), se incorporó a [Simulación de Escenarios.py](#) la posibilidad de aplicar una elasticidad variable según el nivel de precio.

La metodología aplica una elasticidad diferenciada exclusivamente al 25 % (ajustable) de menor precio dentro de cada grupo por *Tipo 2* (Automóvil, SUV o Utilitario), sin modelar sustitución cruzada entre categorías. El 25 % se determina con respecto a los precios del año base. La lógica de ajuste es:

- Cuando el precio de un vehículo del 25 % más económico aumenta (variación de precio positiva), se aplica una elasticidad menos negativa que la elasticidad base. Esto significa que la caída en ventas será atenuada, protegiendo en mayor medida la demanda de los vehículos más accesibles.
- Cuando el precio de un vehículo del 25 % más económico disminuye (variación de precio negativa), se aplica una elasticidad más negativa que la elasticidad base. Esto implica que el aumento de ventas será mayor, aprovechando en mayor medida las reducciones de precio para estimular la demanda.
- Para el resto de los vehículos (75 % de mayor precio en cada categoría), se mantiene constante la elasticidad base elegida, independientemente de la variación de precio.

La tabla 3.6 resume el comportamiento de la elasticidad bajo este enfoque:

| Condición         | Dirección del cambio de precio             | Elasticidad aplicada                             |
|-------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 25 % más barato   | Precio sube ( $\Delta \text{Precio} > 0$ ) | Elasticidad menos negativa (ej. 50 % de la base) |
| 25 % más barato   | Precio baja ( $\Delta \text{Precio} < 0$ ) | Elasticidad más negativa (ej. 150 % de la base)  |
| Resto del mercado | Cualquier dirección                        | Elasticidad base                                 |

**Tabla 3.6:** Comportamiento de la elasticidad variable. Fuente: elaboración propia.

Esta lógica permite reflejar el comportamiento de migración de los consumidores hacia vehículos más accesibles en contextos de aumento de precios, lo cual puede contribuir a mantener relativamente constante el volumen total de ventas en el mercado. No obstante, no garantiza mantener constante el volumen total del mercado

Cabe destacar que tanto el porcentaje de vehículos considerados como más económicos (por ejemplo, 25 %) como los factores de ajuste de elasticidad (por ejemplo, 50 % y 150 % respecto a la elasticidad base) son parámetros configurables por el usuario, permitiendo adaptar la sensibilidad de la simulación a distintos supuestos o realidades de mercado.

#### 3.5.4. Utilización de valores unitarios constantes en las proyecciones

Para realizar las proyecciones (3.4) de recaudación fiscal, consumo energético y CO<sub>2</sub>, las mismas se estiman a partir de valores unitarios obtenidos desde la hoja *Resumen Escenarios* del archivo [Salida Escenarios.xlsx](#). Estos valores corresponden al resultado del ajuste del parque vehicular 2023 bajo cada esquema impositivo, considerando la aplicación de elasticidad-precio y la consecuente redistribución de ventas.

Si bien es razonable asumir valores constantes para el año base (por tratarse de datos observados), la proyección hacia el período 2024–2028 adopta también como fijos los valores unitarios generados para cada escenario (recaudación por unidad, consumo energético por unidad y emisiones por unidad). Esta decisión implica que dichos parámetros no evolucionan a lo largo del horizonte proyectado, independientemente del año o del grado de penetración de vehículos eléctricos.

Esta simplificación responde a dos motivos principales. En primer lugar, permite aislar el efecto de los cambios en la composición tecnológica del parque (es decir, la sustitución de unidades No-BEV por BEV) sin introducir nuevas fuentes de variabilidad. En segundo lugar, evita asumir dinámicas de cambio que no pueden ser modeladas de forma robusta con la información actualmente disponible, como la evolución tecnológica interna de cada segmento o las variaciones futuras en la estructura de precios.

Los valores unitarios considerados constantes en cada escenario, y que se presentan en mayor detalle en la sección 1.4 del Apéndice 1, incluyen:

- Recaudación IMESI Escenario (Sin BEV) / Unidad
- Recaudación IMESI Escenario BEV / Unidad
- Consumo Escenario (sin BEV) (tep) / Unidad
- Consumo eléctrico Escenario BEV (tep) / Unidad

- Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) / Unidad
- Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) / Unidad

La decisión de mantener estos valores constantes se fundamenta en las siguientes razones:

1. Horizonte temporal acotado: dado que el período de análisis es de solo cinco años, es razonable suponer que los valores unitarios medios por vehículo (como consumo, emisiones o recaudación fiscal) no experimentarán cambios significativos que requieran una modelización dinámica más detallada.
2. Foco en la estructura del parque y la política fiscal: la simulación busca capturar los efectos de distintas combinaciones de elasticidades-precio, esquemas fiscales y niveles de penetración de vehículos eléctricos. Permitir que los valores unitarios varíen agregaría complejidad al modelo sin aportar claridad adicional al análisis.
3. Falta de evidencia sólida sobre su evolución futura: no se dispone de proyecciones robustas ni suficientemente desagregadas que permitan anticipar con confianza la evolución de estos indicadores por unidad en el corto plazo. En ese contexto, mantenerlos fijos constituye una aproximación prudente.
4. Simplificación sin comprometer el contenido técnico: estos valores ya reflejan, en cierta medida, las diferencias tecnológicas y fiscales presentes en cada escenario. Mantenerlos constantes permite incorporar dicha información sin necesidad de introducir proyecciones adicionales que podrían aumentar la incertidumbre del modelo.

En resumen, esta elección metodológica contribuye a enfocar el análisis en las transformaciones estructurales inducidas por las políticas fiscales asociadas a las emisiones de CO<sub>2</sub> y la electrificación del parque vehicular, evitando incorporar supuestos adicionales que podrían dificultar la interpretación de los resultados.

### **3.6. Generación de gráficos para análisis**

Con el objetivo de profundizar en el análisis y facilitar la interpretación de los resultados, se desarrollaron distintos códigos en Python que automatizan

la generación de gráficos a partir de los datos procesados. En las tablas [3.1](#) y [3.2](#) del Anexo 3 se enumeran los gráficos generados para la presentación de los datos, análisis y discusión realizada en el capítulo 4, indicando para cada uno el código correspondiente y la sección del documento donde es analizado.

## Capítulo 4

# Presentación de los datos, Análisis, Discusión

### 4.1. Análisis de base de datos y generación de datos de referencia para simulación

La caracterización del parque vehicular es un paso clave para la formulación de escenarios de simulación. En esta sección se analizan los datos disponibles gracias a la construcción de la base de datos inicial, considerando las emisiones de CO<sub>2</sub> (según ciclo NEDC), la cilindrada, el tipo de motorización y la categoría impositiva del IMESI vehicular. A partir de esta información se construyen visualizaciones que permiten comprender mejor la relación entre la estructura fiscal actual y el desempeño ambiental de los vehículos. Esto resulta clave a los efectos de determinar puntos de referencia para la posterior creación y simulación de los escenarios. La metodología bajo la cual se diseñaron los escenarios de simulación se explica en la sección [3.3](#).

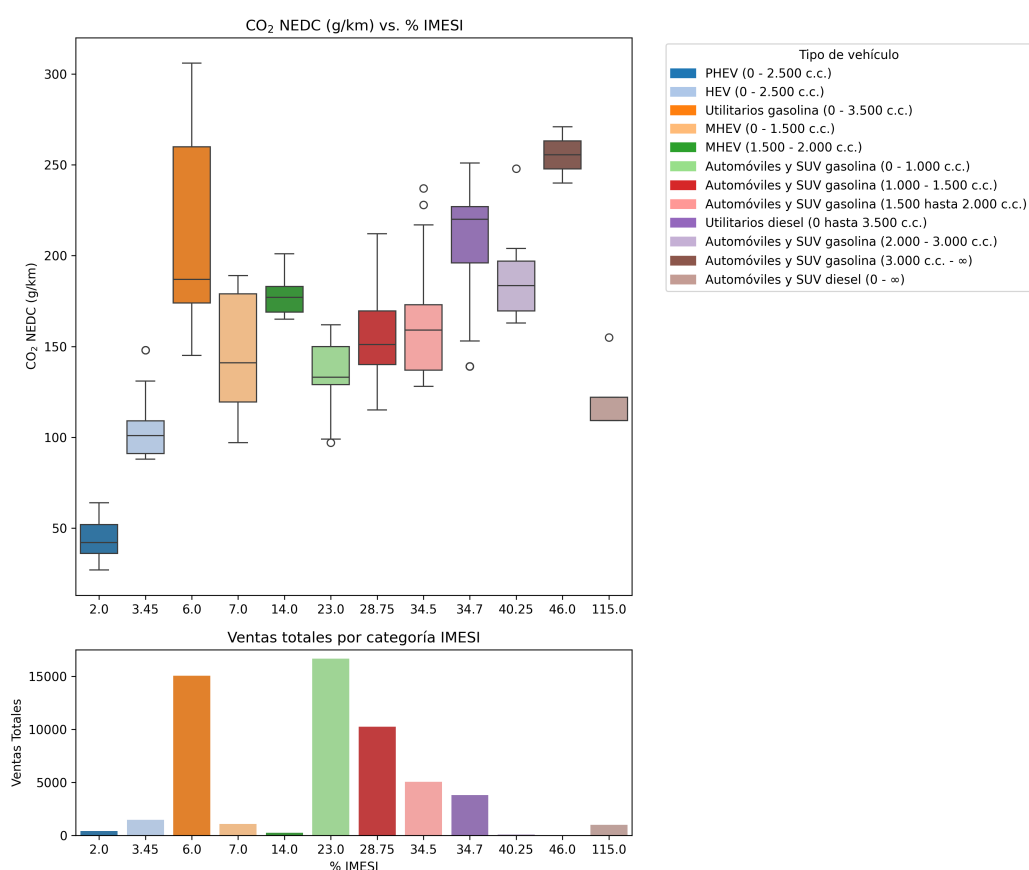
El análisis de la presente sección se estructura en torno a tres visualizaciones complementarias:

- Boxplot de emisiones de CO<sub>2</sub> por tasa de IMESI: resume la distribución de emisiones mediante valores estadísticos como la mediana, los cuartiles y los valores atípicos, destacando la dispersión interna y la superposición entre distintas tasas de IMESI.
- Distribución de emisiones específicas según ventas acumuladas: presenta, para cada tasa de IMESI, el % acumulado de ventas a medida que

aumentan las emisiones de CO<sub>2</sub> homologadas por los distintos modelos, ordenados desde los más eficientes hasta los menos eficientes.

- Histogramas de emisiones de CO<sub>2</sub> según volumen de ventas: muestran cuántos vehículos se venden en cada rango de emisiones de CO<sub>2</sub> dentro de una franja del IMESI. Esto permite identificar fácilmente en qué niveles de emisiones se concentra la mayor parte de las ventas. A diferencia de las curvas acumuladas, que muestran cómo se suman las ventas a medida que aumentan las emisiones, los histogramas destacan los rangos específicos donde las ventas son más altas.

### Boxplot de emisiones de CO<sub>2</sub> por tasa de IMESI



**Figura 4.1:** Relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> (NEDC) y tasa de IMESI para el año 2023. En la parte inferior, se incluyen las ventas totales por categoría de IMESI. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4.1<sup>1</sup> se presenta un boxplot (o diagrama de cajas y bigotes) que

<sup>1</sup>La franja 34,5 % agrupa PHEV y HEV mayores a 2.500 c.c. junto a MHEV mayores a 2.000 c.c.; dado que comparten la misma tasa, no pueden desagregarse visualmente.

relaciona las distintas tasas de IMESI (eje X) con las emisiones de CO<sub>2</sub> (g/km, eje Y), medidas bajo el ciclo NEDC. Las tasas de IMESI se corresponden con distintas categorías de vehículos y cilindradas, las cuales se diferencian por colores dentro del gráfico. La metodología y los datos empleados para la obtención de este gráfico se detallan en la sección 3.3.1. Además, la parte inferior de la figura muestra un gráfico de barras con las ventas totales por categoría de IMESI.

El boxplot (o diagrama de cajas) es una herramienta estadística que permite visualizar de forma resumida la distribución de un conjunto de datos, en este caso, las emisiones de CO<sub>2</sub> (g/km) para cada tasa de IMESI vigente. Cada caja representa una categoría tributaria distinta, y los elementos del gráfico ayudan a identificar tendencias centrales, dispersión y la presencia de valores atípicos.

Para ilustrar su interpretación, se analiza el caso de la categoría con tasa de IMESI del 23 %, correspondiente a automóviles y SUV a gasolina de baja cilindrada (0 a 1.000 c.c.), que además concentra el mayor volumen de ventas.

Los elementos del boxplot para esta categoría se interpretan de la siguiente manera (los valores del gráfico se encuentran en el archivo [Datos CO2 vs IMESI 2023.xlsx](#), como fue explicado en la sección 3.3.1):

- Primer cuartil (Q1 = 129 g/km): el 25 % de los modelos emite menos de este valor. Representa el límite inferior de la caja.
- Mediana (Q2 = 133 g/km): indica que la mitad de los modelos tiene emisiones por debajo de este valor y la otra mitad por encima. Se representa con una línea dentro de la caja.
- Tercer cuartil (Q3 = 150 g/km): el 75 % de los modelos emite menos de este valor. Es el límite superior de la caja.
- Rango intercuartílico (IQR = 21): es la diferencia entre Q3 y Q1, y mide la dispersión central de las emisiones.
- Valores límite (valores mínimo y máximo esperados sin considerar atípicos):
  - Inferior: 99 g/km (mínimo observado dentro de  $1,5 \times \text{IQR}$  por debajo de Q1).
  - Superior: 162 g/km (máximo observado dentro de  $1,5 \times \text{IQR}$  por encima de Q3).

Estos valores marcan el rango esperado donde se concentran los datos típicos.

- Valores atípicos: los modelos cuyas emisiones se encuentran fuera del rango definido por los límites ( $1,5 \times \text{IQR}$ ) se representan con círculos. En esta categoría, se identificó un solo valor atípico igual a 97,0 g/km.
- Media ponderada por ventas: considerando la participación relativa en ventas de cada modelo, se obtiene un valor de 133,2 g/km, ligeramente superior en esta categoría al valor de la mediana. Este valor no está representado visualmente en el boxplot, pero se incluye como un indicador adicional que refleja el desempeño ambiental promedio según la incidencia real de cada modelo en el mercado. Cabe señalar que, a diferencia de los valores utilizados en la construcción del boxplot (cuartiles y mediana, no ponderados por ventas), la media ponderada se calcula de forma separada y complementaria. Si bien tanto la mediana como la media resumen el comportamiento central de los datos, representan conceptos distintos. La mediana indica el punto medio de la distribución (el 50 % de los modelos tiene emisiones menores y el otro 50 % mayores), sin importar cuántos vehículos se venden de cada modelo. En cambio, la media ponderada tiene en cuenta el volumen de ventas de cada modelo, por lo que refleja el impacto promedio en términos de comercialización real.

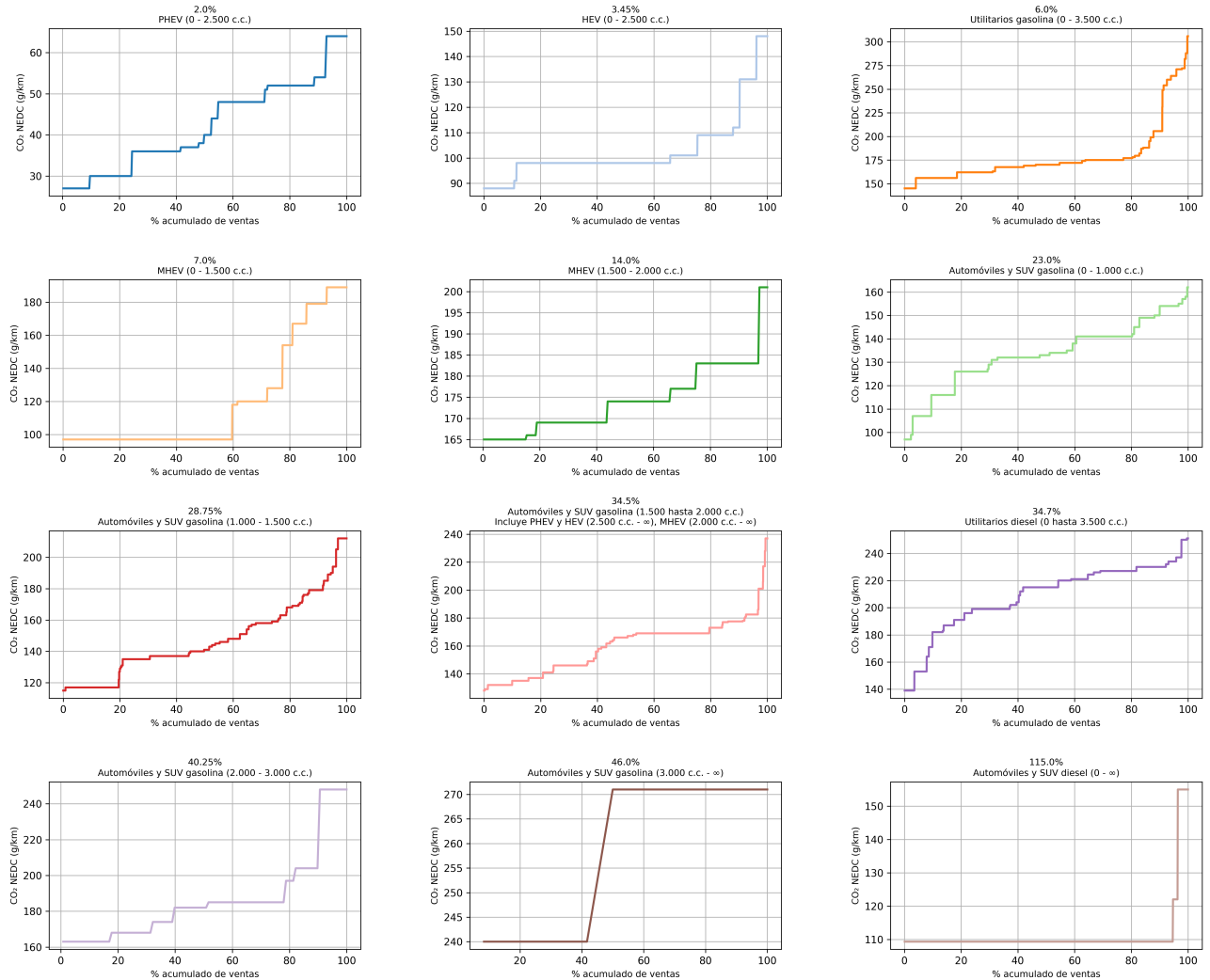
Como se puede apreciar a partir de la descripción práctica de la categoría correspondiente al 23 % de IMESI, esta representación gráfica permite identificar rápidamente la variabilidad, la tendencia central y la presencia de valores atípicos en las emisiones de CO<sub>2</sub> para diferentes tasas de IMESI. A pesar de asignarse la misma tasa de IMESI, las emisiones pueden variar considerablemente debido a factores como la cilindrada, el peso del vehículo, la aerodinámica, el rodado y otras especificaciones técnicas. A partir de la observación del gráfico, se destacan las siguientes conclusiones:

- Variabilidad de emisiones: en todas las franjas de fijación del IMESI se observa una dispersión significativa en los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto indica que, bajo el esquema actual, vehículos con distinto nivel de emisiones reciben el mismo tratamiento impositivo, sin reflejar adecuadamente su contribución relativa a las emisiones dentro del sector transporte.

- Disparidades en la variabilidad: la variabilidad no es homogénea entre las distintas franjas de IMESI. Por ejemplo, las tasas de 2 % y 3,45 %, correspondientes a vehículos PHEV y HEV de hasta 2.500 c.c., presentan emisiones bajas y menor dispersión. En contraste, las tasas de 6 % y 7 %, correspondientes a utilitarios a gasolina de hasta 2.500 c.c. y MHEV de hasta 1.500 c.c., muestran la mayor variabilidad de emisiones dentro de la serie analizada.
- Superposición de franjas de IMESI: en las categorías de automóviles y SUV se observa no solo la variabilidad interna de cada franja, sino también la superposición de emisiones entre franjas. Esto implica que un vehículo más eficiente, pero de mayor cilindrada, está sujeto a una tasa de IMESI más alta que uno menos eficiente, pero con menor cilindrada.
- Distribución de ventas: las tasas que van entre 23 % y 34,7 % concentran casi 70 % de las ventas totales. Sin embargo, la banda del 6 % (utilitarios a gasolina) también representa un segmento comercialmente relevante. En contraste, las tasas menores o iguales a 3,45 % y mayores o iguales a 40 % sí cubren volúmenes de venta marginales.

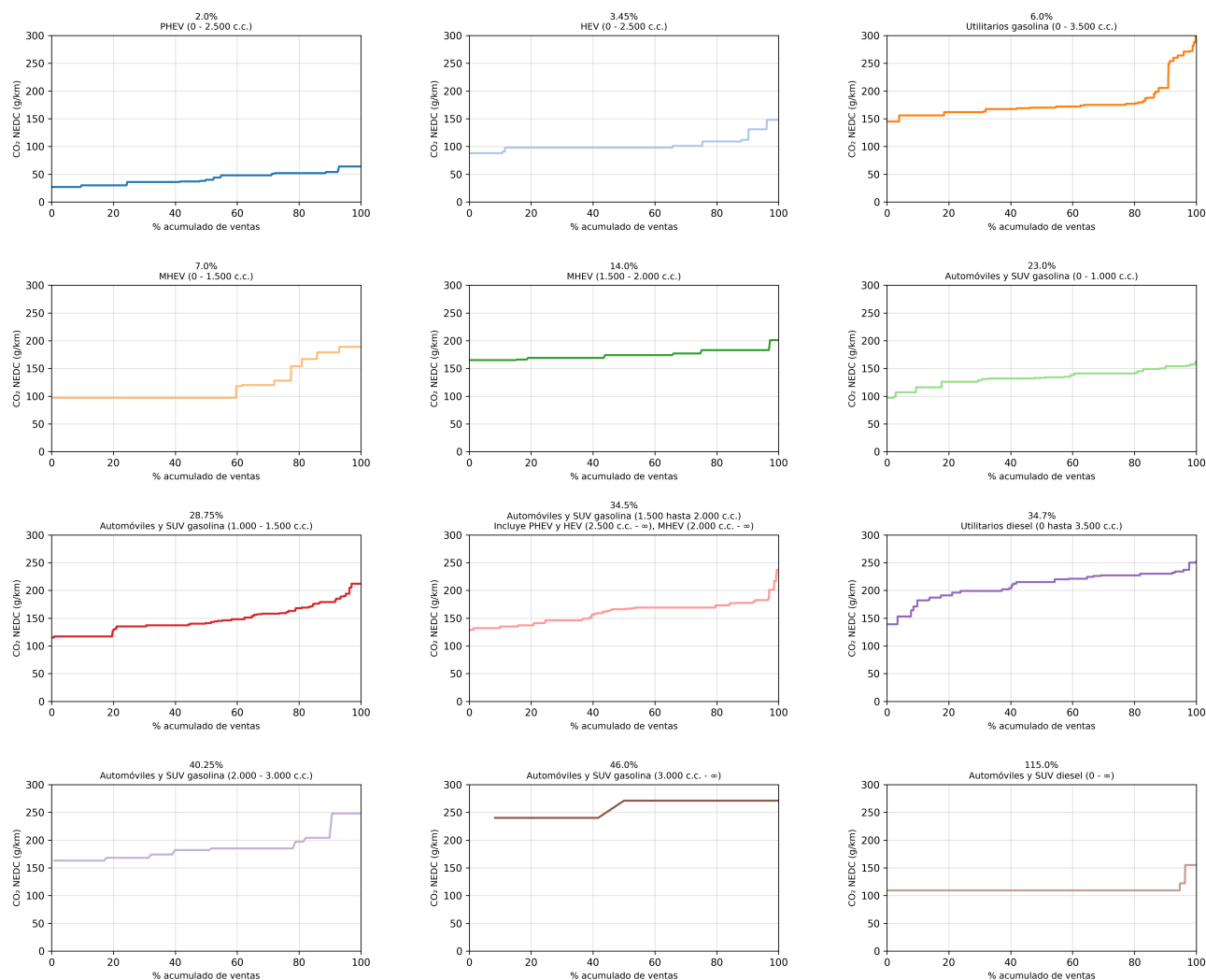
La Figura 4.2 presenta la distribución de emisiones específicas de CO<sub>2</sub> en función del porcentaje acumulado de ventas, desagregadas por franja impositiva de IMESI. Cada subgráfico muestra cómo se concentran las ventas dentro de una categoría fiscal, ordenadas desde los modelos con menor hasta los de mayor nivel de emisiones.

## Distribución de emisiones específicas según ventas acumuladas



**Figura 4.2:** Distribución de emisiones específicas de CO<sub>2</sub> en función del porcentaje acumulado de ventas para todas las tasas de IMESI analizadas. Fuente: elaboración propia.

La Figura 4.3 replica la información de la Figura 4.2 pero ajustando el rango de datos del Eje Y de 0 a 300 g/km de CO<sub>2</sub> para permitir una mejor comparación de las emisiones específicas de los vehículos entre las distintas tasas de IMESI.



**Figura 4.3:** Distribución de emisiones específicas de CO<sub>2</sub> en función del porcentaje acumulado de ventas para todas las tasas de IMESI analizadas. Rango de eje Y fijo para todos los subgráficos de 0 a 300 g/km de CO<sub>2</sub>. Fuente: elaboración propia.

Las curvas presentadas en las dos figuras permiten visualizar cómo se distribuyen las emisiones específicas de los vehículos según el peso relativo de sus ventas dentro de cada franja del impuesto IMESI. En cada subgráfico, los modelos están ordenados desde los que emiten menos CO<sub>2</sub> hasta los que emiten más, y el eje horizontal representa el porcentaje acumulado de unidades vendidas. De este modo, es posible identificar cómo se concentran las ventas a lo largo del espectro de eficiencia ambiental.

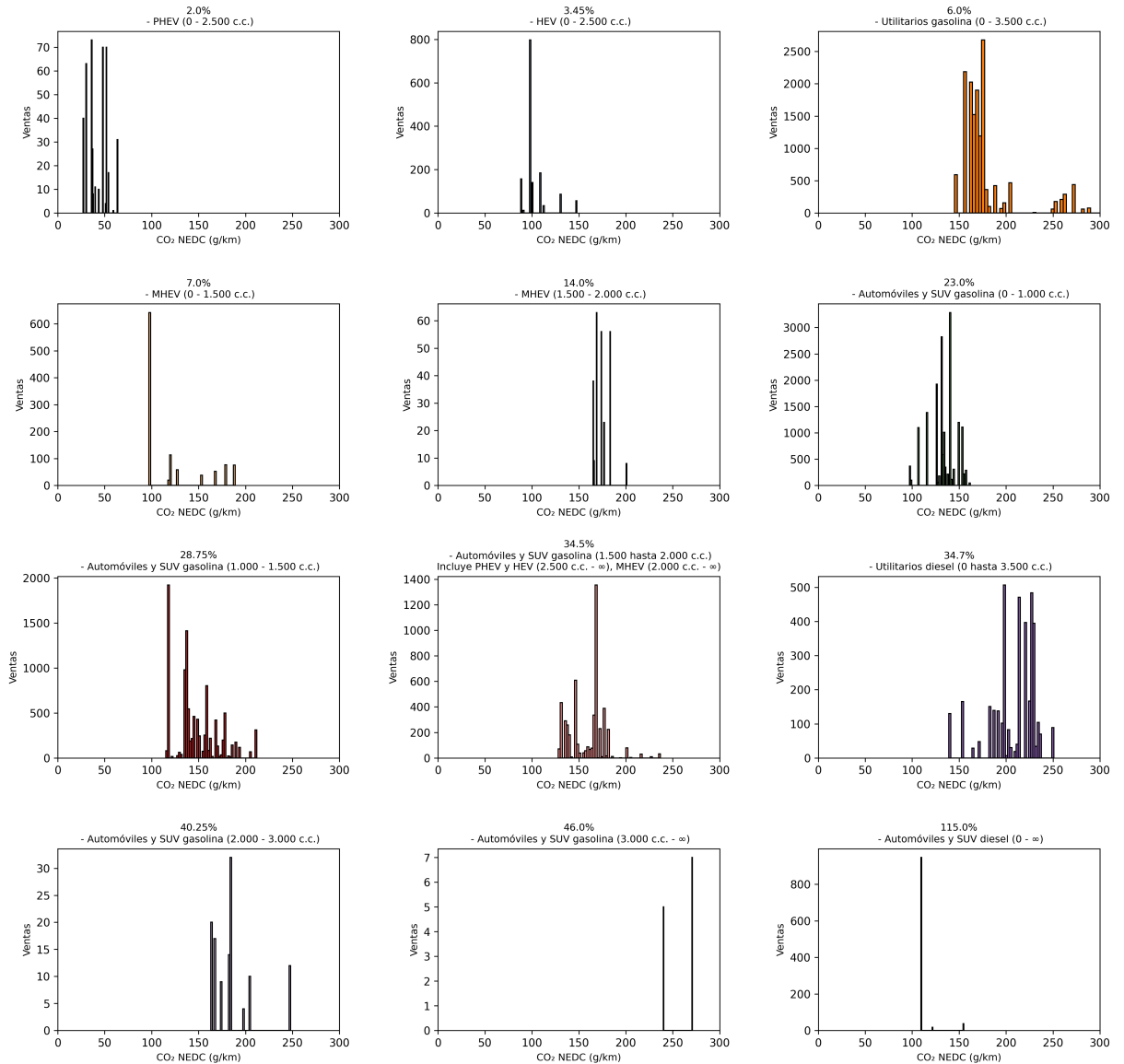
La forma de cada curva permite interpretar la relación entre el nivel de emisiones de los vehículos y la proporción de ventas acumuladas. Cuando la curva avanza mayormente en el eje horizontal durante sus primeros tramos, implica que una gran parte del volumen vendido corresponde a modelos con bajas emisiones. Por el contrario, si la curva se eleva rápidamente en el eje vertical desde el inicio, las emisiones aumentan rápidamente con pocas unidades vendidas, indicando una menor penetración de modelos eficientes dentro de la tasa de IMESI analizada.

Este tipo de análisis permite detectar si dentro de una misma categoría fiscal conviven vehículos con desempeños ambientales muy distintos y la proporción de sus ventas.

A partir de los subgráficos correspondientes a las tasas de IMESI 6 %, 23 % y 28,75 % de la Figura 4.2, se destacan las siguientes observaciones:

- Tasa 6 % – Utilitarios a gasolina entre 0 y 3.500 c.c.: la curva presenta un avance importante en el eje horizontal durante los primeros tramos, lo que indica que una gran parte de las ventas corresponde a modelos con emisiones moderadas. El 80 % de las ventas corresponde a vehículos con un rango de emisiones entre 150 y 180 g/km. Sin embargo, el aumento abrupto en el eje vertical sobre el final (luego que se alcanza el 80 % de las ventas) refleja la presencia de un subconjunto (rango de emisiones entre 180 y 300 g/km) con emisiones elevadas dentro de la categoría.
- Tasa 23 % – Automóviles y SUV entre 0 y 1 000 c.c.: la curva muestra una transición gradual en el aumento de las emisiones, sin saltos bruscos. Se destaca que entre el 0 y el 30 % del volumen de ventas se concentran tres modelos con alta participación, lo que se refleja en un tramo horizontal prolongado de la curva. Este comportamiento indica que un pequeño grupo de modelos más eficientes (entre 100 y 130 g/km) domina una parte significativa del segmento.
- Tasa 28,75 % – Automóviles y SUV entre 1 000 y 1 500 c.c.: se observa que aproximadamente la mitad de las ventas corresponde a modelos con emisiones específicas entre 115 y 140 g/km. El 50 % restante se distribuye en un rango más amplio, entre 140 y 210 g/km, lo que evidencia una mayor heterogeneidad en el desempeño ambiental de esta franja.

## Histograma de emisiones de CO<sub>2</sub> según volumen de ventas



**Figura 4.4:** Histograma de emisiones de CO<sub>2</sub>, separado por tasa de IMESI, donde la altura de cada barra representa el volumen total de ventas en cada intervalo de emisiones. Fuente: elaboración propia.

La Figura 4.4 ofrece otra perspectiva sobre la información presentada anteriormente en la Figura 4.2. Mientras que la distribución acumulada enfatiza cómo se ordenan los modelos desde menor a mayor emisión dentro de cada franja, este histograma permite identificar claramente en qué intervalos específicos

de emisiones se concentra la mayoría de las ventas.

Esta visualización resalta con precisión los rangos de emisiones más representativos dentro de cada categoría fiscal, lo que facilita una interpretación directa del volumen real de unidades vendidas en cada intervalo. Por ejemplo, en la franja impositiva del 6% (utilitarios a gasolina), la mayor parte de las ventas se concentra claramente en vehículos con emisiones inferiores a 175 g/km.

## 4.2. Resultados de simulación - Análisis Energético

En esta sección se presentan los resultados de la simulación de escenarios desde una perspectiva energética y ambiental, tomando como base los datos procesados en la pestaña *Análisis energético* del archivo de resultados. El objetivo es evaluar el impacto de los distintos esquemas de IMESI sobre el parque vehicular actual en términos de consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para construir cada escenario, la herramienta simula una doble transformación sobre la base de datos de ventas del año 2023.

- En primer lugar, se redefine la tasa de IMESI aplicable a cada modelo de vehículo, lo que genera un nuevo precio de venta al público.
- En segundo lugar, se aplica una elasticidad-precio de la demanda para ajustar las ventas proyectadas de cada modelo, en función de la variación porcentual de su precio. Este ajuste permite capturar cambios tanto en el volumen total de unidades vendidas como en la composición del parque, dado que algunos modelos se vuelven más accesibles y otros menos competitivos bajo el nuevo esquema fiscal.

El resultado es una redistribución de las ventas que afecta directamente los niveles agregados de consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>. Cabe señalar que tanto el consumo de energía como las emisiones de cada escenario se calculan considerando el parque ajustado resultante de la simulación y comparándolo con el parque original de 2023 sin intervención. En ambos casos, se aplica un recorrido anual promedio por tipo de vehículo provisto por el MIEM: 10.252 km para automóviles y SUV, y 31.200 km para utilitarios. Estos valores pueden ser modificados por el usuario en el código [Simulacion de Escenarios.py](#). Para

la tesis, se adoptó como valor base una elasticidad de -1,87, derivada de una estimación empírica específica para el mercado de vehículos 0 km [2]. Este valor implica que un incremento del 10 % en el precio promedio de un modelo provocaría una reducción del 18,7 % en sus ventas. A efectos del análisis de sensibilidad, se consideró un rango entre -1,37 y -2,37, evaluando escenarios más conservadores y más agresivos en términos de respuesta de la demanda ante cambios de precio.

Con el fin de facilitar la lectura y comparación de los escenarios, todos los gráficos presentados en las primeras subsecciones han sido filtrados para representar únicamente aquellos con una elasticidad de demanda igual a -1,87. Esta elección busca presentar un caso intermedio y representativo. Posteriormente, se presenta un análisis detallado de un escenario específico considerando el efecto de distintas elasticidades.

Para mayor información se puede consultar el capítulo de metodología (3) y las secciones del Apéndice 1 donde se encuentra la información de la hoja de análisis energético (1.3.6) así como sus fórmulas (1.3.7).

La presentación de resultados se estructura de la siguiente manera:

1. Variación en las ventas totales, por tipo de motorización y categoría vehicular (4.2.1): se analiza cómo cambian los volúmenes de ventas bajo cada escenario, tanto en términos absolutos como relativos, y cómo se redistribuye la participación entre tecnologías.
2. Variación en el consumo promedio del parque (4.2.2): se evalúa si los cambios inducidos por el esquema fiscal desplazan las ventas hacia vehículos más eficientes, reduciendo el consumo específico (L/100 km) de las categorías afectadas.
3. Variación en el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> (4.2.3): se presenta el efecto de los escenarios sobre las variaciones anuales en el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>.
4. Análisis de un escenario representativo con evaluación del efecto de distintas elasticidades (4.2.4): se incluye una explicación del funcionamiento de la herramienta de simulación a partir de un escenario seleccionado y se muestran los resultados obtenidos bajo tres niveles de elasticidad-precio de la demanda (-1,37, -1,87 y -2,37).
5. Análisis general de los resultados (4.2.5): se sintetizan los principales hallazgos en términos comparativos.

Las tablas 3.1 y 3.2 presentan para cada gráfico empleado su número, la sección donde se encuentra y el código que fue empleado para su elaboración.

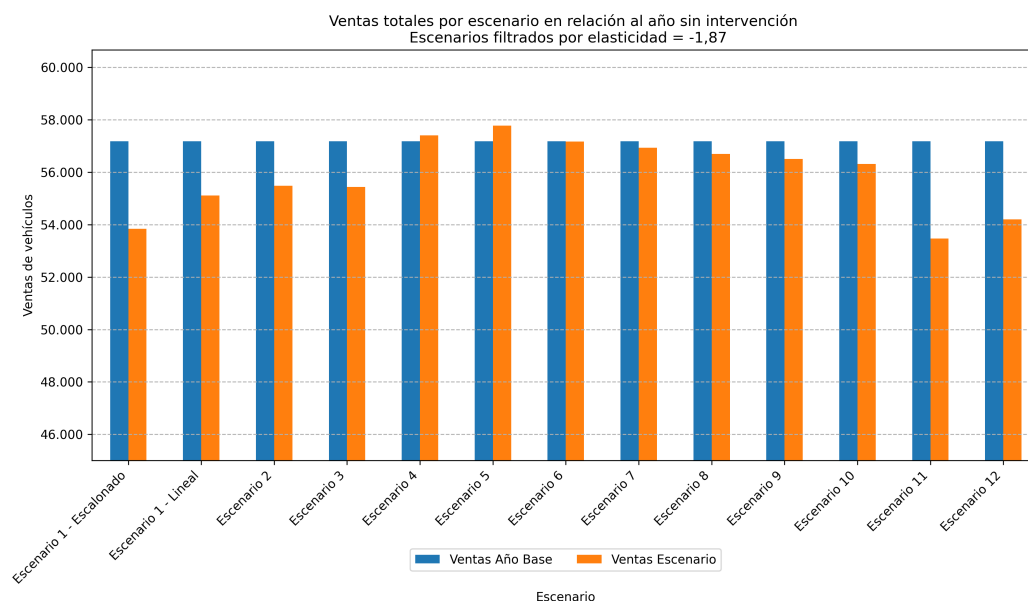
#### **4.2.1. Variación en las ventas totales, por tipo de motorización y categoría vehicular**

Esta subsección analiza cómo los distintos esquemas de IMESI afectan el volumen de ventas vehiculares y su distribución entre distintas tecnologías y categorías. Se presentan los siguientes resultados:

- En primer lugar, se compara el volumen total de ventas del año base 2023 con el volumen proyectado para cada uno de los escenarios simulados.
- Luego, se analiza cómo varían las ventas según el tipo de motorización (BEV, HEV, MHEV, PHEV, N), presentando dos visualizaciones complementarias: un gráfico de barras y un mapa de calor.
- Finalmente, se examina la redistribución de ventas por categoría vehicular (*Tipo 2*: Automóvil, SUV y Utilitario), también mediante un mapa de calor.

##### **4.2.1.1. Comparación de ventas totales**

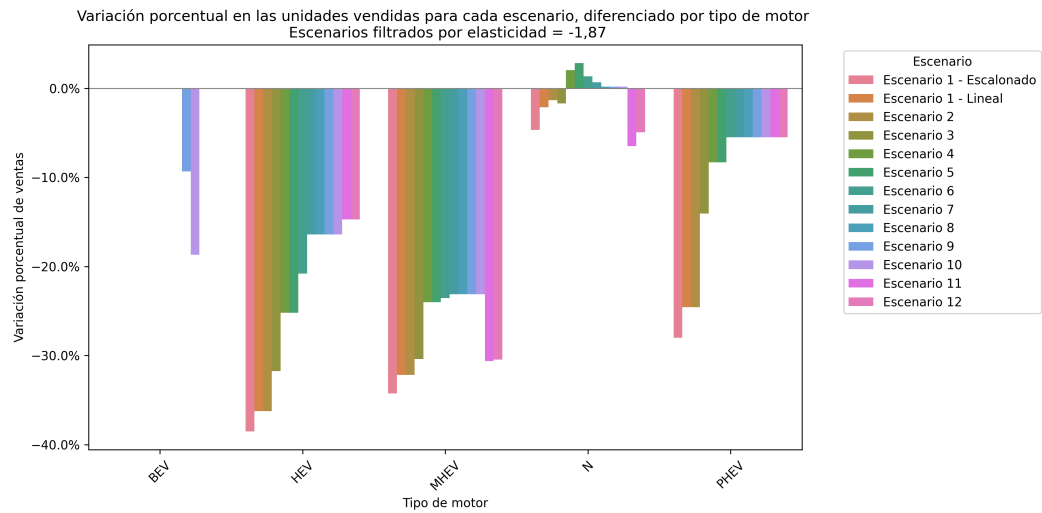
La Figura 4.5 muestra la comparación entre el total de unidades vendidas en el año base y en cada uno de los escenarios simulados. Si bien en algunos escenarios se observa una leve caída del volumen total de ventas, en otros se alcanza incluso un aumento, producto de reducciones en los precios de modelos con menos emisiones.



**Figura 4.5:** Ventas totales por escenario en relación al año sin intervención (año base). Escenarios filtrados por elasticidad =  $-1,87$ . Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.2. Variación de ventas por tipo de motorización

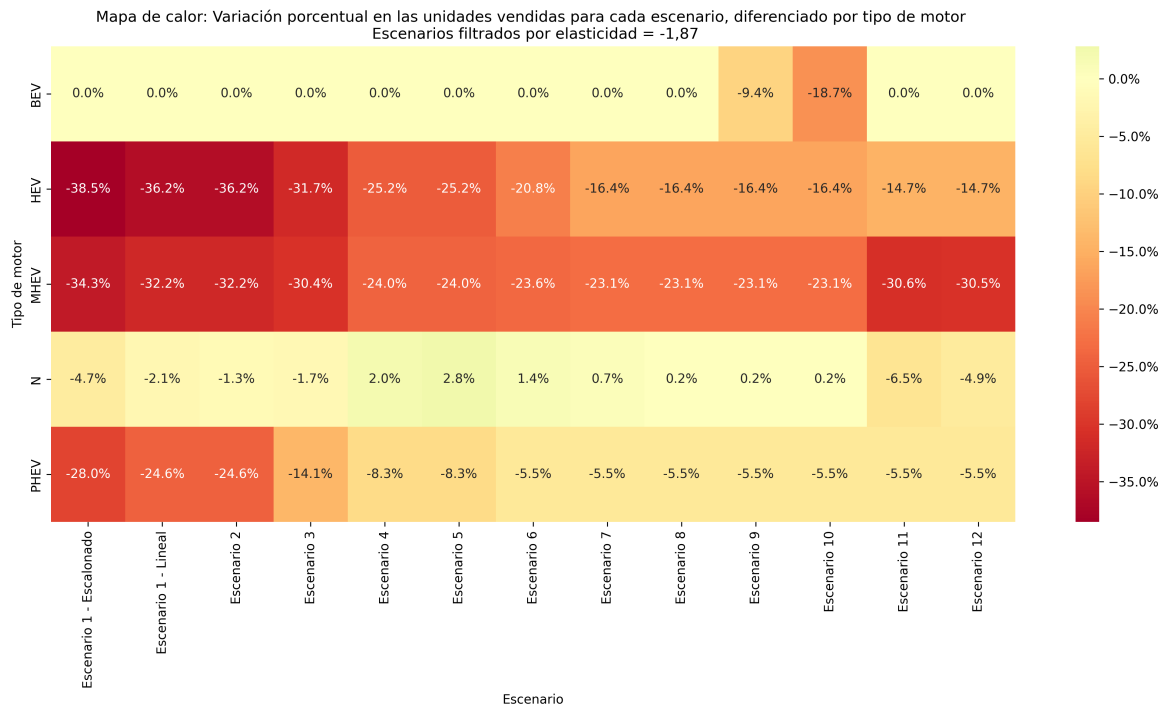
La Figura 4.6 muestra la variación porcentual en las ventas según tipo de motorización para cada escenario. Se destaca una caída significativa en las ventas de tecnologías híbridas (HEV, MHEV y PHEV), atribuida a incrementos en su precio relativo debido a los ajustes fiscales. En el caso de las motorizaciones convencionales tipo N, se observa un comportamiento mixto: mientras que algunos de los escenarios reflejan una caída en sus ventas totales, algunos presentan un aumento. Este efecto se debe a que, dependiendo de la función lineal, la reducción del precio (y aumento de demanda) para los vehículos N con menos emisiones compensa la caída en la demanda de los vehículos que presentan mas emisiones, generando un saldo neto positivo en unidades vendidas dentro de esta categoría.



**Figura 4.6:** Variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por tipo de motor. Escenarios filtrados por elasticidad = -1,87. Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.3. Mapa de calor: Variación de ventas por tipo de motorización

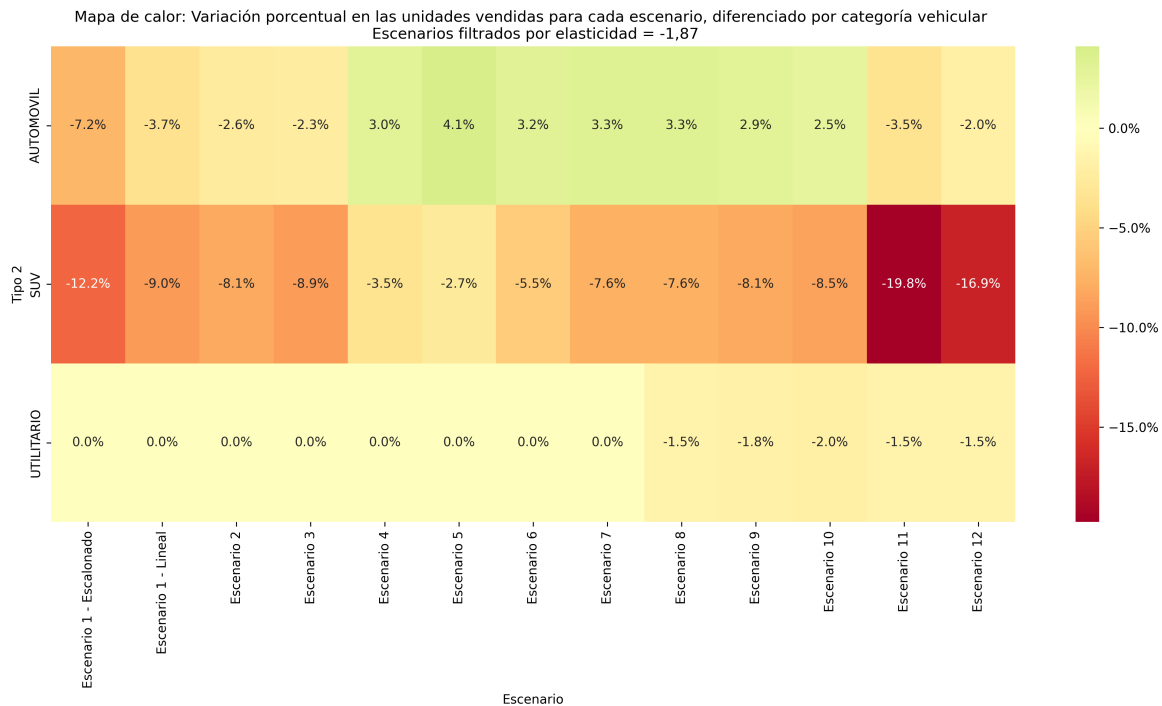
Para facilitar la interpretación de las tendencias por tecnología, la Figura 4.7 presenta la misma información que la Figura 4.6 en formato de mapa de calor. Esta visualización permite identificar fácilmente patrones y valores de respuesta ante los distintos esquemas de IMESI.



**Figura 4.7:** Mapa de calor: variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por tipo de motor. Escenarios filtrados por elasticidad =  $-1,87$ . Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.4. Variación de ventas por categoría vehicular (*Tipo 2*)

La Figura 4.8 muestra la variación de las ventas dentro de cada categoría de vehículos. Se destaca que, en la mayoría de los escenarios, la categoría SUV presenta una caída en sus ventas, mientras que los automóviles tienden a aumentar su participación. La categoría Utilitario, al no ser afectada por los cambios impositivos en la mayoría de los escenarios, muestra una variación nula.



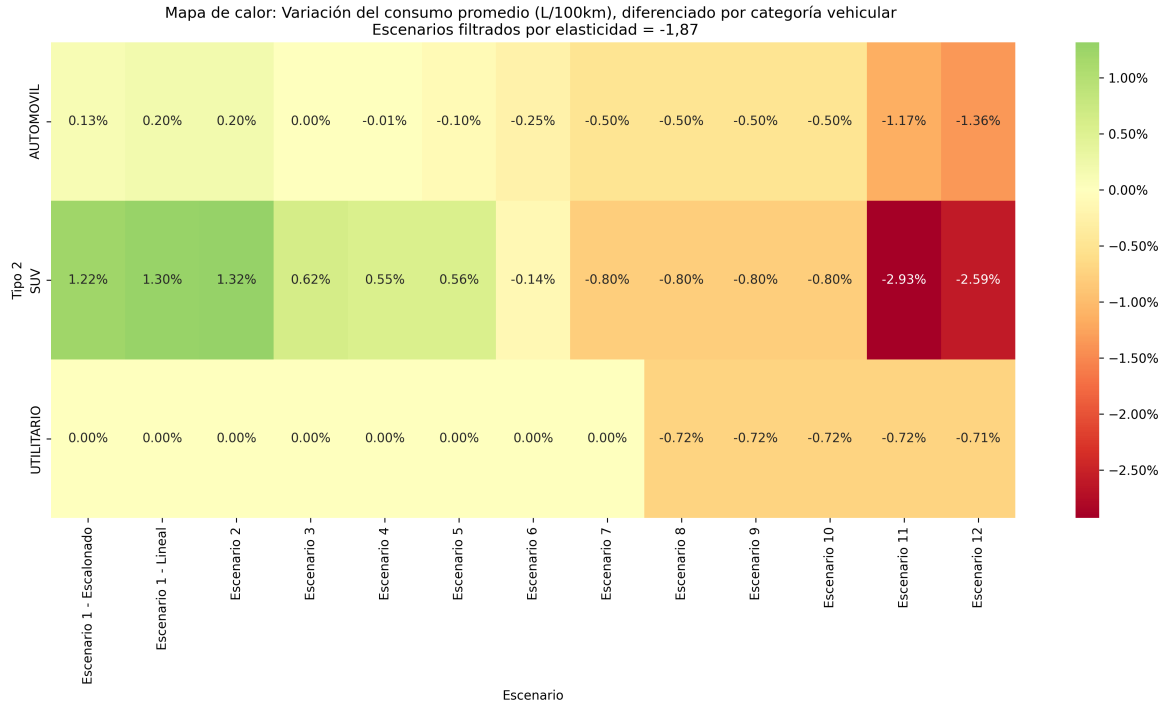
**Figura 4.8:** Mapa de calor: variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por categoría vehicular. Escenarios filtrados por elasticidad =  $-1,87$ . Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Variación en el consumo promedio del parque

Esta subsección evalúa cómo los distintos esquemas de IMESI afectan el consumo promedio del parque vehicular proyectado, medido en litros de combustible por cada 100 km recorridos (L/100 km). El consumo promedio se calcula a partir del consumo específico de cada modelo ponderado por las ventas proyectadas bajo cada escenario. Dado que el consumo específico de los modelos no varía, los cambios observados en el consumo promedio responden únicamente a modificaciones en la distribución relativa de las ventas inducidas por cada esquema fiscal. No se incluyen en este análisis los vehículos con motorización tipo D, dado que utilizan un combustible distinto (diésel) y no son afectados por las modificaciones impositivas propuestas (su tasa de IMESI se mantiene fija e igual a la actual [6] en todos los escenarios).

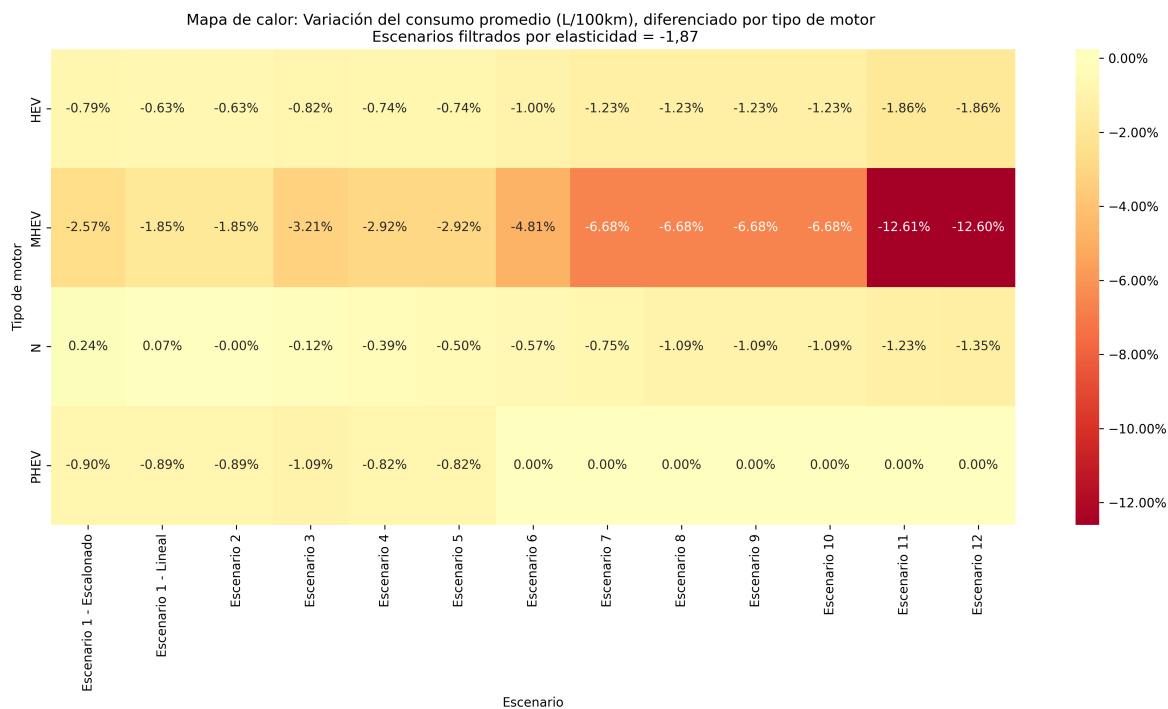
La Figura 4.9 presenta la variación del consumo promedio por categoría vehicular (*Tipo 2*: Automóvil, SUV, Utilitario) en relación al año base sin intervención. En los escenarios más exigentes (8 a 12) en términos de reducción de emisiones, se observan caídas en el consumo promedio de las tres categorías.

Este efecto se debe a una mayor penalización para los vehículos con mayores emisiones. Todos los promedios están ponderados por las ventas proyectadas en cada escenario. Se destaca que los escenarios 11 y 12 presentan los mayores niveles de exigencia impositiva en relación a las emisiones. La única diferencia entre ambos radica en el tratamiento de la elasticidad, ya que mientras que el escenario 11 considera una elasticidad fija, el escenario 12 incorpora una elasticidad variable por categoría de vehículo, lo que introduce un efecto adicional de ajuste en la composición de ventas dentro de la categoría. El funcionamiento de la elasticidad variable es explicado en la sección 3.5.3 del capítulo de metodología.



**Figura 4.9:** Mapa de calor: variación del consumo promedio (L/100km), diferenciado por categoría vehicular. Escenarios filtrados por elasticidad = -1,87. No se incluyen vehículos tipo D. Los promedios están ponderados por ventas. Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la Figura 4.10 muestra la variación del consumo promedio desagregado por tipo de motorización. En la mayoría de los tipos de motor se observa una reducción en el consumo, lo que sugiere que los esquemas fiscales propuestos tienden a orientar las ventas hacia modelos con menor consumo específico. Al igual que en la figura anterior, los promedios están ponderados por las ventas de vehículos.



**Figura 4.10:** Mapa de calor: variación del consumo promedio (L/100km), diferenciado por tipo de motorización. Escenarios filtrados por elasticidad = -1,87. No se incluyen vehículos tipo D. Los promedios están ponderados por ventas. Fuente: elaboración propia.

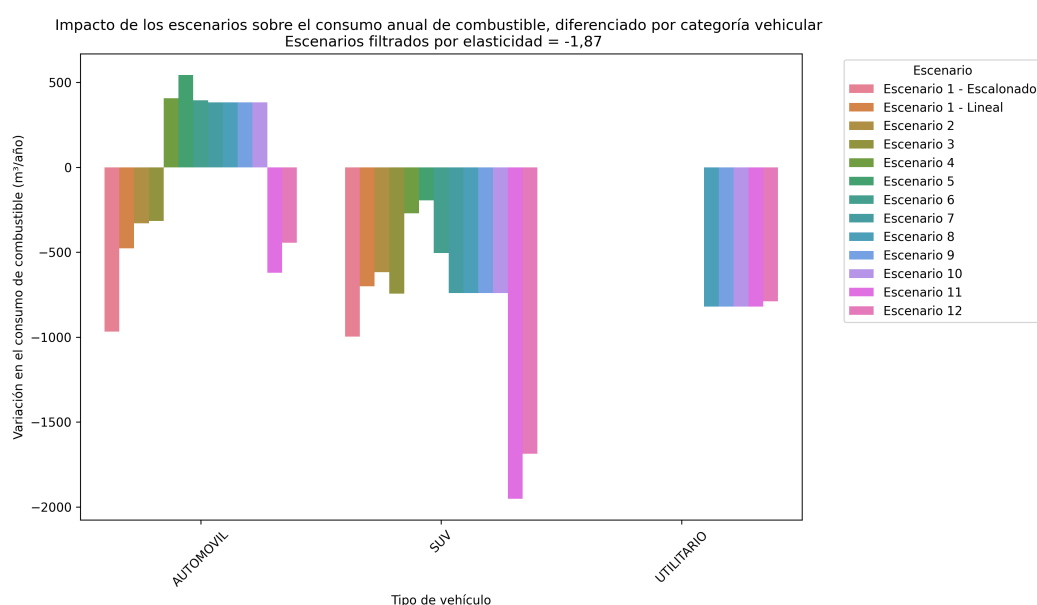
### 4.2.3. Variación en el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>

#### 4.2.3.1. Variación en el consumo de combustible

Esta subsección presenta el efecto de los distintos esquemas de IMESI sobre el consumo anual de combustible del parque vehicular proyectado. El análisis se basa en la diferencia entre el consumo total estimado para cada escenario y el consumo correspondiente al parque original del año 2023, sin intervención. El cálculo se realiza a partir de los kilómetros recorridos anualmente por tipo de vehículo, definidos como 10.252 km para automóviles y SUV, y 31.200 km para utilitarios, según datos del MIEM. La metodología empleada considera el número de unidades vendidas por categoría *Tipo 2* (Automóvil, SUV y Utilitario) y tipo de motor, así como su consumo específico, el cual se mantiene constante entre escenarios.

La Figura 4.11 muestra la diferencia en el consumo anual de combustible,

expresada en metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ), desagregada por categoría vehicular *Tipo* 2. Las barras están agrupadas por categoría y diferenciadas por escenario. Esta representación permite identificar qué segmentos del parque vehicular son más sensibles a los cambios fiscales y cuáles contribuyen en mayor medida a la disminución del consumo de combustible. Se observa que las mayores reducciones en el consumo se concentran en las categorías SUV y Utilitarios, mientras que en el caso de los Automóviles, varios escenarios muestran un aumento en el consumo anual.



**Figura 4.11:** Diferencia anual de consumo de combustible (en  $\text{m}^3$ ) por tipo de vehículo y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia.

La Figura 4.12 complementa el análisis anterior al mostrar la diferencia en el consumo anual por tipo de motorización, incluyendo motorizaciones convencionales y tecnologías híbridas (HEV, MHEV, PHEV). Esta visualización permite evaluar qué tecnologías contribuyen en mayor medida al ahorro de combustible bajo los distintos esquemas de IMESI. En la mayoría de los escenarios, se observa una reducción en el consumo asociado a las motorizaciones híbridas, atribuible a la disminución de su participación en el mercado. Esta caída en las ventas se explica porque, bajo los esquemas reformulados, los HEV y MHEV tienden a enfrentar aumentos en el IMESI. Esto se debe a que sus emisiones específicas suelen ser similares a las de vehículos convencionales eficientes (tipo N), lo que implica que, al aplicar un criterio uniforme basado en

emisiones, muchos modelos híbridos que actualmente tributan tasas reducidas pasan a enfrentar valores más altos, con la consecuente caída en ventas. A modo ilustrativo, se presentan dos pares de ejemplos contrapuestos que muestran cómo la reforma impositiva afecta de manera diferenciada a vehículos con motorizaciones distintas, pero con niveles de eficiencia similares. Ambos pares de ejemplos pertenecen a escenarios con elasticidad fija igual a  $-1,87$  (escenarios 4 y 11) <sup>1</sup>:

- Escenario 4:

*Vehículo con motorización MHEV*, emisiones de 97 gCO<sub>2</sub>/km. Actualmente tributa una tasa de IMESI del 7 %. Bajo el esquema reformulado, la nueva tasa asciende a 16,3 %, lo que implica un aumento en el precio de venta al público del 8,7 % y una caída estimada en las ventas del 16,3 %. *Vehículo con motorización N*, emisiones de 107 gCO<sub>2</sub>/km. Actualmente tributa una tasa de IMESI del 23 %, que se reduce a 18,2 % con el nuevo esquema. Esto genera una disminución en el precio del 3,9 % y un aumento en las ventas del 7,3 %.

- Escenario 11:

*Vehículo con motorización HEV*, emisiones de 101 gCO<sub>2</sub>/km. Actualmente tributa una tasa de IMESI del 3,45 %. En este escenario, la nueva tasa se incrementa a 10,46 %, lo que implica un aumento de precio del 6,78 % y una caída en ventas del 12,68 %.

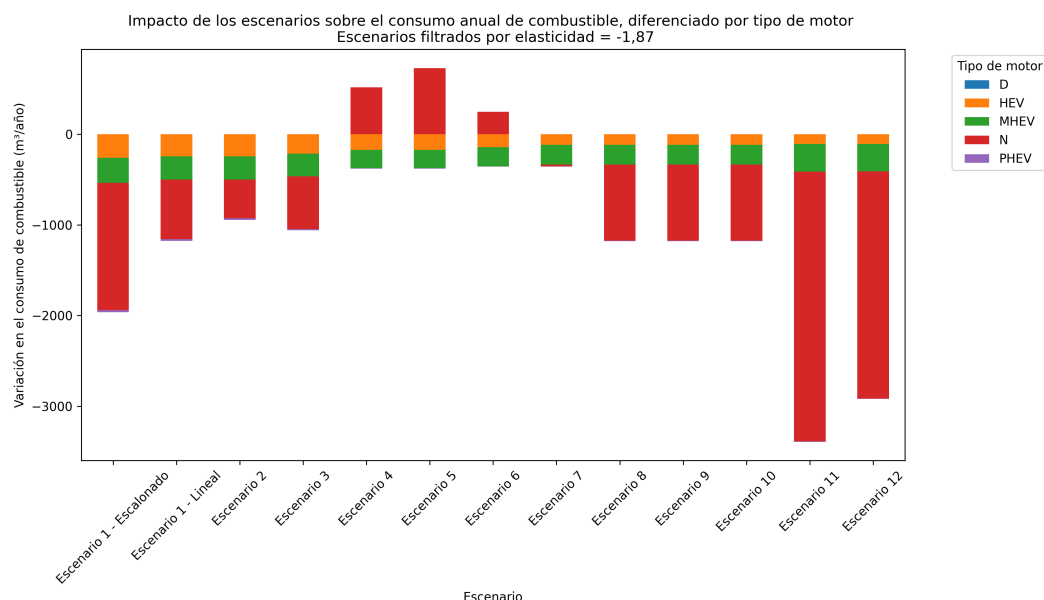
*Vehículo con motorización N*, emisiones de 97 gCO<sub>2</sub>/km. Su tasa actual de IMESI es del 23 %, que se reduce a 8,29 % bajo el nuevo esquema. Esta caída del 11,96 % en el precio se traduce en un aumento estimado de ventas del 22,37 %.

Este comportamiento responde al principio de aplicar un criterio uniforme a todas las motorizaciones en función de sus emisiones específicas, eliminando asimetrías fiscales que no se corresponden con el desempeño ambiental real de los vehículos. Si bien esto puede generar efectos adversos sobre ciertas tecnologías híbridas que gozaban de tratamientos impositivos preferenciales, el diseño propuesto mejora la señal ambiental del impuesto y promueve una competencia más justa basada en la eficiencia efectiva de cada modelo. Esta lógica se ve reforzada al observar la Figura 4.1, donde se muestran los rangos

---

<sup>1</sup>Se puede acceder a los datos de salida de cada escenario en las hojas del archivo *Salida Escenarios.xlsx*

de emisiones del parque vehicular según tipo de motorización.



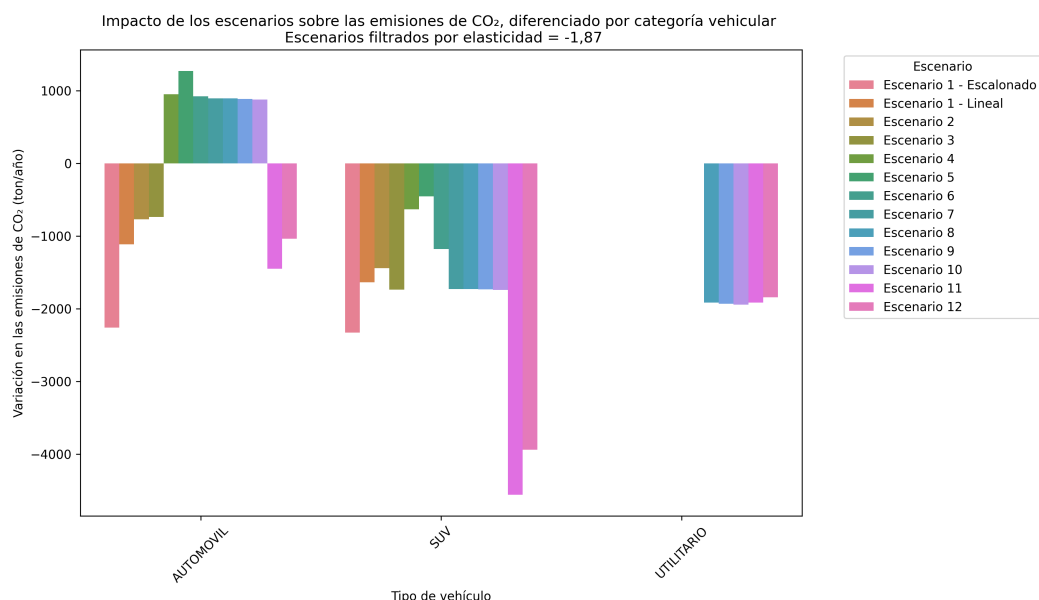
**Figura 4.12:** Diferencia anual de consumo de combustible (en  $\text{m}^3$ ) por tipo de motorización y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia.

A efectos de realizar una comparación con el consumo final de energía del sector transporte, las reducciones observadas en los escenarios 11 y 12 se ubican en el entorno de los  $3.000 \text{ m}^3$  de gasolina para automoción anual. Aplicando un factor de conversión de  $0,7774 \text{ tep/m}^3$  [42], esta reducción equivale a aproximadamente  $2.332 \text{ tep}$ . Si bien esto representa solo un  $0,16 \%$  del consumo total del sector transporte ( $1.403 \text{ ktep}$  en 2023, considerando tanto diésel como gasolina) [39], el indicador más relevante para este análisis es la reducción relativa al consumo específico de gasolina, que fue de  $617 \text{ ktep}$  en 2023. Bajo esta referencia, la reducción equivale a un  $0,38 \%$ . Cabe recordar que los vehículos con motorización diésel (D) no experimentan variaciones en ninguno de los escenarios analizados, ya que no se ven afectados por los esquemas impositivos propuestos. Adicionalmente, si se considera únicamente el consumo proyectado del parque vendido en el año base, este habría alcanzado aproximadamente  $57 \text{ m}^3$  de gasolina. Por tanto, la reducción absoluta de  $3,0 \text{ m}^3$  en los escenarios 11 y 12 representa aproximadamente un  $5,2 \%$  de mejora frente al escenario base.

#### 4.2.3.2. Variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>

Esta subsección presenta el efecto de los distintos esquemas de IMESI sobre las emisiones anuales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generadas por el parque vehicular proyectado. El cálculo de emisiones se basa en la diferencia entre cada escenario simulado y el parque base del año 2023 sin intervención, aplicando factores de emisión constantes por tipo de combustible. Al igual que en el análisis energético, las variaciones observadas surgen exclusivamente de la redistribución de las ventas, ya que tanto el consumo específico de los modelos como los factores de emisión permanecen constantes.

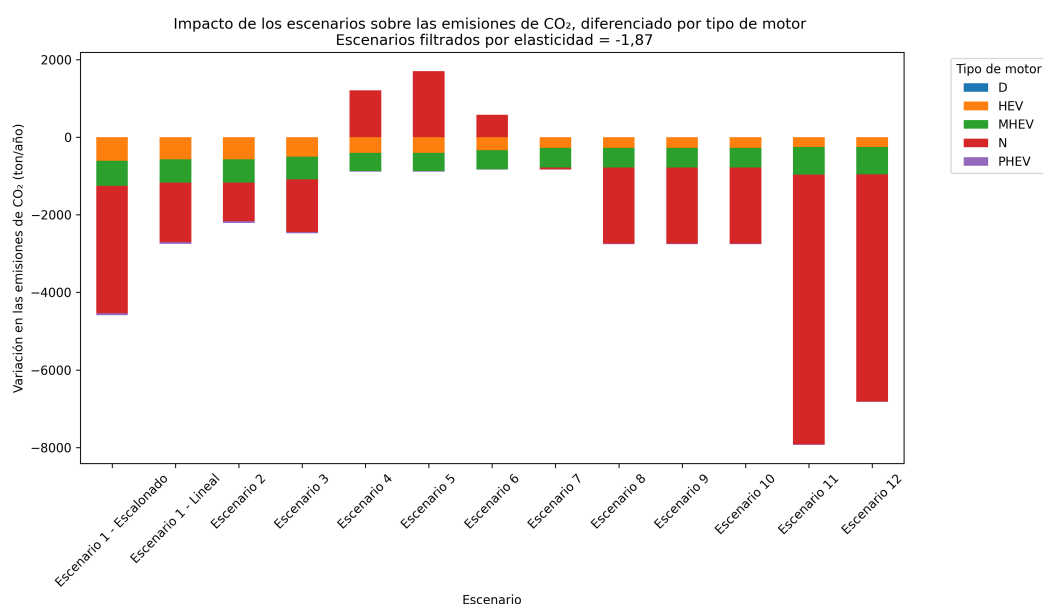
La Figura 4.13 muestra la diferencia en las emisiones de CO<sub>2</sub>, expresadas en toneladas por año, desagregada por categoría vehicular (*Tipo 2*: Automóvil, SUV y Utilitario). Las barras permiten comparar los distintos escenarios y evidenciar qué segmentos del parque aportan en mayor medida a la reducción de emisiones. Dado que las emisiones están directamente relacionadas con el consumo de combustible mediante factores de emisión fijos, el análisis de resultados es equivalente al presentado en la sección anterior.



**Figura 4.13:** Diferencia anual de emisiones de CO<sub>2</sub> (en toneladas) por tipo de vehículo y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia.

La Figura 4.14 muestra la diferencia en las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> entre el parque simulado en cada escenario y el parque base del año 2023, clasificadas

según el tipo de motorización. El gráfico permite analizar qué tecnologías generan mayores reducciones de emisiones bajo distintos esquemas impositivos. La motorización tipo D, por su parte, no presenta variaciones, ya que no se ve afectada por los cambios impositivos considerados en esta simulación.



**Figura 4.14:** Diferencia anual de emisiones de CO<sub>2</sub> (en toneladas) por tipo de motorización y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención. Fuente: elaboración propia.

A efectos de realizar una comparación con las emisiones totales del sector transporte, las reducciones de emisiones observadas en los escenarios 11 y 12 se ubican en el entorno de las 7.500 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>, equivalentes a 7,5 Gg. Si se considera que las emisiones del sector transporte representaron aproximadamente el 58 % de los 7.099 Gg emitidos por el sector energía en 2023 [39] (es decir, unos 4.117 Gg), la reducción lograda en un año por esquemas impositivos exigentes (11 y 12) equivale a un 0,18 % de dichas emisiones. Asimismo, si se toma como referencia el total de emisiones atribuibles al uso de gasolina, que alcanzaron aproximadamente los 1.700 Gg en 2023, la reducción representa aproximadamente un 0,44 %.

#### 4.2.4. Análisis de un escenario representativo con evaluación del efecto de distintas elasticidades

Esta subsección tiene como objetivo describir el funcionamiento de la herramienta de simulación mediante el análisis del Escenario 8, seleccionado por presentar tres características clave: (i) una baja afectación en el volumen total de ventas (varían un -0,9 % en total para la elasticidad de  $-1,87$ ), (ii) la inclusión de los tres tipos de vehículos definidos en la variable *Tipo 2* (Automóvil, SUV y Utilitario), todos sujetos a curvas de IMESI en función de las emisiones de CO<sub>2</sub> y (iii) mostró reducción del consumo promedio ponderado por ventas para las tres categorías, tal como se observa en la Figura 4.9. A partir de este caso, se realiza además una evaluación de sensibilidad considerando tres valores distintos de elasticidad-precio de la demanda:  $-1,37$ ,  $-1,87$  y  $-2,37$ . Este análisis permite ilustrar cómo varía la respuesta del mercado ante un mismo esquema fiscal dependiendo del nivel de sensibilidad de los consumidores a los cambios de precio, y cómo estas variaciones afectan los resultados energéticos y ambientales.

El procedimiento seguido por la herramienta de simulación se compone de los siguientes pasos:

1. Ajuste de tasas impositivas y precios de venta al público: se redefine la tasa de IMESI aplicable a cada modelo de vehículo según las reglas establecidas en el Escenario 8. En este caso, todos los tipos de vehículo definidos por la variable *Tipo 2* (Automóvil, SUV y Utilitario) son incluidos en el esquema de reformulación fiscal. La tasa impositiva se determina mediante una función lineal para los Automóviles y SUV, y otra específica para los Utilitarios. En ambos casos, se emplea como punto de referencia la media ponderada por ventas de las emisiones dentro de cada categoría, calculada a partir de los datos del parque vehicular 2023. Los valores y las funciones utilizadas se encuentran disponibles en la hoja *Datos CO<sub>2</sub> vs IMESI 2023* del archivo [Creación de escenarios.xlsx](#). La lógica completa de este diseño se detalla en la sección 3.3.3, y un resumen general de todos los escenarios simulados se presenta en la tabla 3.5 ubicada en el Anexo 2. A partir de la nueva tasa asignada, se calcula un precio de venta actualizado para cada modelo, incorporando el efecto del cambio en la carga tributaria.
2. Aplicación de elasticidades y redistribución de ventas: una vez ajustados

los precios de venta al público, se aplica una elasticidad-precio de la demanda para estimar el impacto del cambio de precios sobre las ventas proyectadas de cada modelo. La elasticidad mide la sensibilidad de la demanda ante variaciones en el precio: un valor negativo indica que, ante un aumento del precio, las ventas disminuyen, y viceversa. En este análisis se consideran tres valores de elasticidad con fines de sensibilidad:  $-1,37$  (baja sensibilidad),  $-1,87$  (valor base adoptado en la tesis) y  $-2,37$  (alta sensibilidad). A modo de ejemplo, una elasticidad de  $-1,37$  implica que un incremento del 10 % en el precio de un modelo generaría una reducción aproximada del 13,7 % en sus ventas proyectadas. De forma análoga, una elasticidad de  $-2,37$  implicaría que la misma variación de precio provocaría una caída del 23,7 % en las ventas. Este paso permite estimar la nueva distribución del mercado bajo cada escenario, afectando tanto el volumen total de unidades vendidas como su composición por tipo de motor y categoría vehicular.

3. Cálculos energéticos y de emisiones de CO<sub>2</sub>: a partir de las ventas proyectadas para cada escenario y valor de elasticidad, la herramienta realiza una estimación detallada del desempeño energético y ambiental del parque vehicular simulado. Se calculan el consumo total de combustible (en litros, metros cúbicos y Tonelada Equivalente de Petróleo (tep)) y las emisiones totales de CO<sub>2</sub> (en toneladas), desagregadas por tipo de motorización y categoría vehicular. Estos resultados se obtienen combinando el consumo específico constante de cada modelo con su kilometraje anual promedio estimado (10.252 km para automóviles y SUV, y 31.200 km para utilitarios, según datos del MIEM<sup>1</sup>), utilizando factores de conversión de energía y emisiones validados por fuentes oficiales. Es importante destacar que, aunque el consumo específico de los modelos permanece constante a lo largo de todos los escenarios, el consumo total y las emisiones presentan variaciones debido a los cambios observados en el consumo promedio ponderado. Estos cambios se explican exclusivamente por la redistribución de las ventas inducida por el nuevo esquema impositivo. Para un desglose completo de las variables calculadas y las fórmulas utilizadas, se recomienda consultar la hoja *Análisis Energético* del archivo de salida ([Salida Escenarios.xlsx](#)), cuya estructura y contenido se detallan en las secciones 1.3.6 y 1.3.7 de este documento.

---

<sup>1</sup>La herramienta permite modificar estos valores

4. Resultados del Escenario 8 con distintas elasticidades:

La tabla 4.1 resume los principales resultados obtenidos para el Escenario 8 bajo distintos valores de elasticidad-precio de la demanda. Se incluyen indicadores de variación relativa y valores absolutos para el consumo total de combustible, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo promedio ponderado del parque. Estos resultados permiten visualizar cómo la sensibilidad de los consumidores ante variaciones de precio impacta sobre los resultados energéticos y ambientales del escenario.

**Tabla 4.1:** Resultados del Escenario 8 bajo distintos valores de elasticidad-precio (-1,37, -1,87 y -2,37) de la demanda, desagregados por categoría vehicular (Tipo 2). Todas las variaciones reflejan el cambio anual observado en el Escenario 8 en relación con el año base sin intervención. No se incluyen vehículos tipo D.

| Indicador                                 | Categoría (Tipo 2) | -1,37        | -1,87        | -2,37        |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| Variación ventas (%)                      | Automóvil          | 2,5          | 3,4          | 4,4          |
|                                           | SUV                | -5,9         | -8,0         | -10,1        |
|                                           | Utilitario         | -1,2         | -1,6         | -2,0         |
|                                           | <b>Total</b>       | <b>-0,7</b>  | <b>-1,0</b>  | <b>-1,2</b>  |
| Variación del consumo promedio (L/100km)  | Automóvil          | -0,37        | -0,5         | -0,62        |
|                                           | SUV                | -0,58        | -0,8         | -1,04        |
|                                           | Utilitario         | -0,53        | -0,72        | -0,92        |
|                                           | <b>Total</b>       | <b>-0,68</b> | <b>-0,92</b> | <b>-1,17</b> |
| Variación consumo (m <sup>3</sup> )       | Automóvil          | 280          | 382          | 484          |
|                                           | SUV                | -542         | -740         | -938         |
|                                           | Utilitario         | -601         | -820         | -1040        |
|                                           | <b>Total</b>       | <b>-863</b>  | <b>-1178</b> | <b>-1494</b> |
| Variación emisiones CO <sub>2</sub> (ton) | Automóvil          | 654          | 893          | 1132         |
|                                           | SUV                | -1267        | -1729        | -2191        |
|                                           | Utilitario         | -1406        | -1918        | -2431        |
|                                           | <b>Total</b>       | <b>-2019</b> | <b>-2754</b> | <b>-3490</b> |

La comparación entre estos tres niveles de elasticidad permite extraer conclusiones sobre cómo la sensibilidad de la demanda afecta la efectividad potencial de los esquemas fiscales propuestos para reducir las emisiones vehiculares. En particular, es posible evaluar en qué medida los resultados energéticos y ambientales esperados podrían variar si las reacciones de los consumidores difieren de las estimaciones iniciales adoptadas en la tesis.

#### 4.2.5. Análisis general de los resultados

Dado que las emisiones de CO<sub>2</sub> están directamente relacionadas con el consumo de combustible mediante factores de emisión constantes por tipo de combustible, la forma de los gráficos es idéntica, por lo que se presentan conclusiones integradas para ambas variables (m<sup>3</sup> y CO<sub>2</sub>).

- Cabe señalar que, si bien el Escenario 8 fue seleccionado como ejemplo representativo por su equilibrio en los impactos, los Escenarios 11 y 12 se destacaron como los más efectivos en términos de desempeño energético y ambiental. Ambos presentaron las mayores reducciones tanto en el consumo promedio ponderado por ventas como en el consumo total de combustible fósil y emisiones de CO<sub>2</sub>, considerando todos los tipos de vehículos. Estos resultados reflejan el impacto adicional de aplicar esquemas fiscales más exigentes.
- El uso de elasticidad variable en los escenarios 2 y 5 (análogos a los escenarios 1 y 4, respectivamente) genera un mayor volumen de ventas en comparación con sus escenarios equivalentes con elasticidad fija. En particular, las ventas son superiores en el escenario 2 respecto al 1 (lineal), y en el escenario 5 respecto al 4 (ver Figura 4.5). Este resultado indica que la incorporación de un comportamiento más realista por parte del consumidor reduce el impacto de los incentivos fiscales sobre la reducción de ventas. Lo mismo se observa al comparar el escenario 12 con el 11, donde la única diferencia es la aplicación de una elasticidad variable, lo que nuevamente conduce a un mayor volumen de ventas totales bajo el mismo esquema fiscal.
- A partir del escenario 4 en adelante, donde se introduce la media ponderada por ventas como dato de referencia para la asignación de tasas de IMESI, se observa una tendencia clara: incremento en el consumo (Figura 4.11) y emisiones (Figura 4.13) de los vehículos tipo automóvil y disminución en los SUV. Esto implica que la elección de los datos de referencia (promedio, mediana, ponderación por ventas, etc.) resulta ser un aspecto central en el diseño de los esquemas, ya que influye significativamente en la respuesta del parque automotor.
- El análisis por tipo de motorización en la Figura 4.12 muestra que en los escenarios 4 y 5 se registra un consumo neto positivo. En este caso, la disminución en el consumo de los vehículos con tipo de motor MHEV

y HEV no llega a compensar el aumento de consumo en los vehículos con motorización N. Este resultado se ve influido por una recomposición de las ventas: si bien las ventas de SUV caen ligeramente (-3,5 % en el escenario 4 y -2,7 % en el 5), los automóviles experimentan un aumento (3 % y 4,1 %, respectivamente), lo que contribuye a un incremento en el consumo total. Además, el consumo promedio de los SUV aumenta en ambos escenarios, lo que agrava el efecto neto. Este resultado subraya, al igual que en el punto anterior, la sensibilidad del esquema a los puntos de referencia utilizados en la función lineal.

- Los utilitarios no presentan variaciones en la mayoría de los escenarios, dado que solo los últimos escenarios (8 a 12) ajustan sus tasas de IMESI. En los escenarios 9 y 10 se busca analizar específicamente el impacto de eliminar la exoneración total a los vehículos eléctricos, manteniendo constante el resto de los parámetros metodológicos (datos de referencia y elasticidades) del escenario 8. Los escenarios del 8 al 12 tienen un impacto ambiental total (considerando automóviles, SUV y utilitarios) positivo, reduciendo el consumo [4.12](#) y por lo tanto las emisiones [4.14](#).
- El análisis de sensibilidad desarrollado para el escenario 8 enfatiza la importancia de estimar correctamente la elasticidad-precio de la demanda. La mayor sensibilidad (-2,37) incrementa notablemente las reducciones potenciales en consumo y emisiones frente a escenarios de baja sensibilidad (-1,37). Esto implica que la efectividad real de los instrumentos fiscales dependerá sustancialmente del comportamiento real de los consumidores ante variaciones en precios, siendo crucial una evaluación empírica precisa de esta variable.
- La Figura [4.9](#) destaca el rol central del consumo promedio ponderado por ventas como indicador de eficiencia del parque vehicular. En particular, el escenario 11 alcanza la mayor reducción de consumo promedio en la categoría SUV, mientras que el escenario 12, que aplica la misma relación lineal pero incorpora elasticidad variable, registra la mayor reducción de consumo promedio en automóviles. Este resultado subraya la utilidad de este indicador para evaluar el impacto de las reformas fiscales sobre el consumo y, en consecuencia, sobre las emisiones. No obstante, es importante señalar que este no es el único indicador relevante. Al observar la Figura [4.8](#), que muestra la variación porcentual de las unidades vendidas por categoría, se advierte que en el escenario 8 las ventas de SUV

disminuyeron un 7,6 %, las de utilitarios un 1,5 %, mientras que las de automóviles aumentaron un 3,3 %. Esto implicó, mas allá de que hubo una disminución en el consumo ponderado, un aumento del consumo anual dentro del segmento de automóviles, como se puede observar en la Figura 4.11. Sin embargo, al considerar el total agregado de las tres categorías, el consumo anual muestra una reducción neta como se muestra en la Figura 4.12, que separa el consumo agregado de cada escenario por tipo de motor. Este contraste pone de manifiesto la importancia de analizar en conjunto los distintos parámetros evaluados, evitando conclusiones parciales basadas en un único indicador.

- Debido a que solo existe un escenario escalonado (Escalonado Escenario 1), no es posible realizar una comparación efectiva con los escenarios lineales. Por lo tanto, se recomienda interpretar estos resultados de manera independiente, siendo necesario ampliar este tipo de escenarios en futuros análisis para obtener conclusiones más robustas.

### 4.3. Resultados de simulación - Resumen Escenarios

Esta sección complementa el análisis energético y ambiental presentado previamente, incorporando una mirada sobre los impactos fiscales y comerciales de los distintos esquemas de IMESI. En particular, se evalúa cómo varían los ingresos por concepto de IMESI generados por la nueva distribución de ventas de vehículos en cada escenario.

Los resultados se basan en la hoja *Resumen Escenarios* del archivo de simulación y, al igual que en la sección 4.2, fueron filtrados para mostrar únicamente los escenarios simulados bajo una elasticidad-precio de la demanda igual a  $-1,87$ , adoptada como valor base para esta tesis.

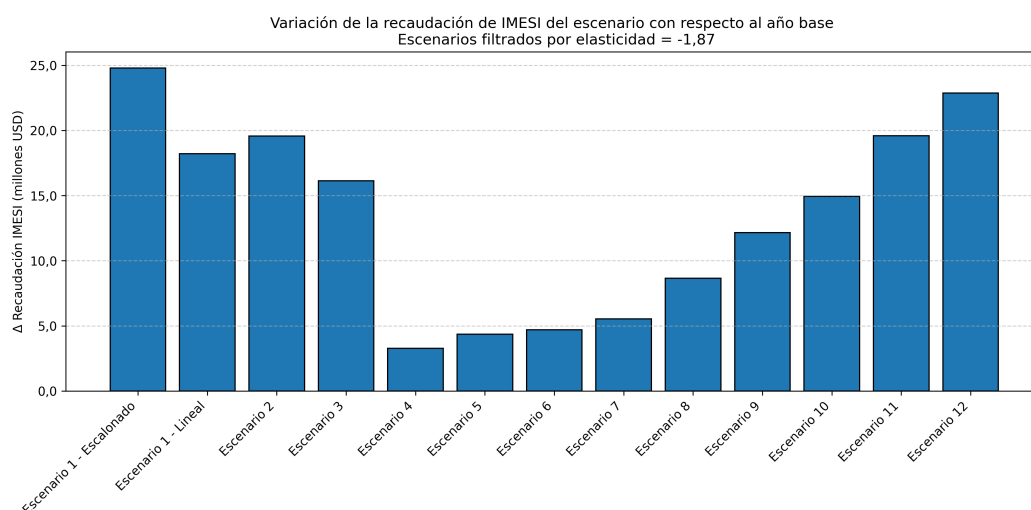
Los tres gráficos presentados en esta sección permiten observar los principales efectos fiscales y de mercado generados por cada escenario:

- La Figura 4.15 muestra la variación absoluta en la recaudación total de IMESI, en millones de dólares, para cada escenario respecto al año base.
- La Figura 4.16 analiza la variación en la recaudación promedio por unidad vendida (en USD/unidad).

- Por último, la Figura 4.17 desagrega la diferencia en las unidades vendidas respecto al año base, diferenciando entre vehículos eléctricos puros (BEV) y el resto de las tecnologías.

### 4.3.1. Variación absoluta en la recaudación total de IMESI

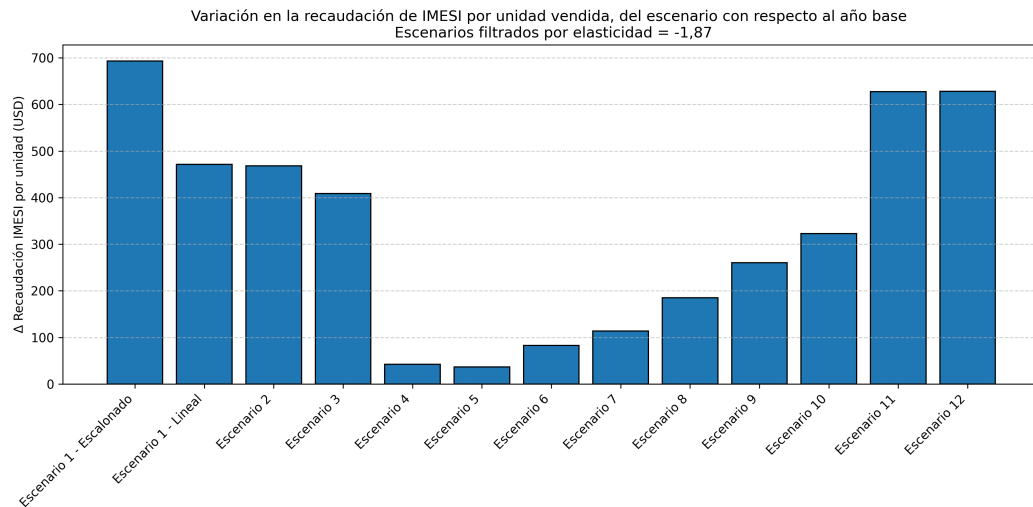
Esta subsección presenta el efecto agregado de cada escenario sobre la recaudación fiscal total. La Figura 4.15 muestra la diferencia absoluta en millones de dólares respecto al año base 2023. Se observa que todos los escenarios generan un aumento en la recaudación, aunque con magnitudes diferentes según el diseño del esquema fiscal aplicado.



**Figura 4.15:** Variación absoluta en la recaudación de IMESI (en millones USD) del escenario respecto al año base. Escenarios filtrados por elasticidad =  $-1,87$ . Fuente: elaboración propia.

### 4.3.2. Variación en la recaudación de IMESI por unidad vendida

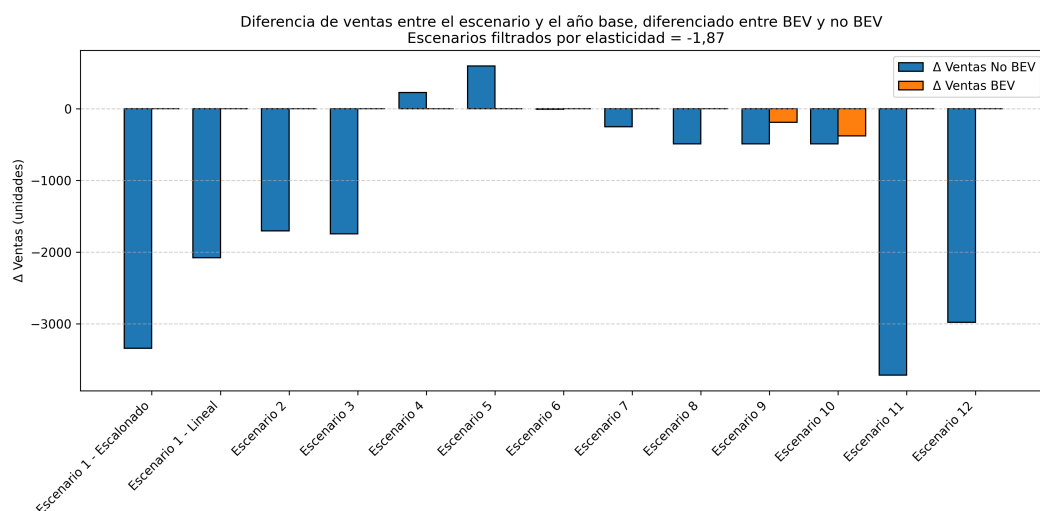
La Figura 4.16 permite observar el impacto promedio por vehículo vendido, calculado como el cociente entre la recaudación total y el número de unidades vendidas en cada escenario. Este parámetro es útil para identificar si los cambios impositivos suponen una mayor carga fiscal individual por vehículo, incluso cuando el volumen de ventas varía.



**Figura 4.16:** Variación de la recaudación de IMESI por unidad vendida (USD/unidad) del escenario respecto al año base. Escenarios filtrados por elasticidad =  $-1,87$ . Fuente: elaboración propia.

### 4.3.3. Diferencia en las ventas entre BEV y no BEV

La Figura 4.17 muestra la diferencia absoluta en el número de unidades vendidas para cada escenario, comparado con el año base. Las barras están desagregadas por tipo de motorización (BEV y no BEV).



**Figura 4.17:** Diferencia absoluta en las unidades vendidas (BEV y no BEV) respecto al año base. Escenarios filtrados por elasticidad =  $-1,87$ . Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.4. Análisis general de los resultados

- Todos los escenarios analizados presentan un aumento en la recaudación de IMESI (Figura 4.15), explicado principalmente por una mayor recaudación por unidad vendida (Figura 4.16) y no por un incremento en el volumen total de ventas. De hecho, como se observa en la Figura 4.5, en la mayoría de los escenarios las ventas disminuyen respecto al año base.
- Los únicos escenarios en los que los vehículos eléctricos puros (BEV) se ven afectados son el Escenario 9 y el Escenario 10, en los que se les asigna una tasa fija de IMESI del 5 % y 10 %, respectivamente. Esto se refleja con claridad en la Figura 4.17, donde se evidencia una disminución en las ventas de BEV bajo dichos esquemas.
- Como ya se menciona en la sección 4.2.5, en la Figura 4.17 se observa que el uso de elasticidad variable en los Escenarios 2 y 5 (análogos a los Escenarios 1 y 4, respectivamente) genera un mayor volumen de ventas en comparación con sus escenarios equivalentes con elasticidad fija. En particular, las ventas son superiores en el Escenario 2 respecto al 1 (lineal) y en el Escenario 5 respecto al 4. Lo mismo se observa al comparar el escenario 12 con el 11, donde la única diferencia es la aplicación de una elasticidad variable, lo que nuevamente conduce a un mayor volumen de ventas totales bajo el mismo esquema fiscal.
- Se destaca que el Escenario 11 presenta la mayor reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> entre todos los escenarios analizados (Figura 4.14), combinando este impacto ambiental positivo con un incremento en la recaudación por concepto de IMESI de aproximadamente 20 millones de USD (Figura 4.15). En dicho escenario, como muestra la Figura 4.8, se observan disminuciones en las ventas de SUV (-19,8 %), automóviles (-3,5 %) y utilitarios (-1,5 %). En términos absolutos, la reducción de ventas para este escenario y elasticidad alcanza las 3.716 unidades.

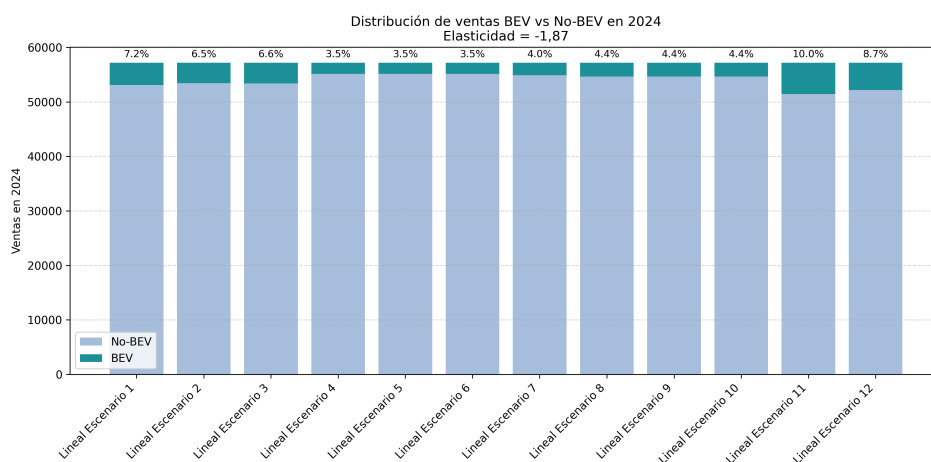
#### 4.4. Resultados de la proyección

Esta sección presenta los resultados obtenidos a partir de la proyección desarrollada sobre la base de los escenarios simulados. Tal como se detalló en la sección 3.4, el análisis considera tres trayectorias alternativas de electrificación del parque vehicular: pesimista, tendencial y acelerada, cada una definida

por distintos supuestos de crecimiento anual en la participación de vehículos eléctricos puros (BEV) dentro del total de ventas de vehículos 0 km.

El año 2024 representa el punto de partida de las proyecciones, y su composición inicial de ventas varía según el escenario fiscal simulado. Esta variación se debe a que, en la etapa de simulación, las ventas originales del año base (2023) se ajustan mediante un modelo que combina cambios en el precio (por modificaciones en el IMESI) y elasticidad-precio de la demanda. Bajo el supuesto de mantener las ventas constantes durante la proyección, las ventas reducidas resultantes se completan con vehículos BEV, suponiendo la sustitución hacia modelos más eficientes con menor carga impositiva. Este supuesto resulta consistente con la lógica del modelo, ya que ante un aumento relativo en la carga fiscal aplicada a tecnologías convencionales e híbridas, es esperable que los consumidores busquen alternativas que enfrenten una menor presión tributaria.

La Figura 4.18 muestra esta composición inicial de ventas BEV y No-BEV en 2024, que luego sirve como base para la proyección de participación futura.

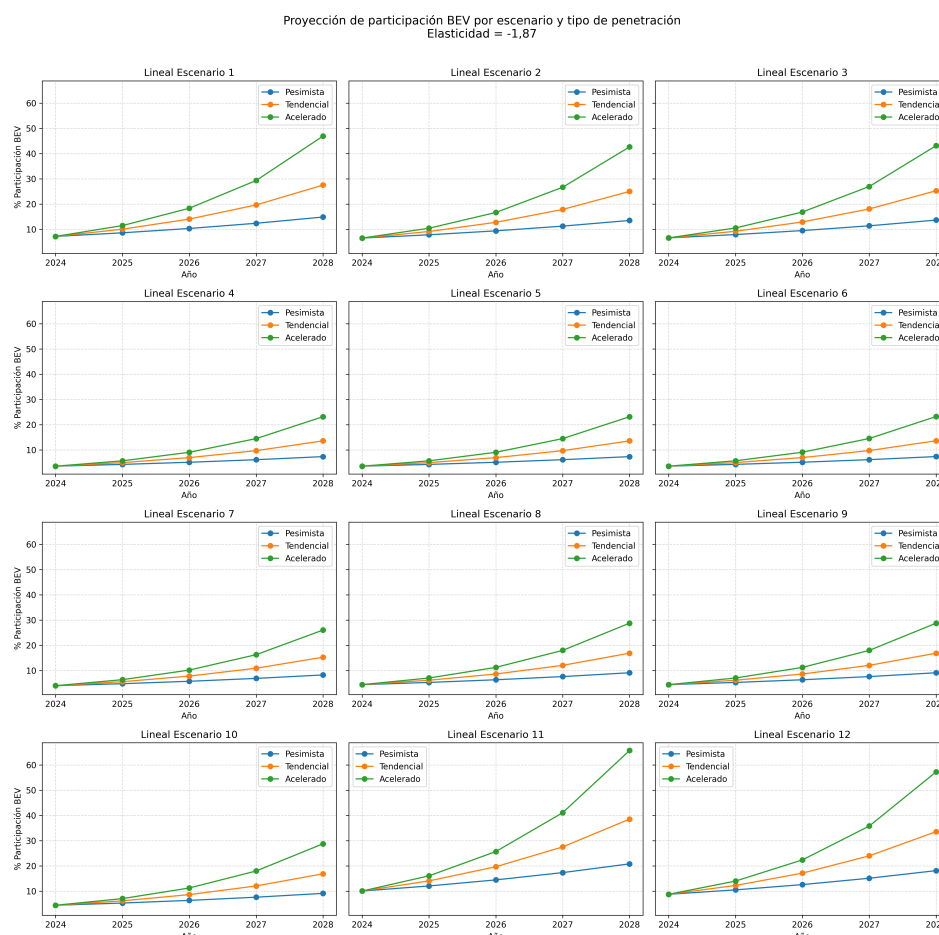


**Figura 4.18:** Distribución de ventas de vehículos BEV y No-BEV en el año 2024 para los escenarios simulados con elasticidad-precio -1,87. Cada barra representa la composición de ventas para un escenario, manteniéndose constante el total anual (57.183 unidades). Fuente: elaboración propia.

A partir de estas participaciones iniciales, se aplican factores de crecimiento acumulativo para cada trayectoria: 20 %, 40 % y 60 % anual en la participación de BEV para los escenarios pesimista, tendencial y acelerado, respectivamente. Esto implica que la evolución proyectada de BEV es única para cada combinación de escenario fiscal y tipo de penetración. La Figura 4.19 ilustra esta

evolución proyectada para el período 2024–2028.

A modo de ejemplo, en el escenario 11, la participación inicial de BEV en el año 2024 es del 10 %. Si se aplica el crecimiento acumulativo correspondiente al escenario pesimista (20 % anual), la proyección resulta en una participación de 12 % en 2025, 14,4 % en 2026, 17,3 % en 2027 y 20,7 % en 2028. Es decir, cada año la participación se incrementa un 20 % respecto al valor alcanzado el año anterior.



**Figura 4.19:** Evolución de la participación de BEV (%) en las ventas de vehículos 0 km para doce escenarios y tres trayectorias de electrificación: pesimista, tendencial y acelerado. Dado que se emplean factores de crecimiento acumulativo diferentes para cada trayectoria y que las participaciones iniciales de BEV son únicas para cada uno de los doce escenarios, se obtienen gráficos de proyección distintos para cada uno de ellos. Fuente: elaboración propia.

Tal como se detalló en la sección 3.4, el período seleccionado para la proyección (2024–2028) no debe interpretarse como una predicción cronológica estricta, sino como un horizonte de análisis para observar la evolución teórica

de los impactos de cada esquema fiscal. A continuación, se presentan los principales resultados de la proyección, estructurados en diferentes subsecciones con el objetivo de facilitar su análisis comparativo:

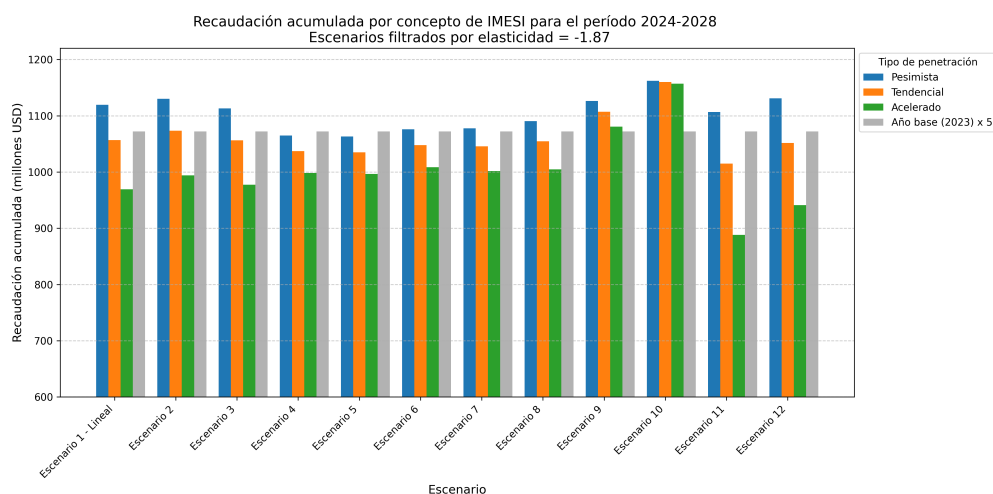
1. **Recaudación acumulada por IMESI (4.4.1):** analiza la evolución de la recaudación fiscal generada por concepto de IMESI durante el período de análisis.
2. **Variación anual respecto al año base (4.4.2):** muestra cómo varía anualmente la recaudación de IMESI frente al año base 2023, identificando escenarios donde se superan, igualan o disminuyen los ingresos fiscales.
3. **Consumo energético acumulado de vehículos eléctricos (4.4.3):** presenta el consumo proyectado de energía eléctrica de los vehículos BEV a lo largo del período de análisis, distinguiendo el impacto de los distintos niveles de penetración tecnológica.
4. **Consumo energético sin considerar vehículos eléctricos (4.4.4):** evalúa el consumo de energía en el parque vehicular sin considerar los BEV.
5. **Consumo energético total (4.4.5):** integra los consumos de todas las tecnologías de motorización para reflejar la demanda energética acumulada proyectada.
6. **Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> (4.4.6):** cuantifica las emisiones totales proyectadas del parque vehicular, bajo distintos escenarios fiscales y de penetración de BEV.

Cada subsección detalla los resultados en función del escenario fiscal simulado y la trayectoria de electrificación adoptada. Todos los resultados fueron filtrados para mostrar únicamente los escenarios simulados bajo una elasticidad-precio de la demanda igual a  $-1,87$ .

#### 4.4.1. Recaudación acumulada por IMESI

La Figura 4.20 muestra la recaudación acumulada por concepto de IMESI durante el período 2024-2028, para cada escenario fiscal analizado (filtrados por elasticidad =  $-1,87$ ) y considerando las tres trayectorias de electrificación. Se observa que bajo la proyección pesimista, prácticamente todos los escenarios presentan un incremento en la recaudación con respecto al año base,

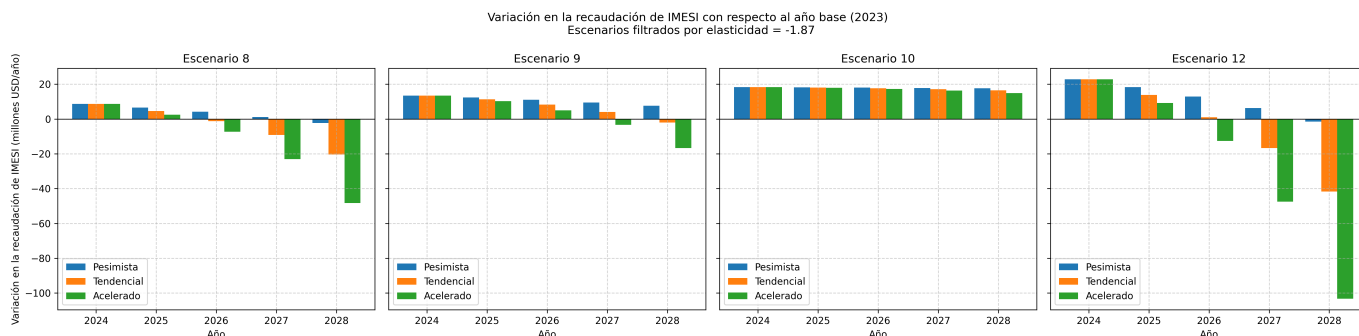
siendo los escenarios 9 y 10 los que alcanzan los valores más altos, debido a la incorporación de tasas fijas de IMESI de 5 % y 10 % respectivamente, para vehículos eléctricos. Asimismo se observa que en la proyección tendencial, la recaudación total en comparación con la situación base, pasa a ser menor en casi todos los escenarios. Finalmente, solo los escenarios 9 y 10 logran mantener una recaudación mayor con respecto al año base para todas las trayectorias de penetración de BEV.



**Figura 4.20:** Recaudación acumulada por concepto de IMESI en el período 2024–2028, para cada escenario y trayectoria de electrificación. Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Variación anual de la recaudación de IMESI respecto al año base (2023)

La Figura 4.21 muestra la variación anual en la recaudación por concepto de IMESI en relación con el año base (2023), de esta forma es posible visualizar bajo que situaciones la recaudación aumenta, se mantiene constante o disminuye con respecto al año base.



**Figura 4.21:** Variación anual en la recaudación de IMESI con respecto al año base 2023 (línea horizontal = 0), para los Escenarios 8, 9, 10 y 12 bajo tres trayectorias de penetración de BEV (pesimista, tendencial y acelerada). Fuente: elaboración propia.

Se presentan los resultados para los Escenarios 8, 9, 10 y 12. Para cada uno se grafican las diferencias anuales en millones de USD, distinguiendo entre tres trayectorias posibles de penetración de vehículos eléctricos: pesimista, tendencial y acelerada.

Se puede observar que el Escenario 10 es el único que logra mantener una recaudación positiva con respecto al año 2023 para todas las trayectorias de electrificación, mientras que el Escenario 9 solo alcanza dicho resultado bajo la proyección pesimista de incorporación de BEV.

En el caso de los Escenarios 8 y 12, ambos mantienen una tasa de IMESI del 0% para los BEV. Sin embargo, el Escenario 8 presenta una pérdida de recaudación más atenuada en comparación con el Escenario 12. Esta diferencia se explica por el mayor grado de exigencia impositiva aplicado a los vehículos de mayores emisiones en el Escenario 12, lo que acelera la penetración de vehículos eléctricos. Cabe destacar, además, que en las etapas iniciales del período analizado, el Escenario 12 presenta una recaudación superior a la del Escenario 8, precisamente debido a la mayor carga fiscal aplicada a los modelos convencionales e híbridos.

#### 4.4.3. Consumo energético acumulado de vehículos eléctricos

La Figura 4.22 y la Figura 4.23 presentan el consumo energético acumulado durante el período 2024 - 2028 considerando únicamente los vehículos eléctricos puros (BEV), para los doce escenarios fiscales definidos y los tres tipos de penetración tecnológica evaluados (Pesimista, Tendencial y Acelerado). En

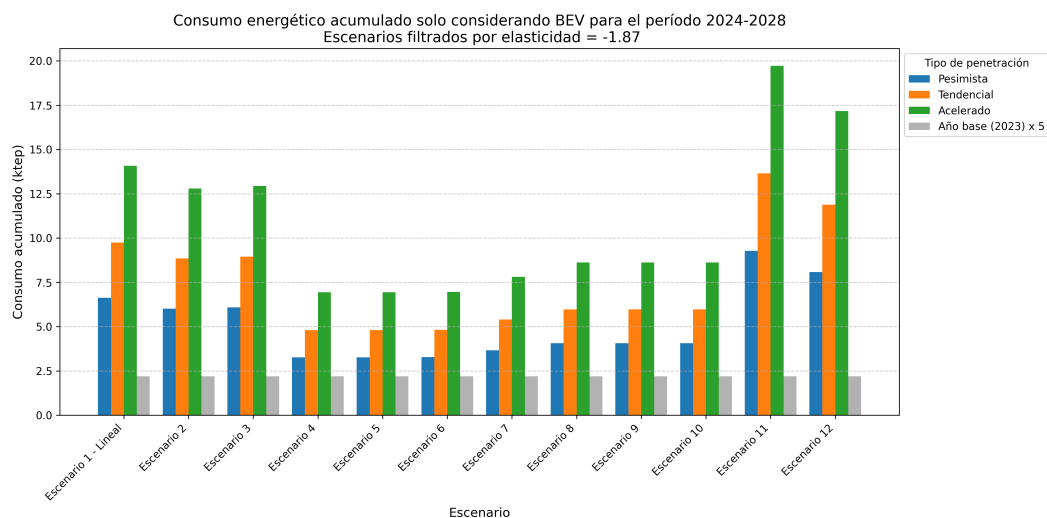
ambas figuras se incluye como referencia el valor de consumo resultante de mantener constante el parque vehicular BEV del año base (2023) durante los cinco años del período de análisis.

La Figura 4.22 muestra los resultados en unidades de miles de tep, mientras que la Figura 4.23 presenta los mismos datos convertidos a gigavatios-hora (GWh). En ambos casos, se observa una marcada diferencia entre los tipos de penetración siendo el escenario acelerado el que presenta el mayor consumo acumulado.

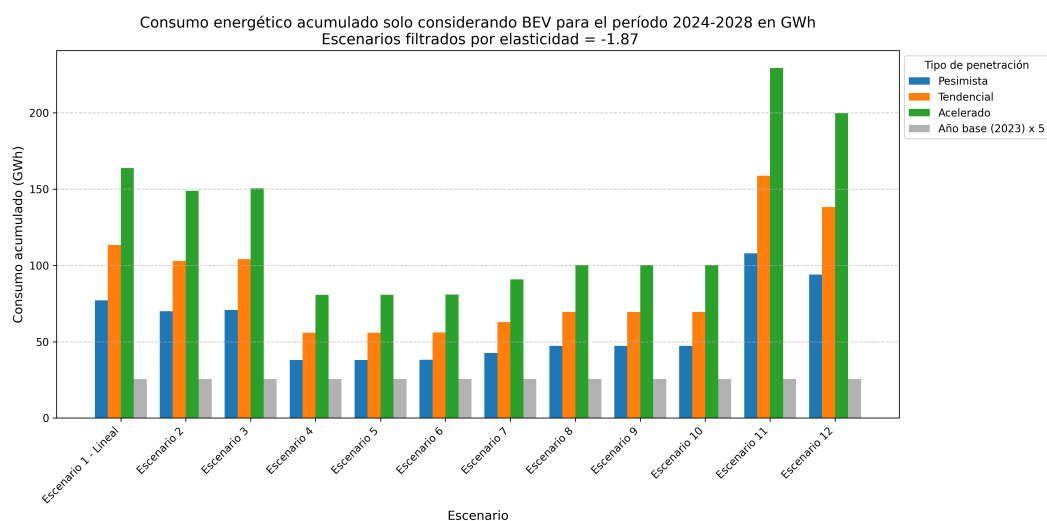
La penetración de vehículos eléctricos varía no solo según el tipo de trayectoria tecnológica, sino también en función del escenario fiscal aplicado. En particular, se observa que los escenarios más exigentes con los vehículos convencionales e híbridos (como los Escenarios 11 y 12) promueven una mayor y más rápida adopción de BEV, lo cual se refleja en un aumento significativo del consumo eléctrico proyectado para dichos escenarios. Esta tendencia contrasta con escenarios de menor exigencia relativa, donde la participación de BEV se mantiene más acotada.

Es importante aclarar que, si bien este consumo eléctrico se considera dentro de las emisiones acumuladas (Sección 4.4.6) en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, dichas emisiones se calcularon utilizando el factor de emisión promedio de la red eléctrica nacional, reportado por el Sistema Interconectado Nacional (SIN) [41]. Esta asignación tiene fines demostrativos y mantiene un enfoque conservador, ya que el vehículo eléctrico no genera emisiones directas durante su operación, como sí lo hacen los vehículos a combustión.

A modo referencial, el consumo final energético del Uruguay en el año 2023 fue de 5.337 ktep, siendo el 20 % (1.067 ktep) consumido como electricidad [39]. El mayor consumo acumulado eléctrico es de aproximadamente 20 ktep (Escenario 11, Acelerado), lo que representa un 1,87 % del consumo de electricidad mencionado.



**Figura 4.22:** Consumo energético acumulado (2024-2028) considerando solo vehículos BEV. Resultados expresados en miles de tep (ktep). Fuente: elaboración propia.

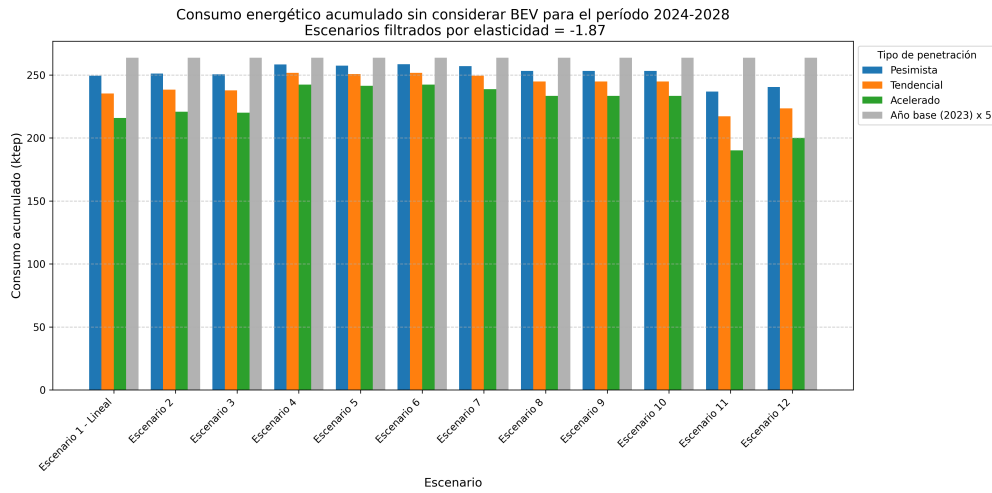


**Figura 4.23:** Consumo energético acumulado (2024-2028) considerando solo vehículos BEV. Resultados expresados en GWh. Fuente: elaboración propia.

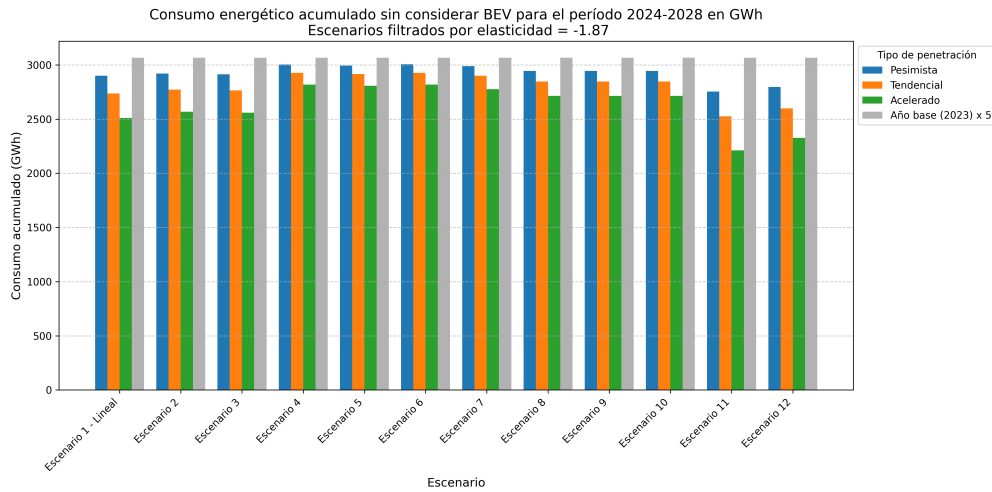
#### 4.4.4. Consumo energético acumulado sin considerar vehículos eléctricos

Las Figuras 4.24 y 4.25 muestran el consumo energético acumulado para el período 2024 – 2028, excluyendo el consumo eléctrico asociado a vehículos eléctricos (BEV), bajo los tres tipos de penetración tecnológica definidos. Al igual que en las secciones anteriores, los resultados están filtrados por una

elasticidad-precio de la demanda de  $-1,87$ . Se observa que, en todos los escenarios, los esquemas con mayor porcentaje de vehículos eléctricos generan una reducción del consumo energético agregado respecto al año base. Esta reducción se debe principalmente al desplazamiento de tecnologías convencionales por vehículos eléctricos, cuyo consumo no está representado en estos gráficos.



**Figura 4.24:** Consumo energético acumulado sin considerar BEV para el período 2024-2028. Resultados expresados en miles de tep (ktep). Fuente: elaboración propia.

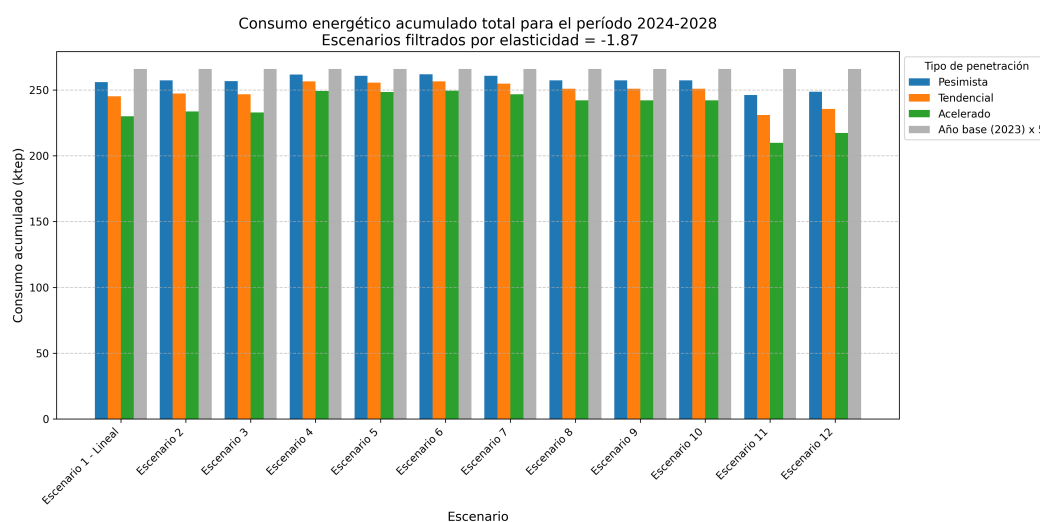


**Figura 4.25:** Consumo energético acumulado sin considerar BEV para el período 2024-2028. Resultados expresados en GWh. Fuente: elaboración propia.

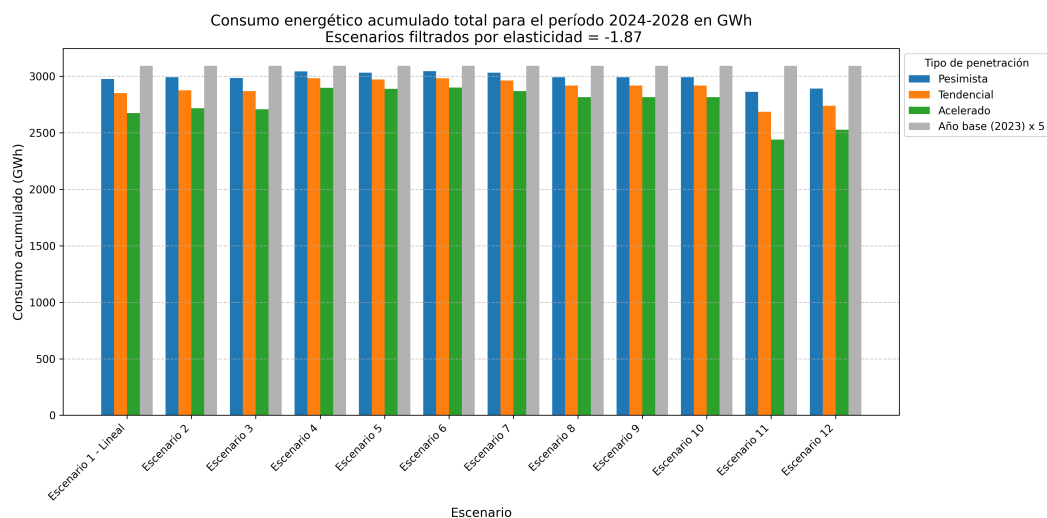
#### 4.4.5. Consumo energético acumulado total

Esta subsección presenta el consumo energético total acumulado durante el período 2024 - 2028, considerando todos los tipos de motorización. Se incluyen dos gráficos que muestran los resultados expresados en dos unidades de medida: GWh en la Figura 4.27 y ktep en la Figura 4.26, con el objetivo de facilitar comparaciones con otras fuentes o reportes energéticos. Los escenarios se encuentran filtrados por una elasticidad-precio de la demanda de  $-1,87$ , y se muestran bajo tres supuestos de penetración de vehículos eléctricos: pesimista, tendencial y acelerado. A modo de referencia, se incluye también el valor correspondiente a la situación del año base 2023, multiplicado por cinco para representar un escenario sin cambios en la estructura tecnológica del parque vehicular.

Una observación importante es que, si bien la trayectoria de penetración de vehículos eléctricos (pesimista, tendencial o acelerada) tiene un efecto claro sobre el consumo energético acumulado, también se evidencia una influencia del esquema fiscal adoptado. En particular, los escenarios más exigentes con los vehículos convencionales e híbridos (como los Escenarios 11 y 12) son los que muestran las mayores reducciones en el consumo energético total durante el período 2024-2028. Esta reducción se explica por la mayor penetración de vehículos eléctricos que estos esquemas logran inducir, como resultado de la aplicación de criterios impositivos más estrictos basados en emisiones.



**Figura 4.26:** Consumo energético acumulado total (2024-2028). Resultados expresados en miles de tep (ktep). Fuente: elaboración propia.



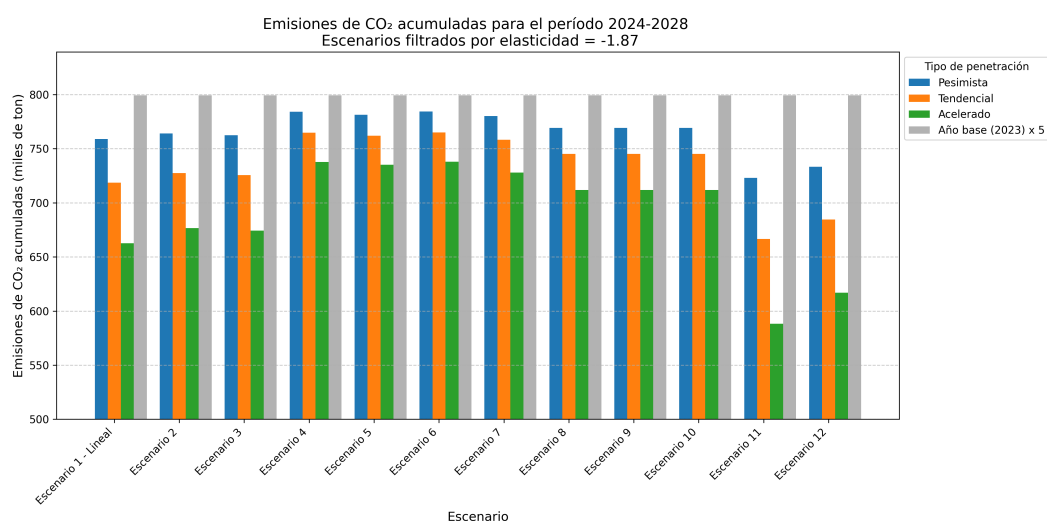
**Figura 4.27:** Consumo energético acumulado total (2024-2028). Resultados expresados en GWh. Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.6. Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub>

La figura 4.28 presenta las emisiones acumuladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociadas al parque vehicular para el período 2024 - 2028, bajo distintos escenarios de reforma del esquema de IMESI. Se muestran los resultados filtrados para una elasticidad-precio de la demanda igual a  $-1,87$ . El gráfico permite observar con claridad el impacto ambiental diferencial de cada escenario, así como de las trayectorias tecnológicas asumidas (pesimista, tendencial y acelerada). En todos los casos, se incluye como referencia el valor que resultaría de mantener constante el patrón de ventas del año base 2023, multiplicado por cinco años.

Tal como se analizó en las secciones anteriores, el porcentaje de participación de vehículos eléctricos (BEV) es el principal determinante en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. La diferencia entre las trayectorias pesimista y acelerada es significativa, y domina el comportamiento de las emisiones acumuladas en todos los escenarios fiscales. No obstante, también se verifica un efecto adicional asociado a la readecuación del IMESI, observable al comparar las emisiones dentro de un mismo tipo de penetración. En particular, los escenarios con mayor exigencia impositiva para los vehículos convencionales e híbridos (como los Escenarios 11 y 12) inducen una mayor penetración de BEV, lo que se traduce en menores emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> en comparación con otros esquemas fiscales bajo la misma trayectoria tecnológica. Finalmente, es importante

señalar que, en el presente análisis, a los vehículos eléctricos se les asigna un factor de emisión correspondiente al SIN [41]. Esta aproximación coloca a los BEV en una situación desventajosa frente a los vehículos convencionales, ya que no se consideran las emisiones asociadas al ciclo de vida completo de los combustibles fósiles, tales como las emisiones “aguas arriba” por extracción, refinación y transporte. La asignación de emisiones basada en el factor de red se utiliza aquí con fines demostrativos y conservadores.



**Figura 4.28:** Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> para el período 2024–2028, filtradas por elasticidad =  $-1,87$ , diferenciadas por tipo de penetración tecnológica. Fuente: elaboración propia.

A efectos de dimensionar el impacto ambiental de los esquemas fiscales más ambiciosos, puede destacarse que la diferencia de emisiones acumuladas entre el escenario base replicado cinco veces y el Escenario 11 con trayectoria de penetración acelerada alcanza aproximadamente las 200.000 toneladas de CO<sub>2</sub> (200 Gg) en el período 2024-2028. Esto equivale a una reducción del 25 % si se considera el acumulado de emisión del año base durante los cinco años (800 Gg).

## Capítulo 5

# Conclusiones y trabajos a futuro

### 5.1. Conclusiones relativas a la herramienta desarrollada

La herramienta desarrollada permite integrar y procesar de forma semi-automatizada una gran cantidad de información técnica contenida en la base de datos del parque vehicular 0 km, facilitando el análisis de esquemas fiscales alternativos en base a criterios ambientales y económicos. Desde su etapa inicial, el proceso de caracterización de la base de datos (en particular la vinculación entre emisiones específicas de CO<sub>2</sub> y el IMESI actualmente aplicado) evidencia sin lugar a dudas la necesidad de revisar el esquema vigente basado exclusivamente en la cilindrada del motor, ya que la misma no refleja adecuadamente el desempeño ambiental de los vehículos, generando distorsiones que limitan la efectividad del instrumento fiscal como herramienta para la descarbonización del parque de vehículos livianos.

A partir de este diagnóstico, se concluye que la herramienta permite simular la variación ambiental y energética asociada a la implementación de esquemas tributarios basados en las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> de los vehículos. Se destacan las siguientes conclusiones:

- Un hallazgo central del análisis es que la aplicación de un esquema impositivo basado exclusivamente en las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> permite corregir asimetrías fiscales existentes en el esquema vigente, en el cual ciertos vehículos con tecnologías como HEV y MHEV tributan tasas reducidas a pesar de tener niveles de emisiones comparables a modelos

convencionales eficientes (tipo N) (Figura 4.1). Al eliminar estas distorsiones y aplicar un criterio homogéneo de base ambiental, se promueve una competencia más justa entre tecnologías y se mejora la señal del impuesto hacia una mayor eficiencia energética y menor generación de emisiones.

- A partir de los resultados del Escenario 11 (el de mayor reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> entre todos los analizados (Figura 4.14)) se observa que es posible alcanzar un resultado ambiental positivo junto con un aumento en la recaudación por concepto de IMESI aplicado a la adquisición de vehículos nuevos. En el año estudiado, este escenario incrementa la recaudación por IMESI en torno a 20 millones de USD (Figura 4.15) y reduce el consumo de combustibles fósiles en aproximadamente 3.000 m<sup>3</sup>/año. La disminución de emisiones y consumo obedece a dos mecanismos complementarios: (i) una caída de ventas concentrada en las categorías con mayores emisiones específicas (g/km) (principalmente SUV (-19,8 %), seguida de automóviles (-3,5 %) y utilitarios (-1,5 %)) (Figura 4.8), con una contracción total de 3.716 unidades; y (ii) un cambio en la composición dentro de cada categoría, con mayor participación relativa de modelos de menor CO<sub>2</sub> específico, lo que se refleja en el indicador de consumo promedio ponderado por ventas (Figura 4.9). A pesar de esto, el incremento cercano a 20 millones de USD se circunscribe al IMESI a la adquisición y, por lo tanto, representa solo una parte del análisis fiscal. Para contar con una visión integral y comparable en el tiempo, corresponde evaluar de manera conjunta la recaudación por IMESI a combustibles y el impuesto al CO<sub>2</sub>, dado que la menor venta de vehículos y la reducción del consumo tendrán incidencia en dichos ingresos. Este análisis integrado excede el alcance del presente trabajo y se entiende viable como línea futura de investigación.
- Los resultados obtenidos destacan la importancia del consumo promedio ponderado por ventas como indicador de eficiencia del parque vehicular, evidenciando cómo distintos esquemas fiscales afectan la distribución de ventas hacia modelos con menor consumo específico. En particular, la aplicación de esquemas fiscales más exigentes en términos de emisiones conduce a reducciones claras en el consumo promedio para las tres categorías analizadas (Automóviles, SUV y utilitarios). No obstante, se subraya la importancia de realizar una evaluación completa de los distintos

resultados del modelo para evitar conclusiones parciales. Por ejemplo, en uno de los escenarios analizados se observó una reducción simultánea del consumo promedio ponderado en las tres categorías, pero también un aumento en las ventas de automóviles, lo que llevó a un incremento en el consumo total de esa categoría respecto al año base. A pesar de ello, el consumo agregado de las tres categorías resultó inferior al del año base, lo que representa un resultado positivo desde el punto de vista ambiental. Este tipo de comportamiento destaca la necesidad de evaluar de forma conjunta los distintos efectos generados por los esquemas fiscales, considerando tanto indicadores promedio como el impacto total agregado.

- Se resalta la relevancia metodológica de seleccionar adecuadamente los datos de referencia utilizados para definir las tasas impositivas. La decisión sobre qué parámetros seleccionar como puntos de referencia para la función impositiva que ajustará el IMESI en relación a las emisiones de  $\text{CO}_2$  es determinante en la composición del parque vehicular, incidiendo directamente sobre el consumo y las emisiones totales. En algunos casos, una elección inadecuada de dichos parámetros puede incluso conducir a un aumento de estas variables, perjudicando los objetivos ambientales perseguidos.
- Los análisis realizados destacan que la correcta estimación de la elasticidad-precio de la demanda resulta fundamental para evaluar la efectividad de los instrumentos fiscales propuestos. Escenarios con alta sensibilidad al precio demuestran reducciones sustancialmente mayores en consumo y emisiones, enfatizando la necesidad de estudios empíricos para determinar con mayor precisión el comportamiento del consumidor. Asimismo, se observa que la incorporación de una elasticidad variable (más representativa del comportamiento real del mercado) tiende a suavizar el impacto negativo sobre el volumen total de ventas, en comparación con supuestos de elasticidad fija.

## 5.2. Conclusiones de la proyección

La proyección desarrollada constituye un complemento metodológico que permite extender el análisis de los escenarios simulados hacia un horizonte tem-

poral específico. Si bien no pretende realizar predicciones cronológicas exactas, esta herramienta posibilita una evaluación comparativa del desempeño ambiental y fiscal de distintos esquemas impositivos bajo diferentes trayectorias de electrificación del parque vehicular. Los resultados obtenidos permiten extraer las siguientes conclusiones:

- La trayectoria tecnológica de penetración de vehículos eléctricos puros (BEV) es determinante en la reducción del consumo energético total y de las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub>. La diferencia entre las trayectorias pesimista y acelerada es considerablemente mayor que las variaciones observadas entre distintos esquemas fiscales bajo una misma trayectoria tecnológica. Sin embargo, también se identifica un efecto derivado del esquema fiscal aplicado, especialmente en escenarios altamente exigentes en términos ambientales. En particular, los Escenarios 11 y 12 logran las mayores reducciones absolutas de consumo energético y emisiones acumuladas debido a una redistribución efectiva de ventas hacia modelos más eficientes, sumado a una penetración más rápida de vehículos eléctricos derivada del incremento en la carga tributaria de tecnologías convencionales e híbridas.
- El comportamiento de la recaudación está principalmente determinado por la aplicación o no de tasas de IMESI a los BEV. En aquellos escenarios que mantienen una tasa de 0 % para los vehículos eléctricos, se observa una disminución progresiva de la recaudación a medida que aumenta la penetración de esta tecnología. En contraste, aplicar tasas moderadas como 5 % y 10 % (Escenarios 9 y 10 respectivamente) asegura niveles de recaudación superiores o equivalentes al año base en casi todas las trayectorias tecnológicas consideradas. Este resultado subraya la importancia de establecer tasas impositivas equilibradas para los vehículos eléctricos que permitan mantener la estabilidad fiscal sin desincentivar su adopción.
- Los escenarios que combinan una exoneración total para vehículos eléctricos con esquemas fiscales exigentes sobre los vehículos convencionales (como los Escenarios 11 y 12) presentan una dinámica particular. Aunque inicialmente logran aumentar la recaudación por IMESI debido al incremento en la presión fiscal sobre vehículos convencionales e híbridos, este beneficio fiscal inicial se ve atenuado en el corto plazo por la mayor

penetración de eléctricos, lo que conduce eventualmente a una reducción neta en la recaudación respecto al año base. Este comportamiento pone de relieve el desafío de equilibrar objetivos fiscales y ambientales.

- El impacto ambiental agregado de los escenarios más ambiciosos (como el Escenario 11 en la trayectoria acelerada) es relevante a escala del sector transporte. La reducción proyectada de 200.000 toneladas de CO<sub>2</sub> (200 Gg) acumuladas en el período 2024–2028 equivale aproximadamente al 25 % de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> que se generarían si se mantuviese constante la estructura tecnológica del año base durante dicho período.

### 5.3. Líneas futuras de investigación

- Si bien los escenarios con elasticidad variable permiten representar de forma más realista el comportamiento de los consumidores ante cambios en precios, este enfoque introduce una nueva dimensión de incertidumbre que no fue explorada en profundidad en este trabajo. Como línea futura, se propone desarrollar un modelo VECM propio para el mercado uruguayo de vehículos 0 km que permita estimar las elasticidades y sus dinámicas de corto y largo plazo diferenciando al menos por rango de precios, segmento y tipo de tecnología. Contar con estimaciones robustas permitiría ajustar la herramienta de simulación, permitiendo cuantificar con mayor precisión el impacto de distintos esquemas impositivos sobre las decisiones de compra.
- Si bien la evidencia internacional indica que el precio encabeza los factores de decisión de compra de vehículos en mercados desarrollados [11], en otros mercados, quizás en promedio menos desarrollados/menor poder adquisitivo, la calidad del producto o el desempeño, entre otros factores, pueden pesar más en la decisión de compra del vehículo. Se propone realizar un análisis para Uruguay que evalúe con mayor precisión cuales son los factores de decisión que tienen mayor incidencia.
- Una posible línea de investigación consiste en evaluar la pertinencia de introducir un esquema de IMESI diferenciado para vehículos eléctricos puros, que considere su rendimiento energético individual. Actualmente, la reducida penetración de BEV en el mercado limita el análisis estadístico sobre la variabilidad de sus rendimientos. No obstante, a medida que

se incremente su participación, podría analizarse si existen diferencias significativas en eficiencia energética entre modelos como para justificar un esquema fiscal que premie a los más eficientes dentro de este tipo de motorización. En caso de confirmarse una baja dispersión en los rendimientos, la idea podría perder relevancia. Sin embargo, si se detectan brechas considerables, se abre la posibilidad de definir un IMESI variable (aunque más bajo en términos generales que el aplicado a tecnologías convencionales e híbridas), basado en métricas como el rendimiento eléctrico (km/kWh) o las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> asociadas al uso del SIN. Esta opción permitiría extender las señales de eficiencia también al segmento eléctrico, fortaleciendo la coherencia ambiental del esquema fiscal.

- Una mejora metodológica podría centrarse en optimizar la estimación de los recorridos anuales promedio por categoría vehicular y tipo de motorización. Actualmente, las simulaciones asumen valores promedio uniformes, pero contar con datos más desagregados y representativos permitiría ajustar de forma más precisa los cálculos de consumo energético y emisiones. Esto es relevante en el caso de los vehículos utilitarios y los eléctricos puros (BEV), cuyos patrones de uso y kilometrajes anuales pueden diferir significativamente respecto a otras categorías, afectando los resultados del análisis.
- También sería valioso profundizar en mejorar la estimación de las emisiones asociadas a los vehículos eléctricos puros (BEV). En este trabajo, dichas emisiones se calcularon utilizando el factor de emisión promedio de la red eléctrica nacional reportado por el SIN, lo que implica una aproximación conservadora, ya que los BEV no generan emisiones directas durante su operación. Para una evaluación más precisa, sería necesario estimar las emisiones del ciclo de vida completo de los combustibles fósiles utilizados por vehículos convencionales (emisiones “aguas arriba” por extracción, refinación y transporte). Desarrollar un estudio específico para Uruguay permitiría incorporar estos factores de forma más realista en la herramienta, facilitando comparaciones equitativas entre tecnologías y fortaleciendo el enfoque ambiental del análisis.
- Profundizar en una modelización fiscal integral que internalice los efectos recaudatorios indirectos hoy no incluidos en el análisis. En particular: (i) la disminución de la recaudación por concepto de IMESI a combustibles líquidos y el impuesto al CO<sub>2</sub> también asociado a los combustibles; (ii)

la mayor recaudación de IVA vinculada al consumo eléctrico incremental para la carga de BEV; y (iii) evaluar incluir la mayor recaudación por Impuesto al Patrimonio que paga la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE), empresa eléctrica pública.

- Finalmente, una línea adicional de investigación consiste en evaluar el valor agregado para la economía uruguaya derivado del aumento en la penetración de vehículos eléctricos (BEV), considerando tanto los efectos positivos asociados a la incorporación de nueva capacidad de generación renovable como los impactos negativos relacionados con la reducción del consumo interno de combustibles fósiles. El *Plan Indicativo de Expansión del Parque de Generación Eléctrica período 2024–2043* [45] destaca la conveniencia económica de incorporar generación solar fotovoltaica a partir del año 2025. En este contexto, se propone actualizar a valores actuales el estudio *Análisis de componente nacional e impacto económico y social que surge de la generación de energía eléctrica a partir de las siguientes fuentes: solar fotovoltaica, biomasa, eólica y gas natural en centrales de ciclo combinado (2015)* [54], con foco específico en la fuente solar. Esto permitiría estimar el valor agregado nacional por MW o MWh de energía solar instalado o generado y, a partir de allí, cuantificar el beneficio económico asociado a la demanda eléctrica adicional provocada por la electrificación del parque vehicular. En paralelo, sería necesario estimar la pérdida de valor agregado vinculada a la reducción de consumo de combustibles fósiles en vehículos no BEV. Si bien las cuentas nacionales reportan un valor agregado asociado a la actividad de refinación [1], dicha cifra se encuentra agregada y, según técnicos de ANCAP, corresponde en sí misma a una estimación. Por tanto, se requeriría un estudio específico que permita desagregar ese valor según tipo de combustible, con el fin de estimar la pérdida de valor agregado asociada a los combustibles cuyo consumo se reduce. La integración de ambos componentes (valor agregado por expansión renovable y pérdida por disminución del uso de combustible) permitiría estimar con mayor precisión el impacto económico de las distintas proyecciones de electrificación.

## Referencias bibliográficas

- [1] Banco Central del Uruguay. *Cuentas de las Industrias*. URL: <https://www.bcu.gub.uy/Estadisticas-e-Indicadores/Paginas/Cuentas-de-las-Industrias.aspx> (visitado 27-06-2025).
- [2] Bibiana Lanzilotta, Fernando Lorenzo y Silvia Rodríguez-Collazo. *Determinantes de la demanda de servicios de transporte público en Montevideo*. centro de investigaciones económicas, mar. de 2023. URL: <https://cinve.org.uy/wp-content/uploads/2023/12/dt-2023-03-Elasticidades-precio-e-ingreso-30-noviembre-2023.pdf>.
- [3] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. *Resolución 66 EXENTA*. [www.bcn.cl/leychile](http://www.bcn.cl/leychile). 7 de abr. de 2025. URL: <https://www.bcn.cl/leychile> (visitado 16-04-2025).
- [4] Boletín Oficial de la República Argentina. *Resolución 383/2021*. 15 de nov. de 2021. URL: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/253008> (visitado 18-05-2025).
- [5] CE Delft. *User Guide Feebate Simulation Tool*. Sep. de 2014. URL: [https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/FeebateTool\\_Dec2014.zip](https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/FeebateTool_Dec2014.zip) (visitado 03-05-2025).
- [6] Centro de Información Oficial. *Decreto N° 390/021*. 2021. URL: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/390-2021/1> (visitado 05-07-2024).
- [7] Centro de Información Oficial. *Decreto N° 278/021*. URL: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-reglamento/278-2021> (visitado 15-04-2025).
- [8] Centro de Información Oficial. *Imágenes del Diario Oficial - Decreto 390/021*. 2021. URL: <https://www.impo.com.uy/diariooficial/2021/12/07/6> (visitado 05-07-2024).

- [9] Centro de Información Oficial. *Ley N° 19829 - APROBACION DE NORMAS PARA LA GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS*. 30 de sep. de 2019. URL: <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19829-2019> (visitado 09-08-2024).
- [10] Chatzipanagi A. et al. *Impact of WLTP introduction on CO2 emissions from M1 and N1 vehicles*. European Union: JRC Technical Report, 2020. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fd772ba8-3904-11eb-b27b-01aa75ed71a1> (visitado 18-10-2025).
- [11] Deloitte Global. *2024 Global Automotive Consumer Study*. Ene. de 2024. URL: <https://www.deloitte.com/ce/en/industries/automotive/perspectives/global-automotive-consumer-study.html> (visitado 16-08-2025).
- [12] Dieselnets. *Emission Test Cycles: ECE 15 + EUDC / NEDC*. URL: [https://dieselnets.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://dieselnets.com/standards/cycles/ece_eudc.php) (visitado 01-05-2024).
- [13] Dieselnets. *Emission Test Cycles: FTP-75*. URL: <https://dieselnets.com/standards/cycles/ftp75.php> (visitado 06-06-2024).
- [14] Dirección Nacional de Energía. *Plan Nacional de Eficiencia Energética*. 2015. URL: <https://www.eficienciaenergetica.gub.uy/plan-nacional-de-eficiencia-energetica> (visitado 15-11-2023).
- [15] Dirección Nacional de Energía. *Se aprobó el etiquetado de eficiencia energética de vehículos livianos*. 23 de mar. de 2023. URL: [https://www.eficienciaenergetica.gub.uy/visualizar-contenido/-/asset\\_publisher/fnOFJTPAaHM7/content/se-aprobo-el-etiquetado-de-eficiencia-energetica-de-vehiculos-livianos-se-aprobo-la-reglamentacion-de-etiquetado-de-eficiencia-energetica-de-vehiculos](https://www.eficienciaenergetica.gub.uy/visualizar-contenido/-/asset_publisher/fnOFJTPAaHM7/content/se-aprobo-el-etiquetado-de-eficiencia-energetica-de-vehiculos-livianos-se-aprobo-la-reglamentacion-de-etiquetado-de-eficiencia-energetica-de-vehiculos) (visitado 15-11-2023).
- [16] El País. *La venta de vehículos eléctricos se cuadruplicó en 2024 y se espera una mayor oferta de las empresas este año*. EL PAÍS. Section: Negocios. 9 de ene. de 2025. URL: <https://www.elpais.com.uy/negocios/la-venta-de-vehiculos-electricos-se-cuadruplico-en-2024-y-se-espera-una-mayor-oferta-de-las-empresas-este-ano> (visitado 17-04-2025).
- [17] El País. *Unos 120 mil autos con más de 30 años circulan por las calles de Montevideo, en su mayoría en malas condiciones mecánicas*. Section: Política. 5 de jul. de 2024. URL: <https://www.elpais.com.uy/informacion/politica/unos-120-mil-autos-con-mas-de-30-anos-circulan-por-las-calles>

- [de-montevideo-en-su-mayoria-en-malas-condiciones-mecanicas](#) (visitado 05-07-2024).
- [18] Environmental Protection Agency. *Highlights of the Automotive Trends Report*. 25 de nov. de 2024. URL: <https://www.epa.gov/automotive-trends/highlights-automotive-trends-report> (visitado 15-04-2025).
  - [19] European Automobile Manufacturers Association. *WLTP introduction: when will the changes take place?* WLTPfacts.eu. URL: <https://www.wltpfacts.eu/when-will-wltp-changes-take-place/> (visitado 19-04-2024).
  - [20] European Commission. *Car labelling*. URL: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/car-labelling\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/car-labelling_en) (visitado 15-04-2025).
  - [21] Humberto Valencia. *Elasticidad precio de la demanda en la industria automotriz*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. URL: <https://repositorio.tec.mx/server/api/core/bitstreams/efba05f5-74ba-4a66-b77d-9e5f757487b1/content> (visitado 07-06-2025).
  - [22] IBDP Economics. *Price elasticity of demand*. URL: <https://studyib.net/economics/page/3017/unit-251-price-elasticity-of-demand-ped> (visitado 07-06-2025).
  - [23] International Council on Clean Transportation. *Conversion tool*. Dic. de 2014. URL: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/03/Conversion-tool-20141121-Protect.xlsx>.
  - [24] International Council on Clean Transportation. *Using vehicle taxation policy to lower transport emissions: An overview for passenger cars in Europe*. URL: <https://theicct.org/publication/using-vehicle-taxation-policy-to-lower-transport-emissions-an-overview-for-passenger-cars-in-europe/> (visitado 15-04-2025).
  - [25] International Energy Agency. *Electric Vehicles: Total Cost of Ownership Tool – Data Tools*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/electric-vehicles-total-cost-of-ownership-tool> (visitado 03-06-2025).
  - [26] Japan Inspection Organization. *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC) in Japan*. URL: <https://japaninspection.org/worldwide-harmonized-light-vehicles-test-cycle-wltc-in-japan/> (visitado 10-06-2024).

- [27] Llamas HLM et al. *Nueva Norma Oficial Mexicana sobre emisiones de bióxido de carbono del escape de vehículos nuevos*. Lexology. 11 de ene. de 2024. URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=60b37b80-57d0-4b1c-aabb-733ae620aae2> (visitado 27-05-2024).
- [28] Martín Lavalleja y Federico Scalese. *Estudio de esquemas fiscales e incentivos en la movilidad y el transporte*. Proyecto MOVÉS, 2021. URL: <https://moves.gub.uy/esquemas-fiscales-informe-completo/> (visitado 03-08-2024).
- [29] Martínez H y Castellanos S. *Etiqueta y norma de eficiencia para vehículos livianos: Beneficios, barreras y estudios de caso: una herramienta para su implementación en países latinoamericanos*. es. Inter-American Development Bank, 2019.
- [30] Meireles M, Robaina M y Magueta D. «The effectiveness of environmental taxes in reducing CO2 emissions in passenger vehicles: The case of Mediterranean countries». en. En: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18.10 (2021), pág. 5442.
- [31] Ministerio de Ambiente. *Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional*. Ministerio de Ambiente. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/primera-contribucion-determinada-nivel-nacional> (visitado 15-04-2025).
- [32] Ministerio de Ambiente. *Uruguay presentó su Segunda Contribución Determinada a nivel Nacional*. 30 de dic. de 2022. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/noticias/uruguay-presento-su-segunda-contribucion-determinada-nivel-nacional> (visitado 07-11-2023).
- [33] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Ambiente anunció la implementación del etiquetado vehicular comparativo*. 25 de abr. de 2022. URL: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/ambiente-anuncio-la-implementacion-del-etiquetado-vehicular-comparativo> (visitado 15-04-2025).
- [34] Ministerio de Economía. *Etiqueta vehicular*. URL: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/etiqueta-vehicular> (visitado 15-04-2025).

- [35] Ministerio de Economía y Finanzas. *Normativa del Régimen Decreto 268/020*. 21 de feb. de 2024. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-economia-finanzas/comap/normativa-del-regimen-decreto-268020> (visitado 18-05-2025).
- [36] Ministerio de Energía. *Informe Técnico Definitivo para el Establecimiento del Estándar de Eficiencia Energética Vehicular de Vehículos Motorizados Livianos*. Santiago, Chile, feb. de 2022. URL: [https://energia.gob.cl/sites/default/files/informetecnicoldv\\_men\\_final.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/informetecnicoldv_men_final.pdf) (visitado 27-05-2024).
- [37] Ministerio de Energía. *Portal de indicadores de consumo energético y emisiones vehiculares*. URL: <https://www.consumovehicular.cl/#/> (visitado 15-04-2025).
- [38] Ministerio de Energía. *Se publica nuevo estándar de eficiencia energética*. URL: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/se-publica-nuevo-estandar-de-eficiencia-energetica-para-vehiculos-livianos> (visitado 15-04-2025).
- [39] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Balance Energético Nacional 2023*. 2024. URL: <https://ben.miem.gub.uy/balance.php> (visitado 11-04-2025).
- [40] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Estadísticas movilidad eléctrica*. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/estadisticas-movilidad-electrica> (visitado 03-06-2025).
- [41] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional*. 2025. URL: <https://ben.miem.gub.uy/descargas/6indicadores/6-5-factor-de-emision-CO2-del-sin/6-5-factor-de-emision-CO2-del-sin.rar> (visitado 02-05-2025).
- [42] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Factores de conversión*. 2025. URL: <https://ben.miem.gub.uy/descargas/7infocomplementaria/7-4-factores-de-conversion.xlsx> (visitado 01-05-2025).
- [43] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Nueva norma UNIT de etiquetado vehicular*. 23 de jul. de 2020. URL: [https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/2025-04/UNIT\\_1130\\_2020.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/2025-04/UNIT_1130_2020.pdf) (visitado 18-05-2025).

- [44] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Parque vehicular período 2017-2023*. 1 de jun. de 2025. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/datos-y-estadisticas/estadisticas/parque-automotor> (visitado 04-08-2024).
- [45] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Plan Indicativo de Expansión del Parque de Generación Eléctrica 2024-2043*. 27 de feb. de 2025. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Plan%20de%20Expansi%C3%B3n%20de%20la%20Generaci%C3%B3n%202024-2043..pdf> (visitado 27-06-2025).
- [46] Ministerio de Industria, Energía y Minería. *Subite: Programa de movilidad eléctrica*. 2025. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/node/6188> (visitado 19-10-2025).
- [47] Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. *Veículos Automotivos (PBE veicular)*. URL: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular> (visitado 15-04-2025).
- [48] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Unidades y factores de conversión*. 2010. URL: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/desarrollo/EnergiaRenovable/Plan/Documentos/DocumentoCompleto/15FactoresConversionAnexo1.pdf> (visitado 02-05-2025).
- [49] Østli V et al. «Comparing the Scandinavian automobile taxation systems and their CO2 mitigation effects». en: En: *Int. J. Sustain. Transp.* (2021), págs. 1-18.
- [50] Portal Ambiental. *OCCA exige etiquetado de eficiencia y emisiones en vehículos nuevos*. Section: Calidad del aire. 31 de oct. de 2023. URL: <https://www.portalambiental.com.mx/calidad-del-aire/20231031/occa-exige-etiquetado-de-eficiencia-y-emisiones-en-vehiculos-nuevos> (visitado 10-08-2024).
- [51] Ricardo EMLEG. *Japan - Passenger Cars & LDT Comprehensive summary of worldwide exhaust emissions regulations*. 20 de jul. de 2023. URL:

- <https://emleg.com/legislation/view/japan-passenger-cars-ldt> (visitado 10-06-2024).
- [52] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares*. URL: <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/> (visitado 15-04-2025).
- [53] SEG Ingeniería. *Indicadores Energeticos - Octubre 2024*. Oct. de 2024. URL: [https://www.segingeneria.com/wp-content/uploads/2024/11/Indicadores-Energ%C3%A9ticos\\_2410-1.pdf](https://www.segingeneria.com/wp-content/uploads/2024/11/Indicadores-Energ%C3%A9ticos_2410-1.pdf) (visitado 03-05-2025).
- [54] SEG Ingeniería y KPMG. *Análisis sobre componente nacional y externalidades económico sociales de generación de energía*. Sep. de 2015. URL: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Resumen%20Ejecutivo.pdf> (visitado 27-06-2025).
- [55] Tankou A, Hall D y Slowik P. *Adapting zero-emission vehicle incentives for a mainstream market*. The International Zero-Emission Vehicle Alliance, 2 de abr. de 2024. URL: <https://theicct.org/publication/izeva-adapting-zev-incentives-for-a-mainstream-market-april24/> (visitado 27-07-2024).
- [56] The International Council on Clean Transportation. *From laboratory to road international: A comparison of official and real-world fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe, the United States, China, and Japan*. 5 de nov. de 2017. URL: [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Lab-to-road-intl\\_ICCT-white-paper\\_06112017\\_vF.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Lab-to-road-intl_ICCT-white-paper_06112017_vF.pdf) (visitado 27-05-2024).
- [57] Transport & Environment. *The good tax guide: A comparison of car taxation in Europe*. Oct. de 2022. URL: <https://www.transportenvironment.org/articles/first-ever-comparison-of-car-taxation-in-europe-reveals-large-discrepancies-in-approaches-to-ev-incentives> (visitado 19-04-2025).
- [58] Transport Policy. *International: Light-duty: Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP)*. URL: <https://www.transportpolicy.net/standard/international-light-duty-worldwide-harmonized-light-vehicles-test-procedure-wltp/> (visitado 15-04-2025).
- [59] United States Environmental Protection Agency. *Fuel Economy*. 2025. URL: <http://www.fueleconomy.gov> (visitado 15-04-2025).

- [60] Vehicle Certification Agency. *The Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure (WLTP)*. Vehicle Certification Agency. 1 de abr. de 2021. URL: <https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/> (visitado 07-06-2024).
- [61] Wappelhorst S. *Incentivizing zero- and low-emission vehicles: The magic of feebate programs*. International Council on Clean Transportation. 8 de jun. de 2022. URL: <https://theicct.org/magic-of-feebate-programs-jun22/> (visitado 09-08-2024).
- [62] Zifei Yang y Anup Bandivadekar. *Methods of converting the type-approval fuel economy and CO<sub>2</sub> emission values of light vehicles: An analysis for New Zealand*. The International Council on Clean Transportation, 8 de nov. de 2021. URL: <https://theicct.org/publication/methods-of-converting-the-type-approval-fuel-economy-and-co2-emission-values-of-light-vehicles-an-analysis-for-new-zealand/> (visitado 10-06-2024).

# APÉNDICES

# Apéndice 1

## Procesamiento de datos y estructura de cálculo

En este apéndice se documentan los principales componentes que estructuran la herramienta de simulación y el procesamiento de datos implementado en este trabajo. Se describe tanto la construcción de la base de datos vehicular como la lógica computacional para simular y proyectar distintos escenarios de aplicación del IMESI. Esto incluye:

- El contenido de las hojas o pestañas en los archivos Microsoft Excel.
- Las fórmulas utilizadas en Microsoft Excel para el procesamiento de datos.
- El procedimiento a seguir para emplear la herramienta y simular escenarios.
- El vínculo a los códigos Python desarrollados para la simulación.
- Las fórmulas matemáticas clave implementadas en el código.

A continuación se detalla la estructura del apéndice y el contenido específico de cada sección:

- **Sección 1.1:** descripción de las columnas contenidas en la base de datos vehicular 2023 y el tratamiento aplicado a los datos (categorizaciones, fórmulas Excel y procesamiento Python).
- **Sección 1.2:** documentación de los pasos previos necesarios para ejecutar correctamente la herramienta, incluyendo la preparación de datos, el cálculo del IMESI original y la generación del archivo intermedio.

- **Sección 1.3:** explicación detallada de la metodología de simulación de escenarios, parametrización del IMESI, aplicación de elasticidades, estructura del archivo de salida y descripción de cada hoja generada (*Escenarios individuales, Resumen Escenarios, Análisis Energético*).
- **Sección 1.4:** información y fórmulas de las hojas de proyección (*Proyección Recaudación y Proyección Energía*), que permiten visualizar la evolución de los indicadores clave bajo distintos escenarios y trayectorias de electrificación.

## 1.1. Base de datos vehicular

### 1.1.1. Información contenida en la base de datos

A continuación se hace una descripción de la información contenida en cada columna de la [Base de datos 2023.xlsx](#), así como la procedencia de la información.

1. Marca: marca comercial del vehículo. Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
2. Modelo: nombre comercial del vehículo y datos de equipamiento. Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
3. Segmento: clasificación por segmento comercial. Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
4. Tipo 1: clasificación primaria del vehículo (AUTOMOVIL, COMERCIAL). Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
5. Tipo 2: clasificación utilizada en el marco de la tesis (AUTOMOVIL, SUV, UTILITARIO). Se emplea formula en Microsoft Excel para obtener esta clasificación.
6. Origen: país de origen del vehículo. Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
7. Cilindrada: cilindrada del motor en  $\text{cm}^3$ . Se emplea código de Python para obtener esta información.
8. Combustible 1: clasificación primaria del energético utilizado (NAFTA, DIESEL Y ELÉCTRICO) Información obtenida de datos suministrados por MIEM.

9. Combustible 2: clasificación del energético utilizada en el marco de la tesis (N, D, E). Se emplea formula en Microsoft Excel para obtener esta clasificación.
10. Tipo de motor: tecnología de propulsión empleada por el motor (N, D, MHEV<sup>1</sup>, HEV<sup>2</sup>, PHEV<sup>3</sup>, BEV<sup>4</sup>). Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
11. HP: potencia del motor en HP. Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
12. Ventas: unidades vendidas del vehículo durante el año 2023. Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
13. Procesados: unidades para las que se encontraron datos y tomadas dentro del análisis.
14. Precio diciembre 2023 USD: precio del vehículo en diciembre de 2023 en Dólar Americano (USD). Información obtenida de datos suministrados por MIEM.
15. Fuente de datos: fuente para los datos de norma de emisiones, CO<sub>2</sub> NEDC (g/km) y Peso Bruto Total (PBT). Para la recopilación de estos datos fueron utilizadas 3 bases de datos diferentes, las que se indican a continuación:
  - URSEA (Uruguay) – [Etiquetado Vehicular](#)
  - Subsecretaria de Ambiente (Argentina) - Licencia de Configuración Ambiental (LCA), Certificado de Emisiones Gaseosas y Certificado Emisiones Sonoras – [Metadatos](#)
  - Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (Chile) - [Nómina de Vehículos Homologados](#)
16. Código de referencia en base de datos: código de referencia único para cada modelo analizado. Código de Informe Técnico (Chile), Nro. De Registro (Uruguay), Ensayo consumos laboratorio (Argentina).
17. Norma emisiones: norma de emisiones que cumple el vehículo, relativa a el límite máximo de emisiones de contaminantes provenientes del vehículo.
18. PBT: peso bruto total según la fuente de datos.
19. Rendimiento eléctrico (km/kWh)

---

<sup>1</sup>En español, “Vehículo eléctrico híbrido suave”

<sup>2</sup>En español, “Vehículo eléctrico híbrido sin recarga exterior”

<sup>3</sup>En español, “Vehículo eléctrico híbrido con recarga exterior”

<sup>4</sup>En español, “Vehículo eléctrico a batería”

20. CO<sub>2</sub> NEDC (g/km): emisiones de CO<sub>2</sub> (ciclo NEDC) en g/km según la fuente de datos.
21. Consumo (L/100 km): consumo del vehículo expresado en litros cada 100 km.
22. Rendimiento (km/L): rendimiento del vehículo expresado en km por L.
23. Procesados x CO<sub>2</sub>: emisiones de CO<sub>2</sub> ponderadas por ventas de cada modelo. Valor utilizado en la hoja de Excel “Cálculos adicionales 2023”. Esta hoja se uso para verificar datos de salida de la herramienta generada en Python.
24. Procesados x Consumo: consumo (L/100km) ponderado por ventas de cada modelo. Valor utilizado en la hoja Excel “Cálculos adicionales 2023”. Esta hoja se uso para verificar datos de salida de la herramienta generada en Python.

### 1.1.2. Tratamiento de datos

En esta sección se indica el tratamiento de datos, por columna, que fue necesario para el armado de la base datos. No se indican las columnas cuyos datos fueron extraídos de otras fuentes, sin ningún procesamiento adicional.

- Tipo 2: se emplea la formula SI de Microsoft Excel para generar la clasificación (AUTOMOVIL, SUV, UTILITARIO)
  - Si el valor de la columna “Tipo 1” es “COMERCIAL”, devuelve “UTILITARIO”.
  - Si no, verifica si el valor de la columna “Segmento” es “SUV Y CROSSOVER”. Si es así, devuelve ”SUV”.
  - Si ninguna de las condiciones anteriores se cumple, devuelve “AUTOMOVIL”.
- Cilindrada (cc): se emplea el código de Python del archivo [Obtener Cilindrada.py](#). Se destaca que el código no reconoce las cilindradas inferiores a 1.000 c.c. ya que busca el texto de la forma (numero.numero). Estas cilindradas deben ser ingresadas manualmente en el archivo Excel de salida.
- Combustible 2: se emplea la formula SI para generar la clasificación (AUTOMOVIL, SUV, UTILITARIO)

- Si el valor de la columna “Combustible 1” es “NAFTA”, devuelve “N”.
  - Si no, verifica si el valor de la columna es “DIESEL”. Si es así, devuelve “D”.
  - Si no, verifica si el valor de la columna es “ELÉCTRICO”. Si es así, devuelve “E”.
- Consumo (L/100 km): Se emplea un Factor de Emisión (FE) de CO<sub>2</sub> por combustible [23]. Se encuentran en la pestaña “Supuestos”:
- Si el valor de la columna “Combustible 2” es “N”, se utiliza el FE 2336,87 g/L.
  - Si el valor de la columna “Combustible 2” es “D”, se utiliza el FE 2684,40 g/L.
  - $Consumo(\frac{L}{100km}) = \frac{CO_2 NEDC(\frac{g}{km})}{FE(\frac{g}{L})} \times 100$
- $Rendimiento(\frac{km}{L}) = \frac{100}{Consumo(\frac{L}{100km})}$

## 1.2. Pasos previos a la simulación de escenarios

Esta sección documenta las primeras etapas del flujo operativo de la herramienta de simulación desarrollada, detallando los procedimientos necesarios antes de ejecutar los módulos principales de análisis. Estas etapas iniciales son necesarias para asegurar la correcta estructuración de los datos y la integridad de los resultados generados. Se identifican tres pasos principales:

1. Preparación de datos [1.2.1](#)
2. Ejecución del código inicial [1.2.2](#)
3. Generación del archivo intermedio [1.2.3](#)

### 1.2.1. Preparación de datos

Inicialmente se debe realizar una copia de seguridad del archivo original [Base de datos 2023.xlsx](#). En el marco del trabajo se llamo *Base de datos 2023 - Prueba.xlsx*. Este archivo se utiliza como entrada en el código de simulación,

no siendo una condición necesaria pero recomendable para evitar trabajar sobre el archivo original.

### 1.2.2. Ejecución del código inicial para cálculo de IMESI

Se ejecuta el código [Calculo de IMESI.py](#) utilizando el archivo previamente generado como entrada. Este código añade las siguientes columnas al archivo:

- IMESI %: indica el porcentaje de IMESI que corresponde a cada modelo dentro de la base de datos. Los porcentajes se corresponden con los Decreto N° 390/021 [6], vigente al momento de la redacción de la tesis.
- Monto IMESI: indica el valor de IMESI en USD que corresponde a cada modelo dentro de la base de datos.
- Precio después de tasas: indica el valor de cada modelo, descontando el valor de IMESI y el IVA.

### 1.2.3. Generación del archivo intermedio

[Calculo de IMESI.py](#) produce un archivo de salida distinto, en este caso [Base de datos 2023 - Prueba\\_output.xlsx](#) con la finalidad de no sobrescribir el archivo de origen. Previo al próximo paso, debe abrirse el archivo en Microsoft Excel, presionar F9 para refrescar y luego guardar el mismo. Esto evita un error de ejecución en el código posterior.

## 1.3. Metodología para la simulación de escenarios

Esta sección describe la ejecución del código principal de simulación y el contenido del archivo de salida generado. El script [Simulacion de Escenarios.py](#) permite definir diferentes esquemas de aplicación del IMESI, aplicar elasticidades a la demanda y proyectar impactos fiscales, energéticos y ambientales bajo múltiples escenarios.

La descripción se divide en las siguientes subsecciones:

- Parámetros configurables y datos de salida [1.3.1](#)

- Información contenida en los escenarios individuales [1.3.2](#).
- Fórmulas empleadas para la creación de los escenarios individuales [1.3.3](#)
- Información contenida en la hoja *Resumen Escenarios* [1.3.4](#)
- Fórmulas empleadas para la creación de la hoja *Resumen Escenarios* [1.3.5](#)
- Información contenida en la hoja *Análisis Energético* [1.3.6](#)
- Fórmulas empleadas para la creación de la hoja *Análisis Energético* [1.3.7](#)

### 1.3.1. Parámetros configurables y datos de salida

Los parámetros configurables incluyen:

1. Definir relaciones lineales o escalonadas entre el IMESI y las emisiones de CO<sub>2</sub>.
2. Configurar la estructura impositiva diferenciada por:
  - Tipo 2 (AUTOMÓVIL, SUV, UTILITARIO).
  - Tipo de motor (N, D, MHEV, HEV, PHEV, BEV).
3. Aplicar elasticidades precio a las ventas:
  - Con un valor único (elasticidad fija).
  - Con valores diferenciados por rango de precios (elasticidad variable), permitiendo ajustar específicamente la demanda en segmentos económicos (ej. elasticidad diferenciada para el 25 % más económico dentro de cada categoría vehicular). Esta función permite, opcionalmente, disminuir la variación en el volumen total de ventas al redirigir la demanda desde vehículos más caros hacia modelos más económicos. En la sección [3.5.3](#) se realiza una descripción de la lógica detrás de la elasticidad variable.

El archivo de salida generado se denomina [Salida Escenarios.xlsx](#) y contiene:

- Escenarios individuales, cada uno con su hoja de Excel correspondiente.
- Una hoja denominada **Resumen Escenarios**.
- Una hoja denominada **Análisis Energético**.

En las siguientes subsecciones se realiza una descripción del contenido de cada hoja del archivo [Salida Escenarios.xlsx](#).

### 1.3.2. Información contenida en los escenarios individuales

Para cada escenario individual se replica el contenido de la hoja **2023** de la [Base de datos 2023.xlsx](#) y se adicionan columnas con los resultados de cada simulación:

- Nuevo IMESI (%): indica el porcentaje de IMESI que corresponde a cada modelo y que fue calculado en base a la relación del IMESI y el CO<sub>2</sub> para el escenario dado.
- Nuevo Monto IMESI: indica el nuevo valor de IMESI en USD que corresponde a cada modelo dentro de la base de datos.
- Nuevo Precio Final: nuevo valor en USD de venta al público. Este valor considera tanto el IMESI como el IVA.
- Variación Precio (%): variación porcentual del precio de venta al público con respecto al precio original (Precio diciembre 2023 USD).
- Elasticidad aplicada: elasticidad efectiva utilizada para calcular la variación de ventas de cada modelo. En la sección 3.5.3 se realiza una descripción de la lógica detrás de la elasticidad variable.
- Ventas Escenario: cantidad de unidades vendidas proyectadas bajo el nuevo precio, según la elasticidad aplicada.
- Variación Ventas (%): variación porcentual en las ventas con respecto al año base.
- Recaudación IMESI Escenario: ingresos de IMESI bajo el escenario para cada modelo considerando el volumen de ventas.
- Recaudación IMESI Año Base: ingresos de IMESI para el año base para cada modelo considerando el volumen de ventas (Procesados).
- Escenario: información relativa al escenario seleccionado. Indica si el escenario es escalonado o lineal, el número de escenario y la elasticidad base que se aplica en el mismo.

### 1.3.3. Fórmulas empleadas para la creación de los escenarios individuales

#### 1. Cálculo del monto de IMESI:

$$\text{Monto IMESI} = \text{Precio después de tasas} \times \text{IMESI} (\%)$$

2. **Cálculo del nuevo monto de IMESI en dólares:**

$$\text{Nuevo Monto IMESI (USD)} = \text{Precio después de tasas} \times \text{Nuevo IMESI (\%)}%$$

3. **Cálculo del nuevo precio final:**

$$\text{Nuevo Precio Final} = \text{Precio después de tasas} \times (1 + \text{Nuevo IMESI (\%)}%) \times (1 + \text{IVA (\%)}%)$$

4. **Cálculo de la variación porcentual de precio:**

$$\text{Variación Precio (\%)} = \frac{\text{Nuevo Precio Final} - \text{Precio Diciembre 2023 USD}}{\text{Precio Diciembre 2023 USD}} \times 100$$

5. **Cálculo de las ventas en el escenario simulado:**

$$\text{Ventas Escenario} = \text{Procesados} \times (1 + \text{Elasticidad aplicada} \times \text{Variación Precio (\%)}%)$$

6. **Cálculo de la variación porcentual de ventas:**

$$\text{Variación Ventas (\%)} = \frac{\text{Ventas Escenario} - \text{Procesados}}{\text{Procesados}} \times 100$$

7. **Cálculo de la recaudación de IMESI en el escenario:**

$$\text{Recaudación IMESI Escenario} = \text{Nuevo Monto IMESI (USD)} \times \text{Ventas Escenario}$$

8. **Cálculo de la recaudación de IMESI en el año base:**

$$\text{Recaudación IMESI Año Base} = \text{Monto IMESI} \times \text{Procesados}$$

#### 1.3.4. Información contenida en la hoja Resumen Escenarios

La hoja *Resumen Escenarios* contiene un resumen cuantitativo de los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios simulados. En la hoja se individualizan los resultados de los vehículos eléctricos puros (BEV), de forma de realizar proyecciones posteriores. A continuación se describen las columnas incluidas:

- Escenario: información relativa al escenario seleccionado. Indica si el escenario es escalonado o lineal, el número de escenario y la elasticidad

base que se aplica en el mismo.

- Elasticidad: elasticidad base para el escenario.
- Ventas Año Base (Sin BEV): cantidad de vehículos, excluyendo eléctricos puros, vendidos en el año base.
- Ventas BEV Año Base: cantidad de vehículos eléctricos puros vendidos en el año base.
- Ventas Escenario (Sin BEV): ventas proyectadas en el escenario, excluyendo eléctricos puros.
- Ventas BEV Escenario: ventas proyectadas de eléctricos puros en el escenario.
- Diferencia Ventas (Sin BEV): variación absoluta en ventas de vehículos, excluyendo eléctricos puros, entre el escenario y el año base.
- Recaudación IMESI Año Base (Sin BEV) (USD): recaudación por concepto de IMESI en el año base para vehículos, excluyendo eléctricos puros.
- Recaudación IMESI Año Base BEV (USD): recaudación por IMESI para vehículos eléctricos puros en el año base.
- Recaudación IMESI Escenario (Sin BEV) (USD): recaudación proyectada bajo el escenario, excluyendo eléctricos puros.
- Recaudación IMESI Escenario BEV (USD): recaudación proyectada bajo el escenario considerando solo vehículos eléctricos puros.
- Diferencia Recaudación IMESI (USD): variación total en la recaudación por IMESI entre el escenario y el año base.
- Recaudación IMESI Año Base (Sin BEV) / Unidad: recaudación promedio por vehículo en el año base, excluyendo los vehículos eléctricos puros.
- Recaudación IMESI Año Base BEV / Unidad: recaudación promedio por vehículo eléctrico puro en el año base.
- Recaudación IMESI Escenario (Sin BEV) / Unidad: recaudación promedio por vehículo en el escenario, excluyendo los vehículos eléctricos puros.
- Recaudación IMESI Escenario BEV / Unidad: recaudación promedio por vehículo eléctrico puro en el escenario.
- Consumo Año Base (Sin BEV) (tep) / Unidad: consumo energético promedio por unidad, en el año base, excluyendo los vehículos eléctricos pu-

ros. Expresado en tep. Dato calculado para la hoja de análisis energético.

- Consumo Escenario (Sin BEV) (tep) / Unidad: consumo energético promedio por unidad, en el escenario, excluyendo los vehículos eléctricos puros. Expresado en tep. Dato calculado para la hoja de análisis energético.
- Consumo eléctrico Año Base BEV (tep) / Unidad: consumo de energía eléctrica promedio por unidad en vehículos eléctricos puros, para el año base. Expresado en tep.
- Consumo eléctrico Escenario BEV (tep) / Unidad: consumo de energía eléctrica promedio por unidad en vehículos eléctricos puros, para el escenario. Expresado en tep.
- Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton) / Unidad: emisiones promedio de CO<sub>2</sub> por vehículo eléctrico puro, en el año base.
- Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) / Unidad: emisiones promedio de CO<sub>2</sub> por vehículo eléctrico puro, en el escenario.
- Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton) / Unidad: emisiones promedio de CO<sub>2</sub> por vehículo, excluyendo eléctricos puros, en el año base.
- Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) / Unidad: emisiones promedio de CO<sub>2</sub> por vehículo, excluyendo eléctricos puros, en el escenario.

### 1.3.5. Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Resumen Escenarios

#### 1. Ventas en el Año Base (sin BEV):

$$\text{Ventas Año Base (sin BEV)} = \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Procesados}_i$$

#### 2. Ventas BEV en el Año Base:

$$\text{Ventas BEV Año Base} = \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Procesados}_i$$

#### 3. Ventas en el Escenario (sin BEV):

$$\text{Ventas Escenario (sin BEV)} = \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i$$

**4. Ventas BEV en el Escenario:**

$$\text{Ventas BEV Escenario} = \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i$$

**5. Diferencia de Ventas (sin BEV):**

$$\begin{aligned} \text{Diferencia Ventas (sin BEV)} = \\ \text{Ventas Escenario (sin BEV)} - \text{Ventas Año Base (sin BEV)} \end{aligned}$$

**6. Recaudación IMESI Año Base (sin BEV):**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Año Base (sin BEV)} = \\ \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Recaudación IMESI Año Base}_i \end{aligned}$$

**7. Recaudación IMESI Año Base BEV:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Año Base BEV} = \\ \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Recaudación IMESI Año Base}_i \end{aligned}$$

**8. Recaudación IMESI Escenario (sin BEV):**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Escenario (sin BEV)} = \\ \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Recaudación IMESI Escenario}_i \end{aligned}$$

**9. Recaudación IMESI Escenario BEV:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Escenario BEV} = \\ \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Recaudación IMESI Escenario}_i \end{aligned}$$

**10. Diferencia Total de Recaudación IMESI:**

$$\begin{aligned} \text{Diferencia Recaudación IMESI} &= \sum_i \text{Recaudación IMESI Escenario}_i \\ &- \sum_i \text{Recaudación IMESI Año Base}_i \end{aligned}$$

**11. Recaudación IMESI Año Base (sin BEV) por unidad:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Año Base (sin BEV) / Unidad} &= \\ &\frac{\text{Recaudación IMESI Año Base (sin BEV)}}{\text{Ventas Año Base (sin BEV)}} \end{aligned}$$

**12. Recaudación IMESI Año Base BEV por unidad:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Año Base BEV / Unidad} &= \\ &\frac{\text{Recaudación IMESI Año Base BEV}}{\text{Ventas BEV Año Base}} \end{aligned}$$

**13. Recaudación IMESI Escenario (sin BEV) por unidad:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Escenario (sin BEV) / Unidad} &= \\ &\frac{\text{Recaudación IMESI Escenario (sin BEV)}}{\text{Ventas Escenario (sin BEV)}} \end{aligned}$$

**14. Recaudación IMESI Escenario BEV por unidad:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Escenario BEV / Unidad} &= \\ &\frac{\text{Recaudación IMESI Escenario BEV}}{\text{Ventas BEV Escenario}} \end{aligned}$$

**15. Consumo Año Base (sin BEV) (tep) / Unidad:**

$$\begin{aligned} \text{Consumo Año Base (sin BEV) (tep) / Unidad} &= \\ &\frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Consumo Año Base (sin BEV) (tep)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Ventas Año Base}_i} \end{aligned}$$

**16. Consumo Escenario (sin BEV) (tep) / Unidad:**

Consumo Escenario (sin BEV) (tep) / Unidad =

$$\frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Consumo Escenario (sin BEV) (tep)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i}$$

**17. Consumo eléctrico Año Base BEV (tep) / Unidad:**

Consumo eléctrico Año Base BEV (tep) / Unidad =

$$\frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Consumo eléctrico Año Base (BEV) (tep)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Ventas Año Base}_i}$$

**18. Consumo eléctrico Escenario BEV (tep) / Unidad:**

Consumo eléctrico Escenario BEV (tep) / Unidad =

$$\frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Consumo eléctrico Escenario (BEV) (tep)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i}$$

**19. Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton) / Unidad:**

Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton) / Unidad =

$$\frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Emisiones BEV CO}_2 \text{ Año Base (ton)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Ventas Año Base}_i}$$

**20. Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) / Unidad:**

Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) / Unidad =

$$\frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Emisiones BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i}$$

**21. Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton) / Unidad:**

Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton) / Unidad =

$$\frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Emisiones Sin BEV CO}_2 \text{ Año Base (ton)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Ventas Año Base}_i}$$

**22. Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) / Unidad:**

$$\text{Emisiones Sin BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton) / Unidad} = \frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Emisiones Sin BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton)}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i \neq \text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i}$$

### 1.3.6. Información contenida en la hoja Análisis Energético

La hoja Análisis Energético contiene un desglose del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociados a cada uno de los escenarios simulados. La información se organiza por Tipo 2 y Tipo de motor. A continuación se describen las columnas incluidas:

- Escenario: identifica el escenario simulado al que pertenecen los datos.
- Tipo 2: clasifica los vehículos según su categoría general (Automóvil, SUV, Utilitario).
- Tipo de motor: indica el tipo de propulsión del vehículo (N, D, MHEV, HEV, PHEV, BEV).
- Recorrido anual (km): distancia promedio recorrida anualmente por tipo de vehículo. Los datos son provistos por el MIEM, siendo 10252 km para automóviles y SUV, y 31200 km para utilitarios. Se destaca que estas distancias pueden ser modificadas por el usuario en el código [Simulacion de Escenarios.py](#).
- Ventas Año Base: cantidad de vehículos vendidos en el año base para esa categoría (Tipo 2 y Tipo de motor).
- Ventas Escenario: cantidad de vehículos vendidos bajo el escenario simulado para esa categoría (Tipo 2 y Tipo de motor).
- Consumo Año Base (L/100 km): consumo promedio ponderado por ventas de la categoría en el año base. Los BEV tienen una columna independiente con los datos de consumo eléctrico.
- Consumo Año Base (L): litros promedio, ponderado por ventas de la categoría, consumidos en el año base.
- Consumo Año Base (sin BEV) (tep): consumo promedio ponderado por ventas de la categoría en el año base, expresado en tep, sin considerar BEV. Se emplean factores de conversión para gasoil 50S y gasolina super 95 30S [42].
- Consumo Escenario (L/100 km): consumo promedio ponderado por ven-

tas de la categoría en el escenario.

- Consumo Escenario (L): litros promedio, ponderado por ventas de la categoría, consumidos en el escenario.
- Consumo Escenario (sin BEV) (tep): consumo promedio ponderado por ventas de la categoría en el escenario, expresado en tep, sin considerar BEV.
- Variación consumo anual (L): diferencia entre consumo escenario y el año base expresada en litros.
- Variación consumo anual ( $m^3$ ): diferencia entre consumo escenario y el año base expresada en metros cúbicos.
- Consumo eléctrico Año Base (kWh/km): consumo promedio ponderado por ventas en el año base para BEV, en kWh por km recorrido.
- Consumo eléctrico Año Base (kWh): consumo promedio anual ponderado por ventas de electricidad para BEV en el año base.
- Consumo eléctrico Año Base (BEV) (tep): consumo promedio anual, ponderado por ventas, en el año base para BEV, en tep.
- Consumo eléctrico Escenario (kWh/km): consumo promedio ponderado por ventas en el escenario para BEV, en kWh por km recorrido.
- Consumo eléctrico Escenario (kWh): consumo promedio anual, ponderado por ventas, de electricidad para BEV en el escenario.
- Consumo eléctrico Escenario (BEV) (tep): consumo promedio anual, ponderado por ventas, en el escenario para BEV, en tep.
- Variación consumo eléctrico (kWh): diferencia entre consumo escenario y el año base expresada en kWh.
- Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton): emisiones totales de CO<sub>2</sub> del año base, excluyendo vehículos eléctricos puros.
- Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton): emisiones totales de CO<sub>2</sub> del escenario, excluyendo vehículos eléctricos puros.
- Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton): emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al uso de electricidad por parte de los BEV en el año base, calculadas según el factor de emisión del SIN [41].
- Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton): emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al uso de electricidad por parte de los BEV en el escenario, calculadas según el factor de emisión del SIN.
- Emisiones CO<sub>2</sub> Año Base (ton): emisiones totales de CO<sub>2</sub> sumando BEV

y no BEV en el año base.

- Emisiones CO<sub>2</sub> Escenario (ton): emisiones totales de CO<sub>2</sub> sumando BEV y no BEV en el escenario.
- Variación CO<sub>2</sub> (ton): diferencia total de emisiones de CO<sub>2</sub> entre el escenario y el año base.

### 1.3.7. Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Análisis Energético

Ventas Año Base = Procesados

1. Consumo promedio del Año Base ponderado por ventas para cada categoría (Tipo 2 y Tipo de Motor)

$$\text{Consumo Año Base (L/100 km)} = \frac{\sum_i \text{Consumo (L/100 km)}_i \cdot \text{Procesados}_i}{\sum_i \text{Procesados}_i}$$

2. Consumo total del Año Base expresado en litros:

$$\text{Consumo Año Base (L)} = \text{Ventas Año Base} \times \left( \frac{\text{Consumo Año Base (L/100 km)} \times \text{Recorrido anual (km)}}{100} \right)$$

3. Consumo total del Año Base, excluyendo vehículos eléctricos, expresado en tep:

$$\text{Consumo Año Base (sin BEV) (tep)} = \frac{\text{Consumo Año Base (L)}}{1000 (L/m^3)} \times \text{FC (tep/m}^3\text{)}$$

$$\text{Factor de conversión (FC) [42]} = \begin{cases} 0,8551 & \text{si Tipo de motor} = \text{D, Gasoil 50S} \\ 0,7774 & \text{si Tipo de motor} \neq \text{D, Gasolina super 95} \end{cases}$$

4. Consumo promedio del Escenario ponderado por ventas para cada categoría (Tipo 2 y Tipo de Motor)

$$\text{Consumo Escenario (L/100 km)} = \frac{\sum_i \text{Consumo (L/100 km)}_i \cdot \text{Ventas Escenario}_i}{\sum_i \text{Ventas Escenario}_i}$$

**5. Consumo total del Escenario expresado en litros:**

$$\text{Consumo Escenario (L)} = \text{Ventas Escenario} \times \left( \frac{\text{Consumo Escenario (L/100 km)} \times \text{Recorrido anual (km)}}{100} \right)$$

**6. Consumo total del Escenario, excluyendo vehículos eléctricos, expresado en tep:**

$$\text{Consumo Escenario (sin BEV) (tep)} = \frac{\text{Consumo Escenario (L)}}{1000 (L/m^3)} \times \text{Factor de conversión (tep/m}^3\text{)}$$

**7. Variación consumo anual en litros:**

$$\text{Variación consumo anual (L)} = \text{Consumo Escenario (L)} - \text{Consumo Año Base (L)}$$

**8. Variación consumo anual (m³):**

$$\text{Variación consumo anual (m}^3\text{)} = \frac{\text{Variación consumo anual (L)}}{1000}$$

**9. Consumo eléctrico promedio, ponderado por ventas, del Año Base (kWh/km) para vehículos eléctricos:**

$$\text{Consumo eléctrico Año Base (kWh/km)} = \frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Consumo eléctrico (kWh/km)}_i \cdot \text{Ventas Año Base}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Ventas Año Base}_i}$$

**10. Consumo eléctrico total del Año Base para BEV (kWh):**

$$\text{Consumo eléctrico Año Base (kWh)} = \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i = \text{BEV}} \text{Ventas Año Base}_i \cdot \text{Consumo eléctrico (kWh/km)}_i \cdot \text{Recorrido anual (km)}$$

**11. Consumo eléctrico total del Año Base para BEV (tep):**

$$\begin{aligned} \text{Consumo eléctrico Año Base (BEV) (tep)} = \\ \frac{\text{Consumo eléctrico Año Base (kWh)}}{1000(kWh/MWh)} \times FC(tep/MWh) \end{aligned}$$

Factor de conversión (FC): 0,086 tep/MWh [48]

**12. Consumo eléctrico promedio, ponderado por ventas, del Escenario (kWh/km) para vehículos eléctricos:**

$$\begin{aligned} \text{Consumo eléctrico Escenario (kWh/km)} = \\ \frac{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i=\text{BEV}} \text{Consumo eléctrico (kWh/km)}_i \cdot \text{Ventas Escenario}_i}{\sum_{i: \text{Tipo de motor}_i=\text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i} \end{aligned}$$

**13. Consumo eléctrico total del Escenario para BEV expresado en kWh:**

$$\begin{aligned} \text{Consumo eléctrico Escenario (kWh)} = \\ \sum_{i: \text{Tipo de motor}_i=\text{BEV}} \text{Ventas Escenario}_i \cdot \text{Consumo eléctrico (kWh/km)}_i \cdot \\ \text{Recorrido anual (km)} \end{aligned}$$

**14. Consumo eléctrico total del Escenario para BEV expresado en tep:**

$$\begin{aligned} \text{Consumo eléctrico Escenario (BEV) (tep)} = \\ \frac{\text{Consumo eléctrico Escenario (kWh)}}{1000(kWh/MWh)} \times FC(tep/MWh) \end{aligned}$$

Factor de conversión (FC): 0,086 tep/MWh [48]

**15. Variación del consumo eléctrico anual en kWh:**

$$\begin{aligned} \text{Variación consumo eléctrico (kWh)} = \\ \text{Consumo eléctrico Escenario (kWh)} - \text{Consumo eléctrico Año Base (kWh)} \end{aligned}$$

**16. Emisiones totales del Año Base para vehículos sin motorización**

eléctrica, expresado en toneladas de CO<sub>2</sub>:

Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton) =

$$\frac{\text{Consumo Año Base (L)} \times \text{FE (g CO}_2\text{/L)}}{1000000 (gCO_2/tonCO_2)}$$

$$\text{Factor de emisión (FE) [23]} = \begin{cases} 2684,4 & \text{si Tipo de motor} = D \\ 2336,9 & \text{si Tipo de motor} \neq D \end{cases}$$

**17. Emisiones totales del Escenario para vehículos sin motorización eléctrica (ton CO<sub>2</sub>):**

Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Escenario (ton) =

$$\frac{\text{Consumo Escenario (L)} \times \text{FE (g CO}_2\text{/L)}}{1000000 (gCO_2/tonCO_2)}$$

$$\text{Factor de emisión (FE) [23]} = \begin{cases} 2684,4 & \text{si Tipo de motor} = D \\ 2336,9 & \text{si Tipo de motor} \neq D \end{cases}$$

**18. Emisiones totales del Año Base para vehículos eléctricos (ton CO<sub>2</sub>):**

$$\text{Emisiones BEV CO}_2 \text{ Año Base (ton)} = \frac{\text{Consumo eléctrico Año Base (kWh)}}{1000000 (kWh/GWh)} \times FE$$

Factor de emisión (FE): 56 ton CO<sub>2</sub>/GWh [41]

**19. Emisiones totales del Escenario para vehículos eléctricos (ton CO<sub>2</sub>):**

$$\text{Emisiones BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton)} = \frac{\text{Consumo eléctrico Escenario (kWh)}}{1000000 (kWh/GWh)} \times FE$$

Factor de emisión (FE): 56 ton CO<sub>2</sub>/GWh [41]

**20. Emisiones totales del Año Base para todos los vehículos (ton CO<sub>2</sub>):**

Emisiones CO<sub>2</sub> Año Base (ton) =

Emisiones BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton)+Emisiones Sin BEV CO<sub>2</sub> Año Base (ton)

21. **Emisiones totales del Escenario para todos los vehículos (ton CO<sub>2</sub>):**

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CO}_2 \text{ Escenario (ton)} = \\ \text{Emisiones BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton)} + \text{Emisiones Sin BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton)} \end{aligned}$$

22. **Variación total de emisiones de CO<sub>2</sub> (ton):**

$$\begin{aligned} \text{Variación CO}_2 \text{ (ton)} = \\ \text{Emisiones CO}_2 \text{ Escenario (ton)} - \text{Emisiones CO}_2 \text{ Año Base (ton)} \end{aligned}$$

## 1.4. Proyección

La información y las fórmulas se organizan en las siguientes subsecciones:

- Información contenida en la hoja *Proyección Recaudación* [1.4.1](#)
- Fórmulas empleadas para la creación de la hoja *Proyección Recaudación* [1.4.2](#)
- Información contenida en la hoja *Proyección Energía* [1.4.3](#)
- Fórmulas empleadas para la creación de la hoja *Proyección Energía* [1.4.4](#)

### 1.4.1. Información contenida en la hoja Proyección Recaudación

La hoja incluye las siguientes columnas:

- Escenario: permite asociar a que escenario esta asociada cada proyección.
- Tipo de penetración: indica la trayectoria de electrificación asumida (Pesimista, Tendencial o Acelerada).
- Año: año de la proyección (2024 a 2028).
- Participación BEV: porcentaje de vehículos eléctricos en el total de ventas para el año correspondiente.
- Ventas BEV: cantidad proyectada de vehículos eléctricos puros vendidos ese año.
- Ventas No-BEV: cantidad proyectada de unidades con motorización no eléctrica (gasolina, diésel, híbridos).

- Recaudación IMESI BEV (USD): ingresos fiscales asociados a la venta de BEV, calculados según la tasa IMESI correspondiente al escenario.
- Recaudación IMESI No-BEV (USD): ingresos fiscales generados por la venta de vehículos no eléctricos.
- Recaudación IMESI Total (USD): suma de la recaudación IMESI para BEV y no-BEV.
- Diferencia IMESI vs Año Base 2023 (USD): variación absoluta respecto a la recaudación total observada en 2023.

#### 1.4.2. Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Proyección Recaudación

1. **Ventas anuales de vehículos eléctricos (BEV):**

$$\text{Ventas BEV}_t = \text{Ventas Totales}_t \times \left( \frac{\% \text{BEV}_t}{100} \right)$$

2. **Ventas anuales de vehículos no eléctricos (No-BEV):**

$$\text{Ventas No-BEV}_t = \text{Ventas Totales}_t - \text{Ventas BEV}_t$$

3. **Recaudación por concepto de IMESI para vehículos eléctricos:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI BEV (USD)} = \\ \text{Ventas BEV} \times \text{Recaudación IMESI Escenario BEV} / \text{Unidad} \end{aligned}$$

4. **Recaudación por concepto de IMESI excluyendo vehículos eléctricos:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI No-BEV (USD)} = \\ \text{Ventas No-BEV} \times \text{Recaudación IMESI Escenario (Sin BEV)} / \text{Unidad} \end{aligned}$$

5. **Recaudación total por concepto de IMESI:**

$$\begin{aligned} \text{Recaudación IMESI Total (USD)} = \\ \text{Recaudación IMESI BEV (USD)} + \text{Recaudación IMESI No-BEV (USD)} \end{aligned}$$

**6. Diferencia de recaudación por concepto de IMESI con respecto al Año Base 2023:**

$$\begin{aligned} &\text{Diferencia IMESI vs Año Base 2023 (USD)} = \\ &\text{Recaudación IMESI Total (USD)} - \text{Recaudación IMESI Año Base (USD)} \end{aligned}$$

**1.4.3. Información contenida en la hoja Proyección Energía**

La hoja incluye las siguientes columnas:

- Escenario: permite identificar el esquema fiscal aplicado en la proyección.
- Tipo de penetración: indica la trayectoria de electrificación considerada (Pesimista, Tendencial o Acelerada).
- Año: año del período proyectado (2024 a 2028).
- Participación BEV: porcentaje de vehículos eléctricos en el total de ventas.
- Ventas BEV: cantidad de vehículos eléctricos vendidos en el año correspondiente.
- Ventas No-BEV: cantidad de vehículos con motorización convencional vendidos.
- Consumo Energético Sin BEV (tep): consumo total estimado de los vehículos No-BEV, expresado en toneladas equivalentes de petróleo.
- Consumo Energético BEV (tep): consumo total estimado de los vehículos BEV, en tep.
- Consumo Energético Total (tep): suma de los consumos energéticos de BEV y No-BEV.
- Consumo Año Base (tep): valor de referencia del consumo energético total estimado para el año 2023.
- Consumo Energético Sin BEV (GWh): consumo energético de los No-BEV convertido a GWh.
- Consumo Energético BEV (GWh): consumo energético de los BEV convertido a GWh.
- Consumo Energético Total (GWh): consumo total de energía del parque proyectado en GWh.

- Consumo Año Base (GWh): consumo total correspondiente al año base, convertido a GWh.
- Emisiones CO<sub>2</sub> Año Base (ton): emisiones totales del año base (2023).
- Emisiones CO<sub>2</sub> Sin BEV (ton): emisiones anuales de los vehículos No-BEV.
- Emisiones CO<sub>2</sub> BEV (ton): emisiones asociadas al uso de electricidad por parte de los BEV, calculadas según el factor de emisión del SIN [41].
- Emisiones CO<sub>2</sub> Total (ton): suma de emisiones de BEV y No-BEV para el año correspondiente.

#### 1.4.4. Fórmulas empleadas para la creación de la hoja Proyección Energía

##### 1. Consumo energético anual No-BEV expresado en tep:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Energético Sin BEV (tep)} = \\ \text{Ventas No-BEV} \times \text{Consumo Escenario (sin BEV) (tep)/Unidad} \end{aligned}$$

##### 2. Consumo energético anual de BEV expresado en tep:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Energético BEV (tep)} = \\ \text{Ventas BEV} \times \text{Consumo eléctrico Escenario BEV (tep)/Unidad} \end{aligned}$$

##### 3. Consumo energético total anual expresado en tep:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Energético Total (tep)} = \\ \text{Consumo Energético Sin BEV (tep)} + \text{Consumo Energético BEV (tep)} \end{aligned}$$

##### 4. Consumo energético del Año Base expresado en tep:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Año Base (tep)} = \\ \text{Ventas Año Base (Sin BEV)} \times \text{Consumo Año Base (sin BEV) (tep)/Unidad} \\ + \text{Ventas BEV Año Base} \times \text{Consumo eléctrico Año Base BEV (tep)/Unidad} \end{aligned}$$

##### 5. Conversión del consumo energético de No-BEV a GWh:

$$\begin{aligned}\text{Consumo Energético Sin BEV (GWh)} &= \\ \text{Consumo Energético Sin BEV (tep)} \times 0,01163 \text{ (GWh/tep)}\end{aligned}$$

**6. Conversión del consumo energético de BEV a GWh:**

$$\begin{aligned}\text{Consumo Energético BEV (GWh)} &= \\ \text{Consumo Energético BEV (tep)} \times 0,01163 \text{ (GWh/tep)}\end{aligned}$$

**7. Consumo energético total anual expresado en GWh:**

$$\begin{aligned}\text{Consumo Energético Total (GWh)} &= \\ \text{Consumo Energético Total (tep)} \times 0,01163 \text{ (GWh/tep)}\end{aligned}$$

**8. Conversión del consumo energético del Año Base a GWh:**

$$\begin{aligned}\text{Consumo Año Base (GWh)} &= \\ \text{Consumo Año Base (tep)} \times 0,01163 \text{ (GWh/tep)}\end{aligned}$$

**9. Emisiones del Año Base expresadas en toneladas de CO<sub>2</sub>:**

$$\begin{aligned}\text{Emisiones CO}_2 \text{ Año Base (ton)} &= \\ \text{Ventas Año Base (Sin BEV)} \times \text{Emisiones Sin BEV CO}_2 \text{ Año Base (ton)/Unidad} \\ + \text{Ventas BEV Año Base} \times \text{Emisiones BEV CO}_2 \text{ Año Base (ton)/Unidad}\end{aligned}$$

**10. Emisiones anuales de No-BEV expresadas en toneladas de CO<sub>2</sub>:**

$$\begin{aligned}\text{Emisiones CO}_2 \text{ Sin BEV (ton)} &= \\ \text{Ventas No-BEV} \times \text{Emisiones Sin BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton)/Unidad}\end{aligned}$$

**11. Emisiones anuales de BEV expresadas en toneladas de CO<sub>2</sub>:**

$$\begin{aligned}\text{Emisiones CO}_2 \text{ BEV (ton)} &= \\ \text{Ventas BEV} \times \text{Emisiones BEV CO}_2 \text{ Escenario (ton)/Unidad}\end{aligned}$$

**12. Emisiones totales anuales expresadas en toneladas de CO<sub>2</sub>:**

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CO}_2 \text{ Total (ton)} = \\ \text{Emisiones CO}_2 \text{ Sin BEV (ton)} + \text{Emisiones CO}_2 \text{ BEV (ton)} \end{aligned}$$

# ANEXOS

# Anexo 1

| Categoría                                               | Descripción                                                                                                                                                                                                                  | Clasificación                                                                             |                               |                    |                                            |                                            |                                            |       |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                              | I                                                                                         | II                            | III                | IV                                         |                                            |                                            | V     |
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                              | Vehículo con motor diésel                                                                 | Vehículo con motor a gasolina | Vehículo eléctrico | Vehículo eléctrico híbrido subcategoría a) | Vehículo eléctrico híbrido subcategoría a) | Vehículo eléctrico híbrido subcategoría a) | Otros |
| Clasificación del tipo de motor en el marco de la tesis |                                                                                                                                                                                                                              | D                                                                                         | N                             | BEV                | PHEV                                       | HEV                                        | MHEV                                       | -     |
| A                                                       | Camiones, tracto camiones, vehículos destinados al transporte de cargas, vehículos destinados al transporte de cargas y pasajeros y triciclos de caja abierta o cerrada que se detallan                                      | Aplicar tasas A1, A2, A3, A4, A5 o A6, según corresponda por descripción y clasificación. |                               |                    |                                            |                                            |                                            |       |
| A2                                                      | Vehículos destinados al transporte de cargas con cabina simple, cabina y media o extendida, con o sin caja, no comprendidos en A1 y A6                                                                                       | 34,70%                                                                                    | 6,00%                         | 0,00%              | 1,15%                                      | 1,15%                                      | 3,15%                                      | 6,00% |
| A3                                                      | Vehículos destinados al transporte de cargas y pasajeros de doble cabina, con o sin caja, con motor de cilindrada hasta 1.600 c.c. o eléctrico                                                                               | 34,70%                                                                                    | 6,00%                         | 0,00%              | 1,15%                                      | 1,15%                                      | 3,15%                                      | 8,00% |
| A4                                                      | Vehículos destinados al transporte de cargas y pasajeros de doble cabina, con o sin caja, con motor de cilindrada de más de 1.600 c.c. y hasta 3.500 c.c., no comprendidos en A1, incluidos en el Artículo eléctrico 35 bis. | 34,70%                                                                                    | 6,00%                         | No aplica          | 1,15%                                      | 1,15%                                      | 3,15%                                      | 8,60% |

**Tabla 1.1:** Tasas de IMESI para vehículos utilitarios extraídas del Decreto N° 390/021 [6]. Solo se muestran las categorías que se encuentran enmarcadas por la clasificación N1 según la clasificación del reglamento técnico MERCOSUR sobre vehículos automotores y remolques (MERCOSUR/GMC/RES. N° 60/19) [7]

| Categoría                                               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Clasificación                                                                          |                               |                    |                                                                                        |                                            |                                            |        |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | I                                                                                      | II                            | III                | IV                                                                                     |                                            |                                            | V      |
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Vehículo con motor diésel                                                              | Vehículo con motor a gasolina | Vehículo eléctrico | Vehículo eléctrico híbrido subcategoría a)                                             | Vehículo eléctrico híbrido subcategoría a) | Vehículo eléctrico híbrido subcategoría a) | Otros  |
| Clasificación del tipo de motor en el marco de la tesis |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | D                                                                                      | N                             | BEV                | PHEV                                                                                   | HEV                                        | MHEV                                       | -      |
| F                                                       | AUTOMÓVILES de pasajeros y sus derivados construidos a partir de la misma mecánica, incluidas las camionetas rurales, camionetas tipo minibús, carros de golf y similares (aun sin cabina), con tracción sencilla o doble, triciclos motorizados con capacidad igual o mayor a tres personas y ómnibus no incluidos en la categoría C. | Aplicar tasas F1, F2, F3, F4, F5 o F6 según corresponda por cilindrada y clasificación |                               | 0%                 | Aplicar tasas F1, F2, F3, F4, F5 o F6 según corresponda por cilindrada y clasificación |                                            |                                            |        |
| F1                                                      | Para motores con cilindrada de hasta 1.000 c.c.                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 115%                                                                                   | 23,00%                        | No aplica          | 2,00%                                                                                  | 3,45%                                      | 7,00%                                      | 26,45% |
| F2                                                      | Para motores con cilindrada de más de 1.000 c.c. y hasta 1.500 c.c.                                                                                                                                                                                                                                                                    | 115%                                                                                   | 28,75%                        | No aplica          | 2,00%                                                                                  | 3,45%                                      | 7,00%                                      | 29,90% |
| F3                                                      | Para motores con cilindrada de más de 1.500 c.c. y hasta 2.000 c.c.                                                                                                                                                                                                                                                                    | 115%                                                                                   | 34,50%                        | No aplica          | 2,00%                                                                                  | 3,45%                                      | 14,00%                                     | 34,50% |
| F4                                                      | Para motores con cilindrada de más de 2.000 c.c. y hasta 2.500 c.c.                                                                                                                                                                                                                                                                    | 115%                                                                                   | 40,25%                        | No aplica          | 2,00%                                                                                  | 3,45%                                      | 34,50%                                     | 40,25% |
| F5                                                      | Para motores con cilindrada de más de 2.500 c.c. y hasta 3.000 c.c.                                                                                                                                                                                                                                                                    | 115%                                                                                   | 40,25%                        | No aplica          | 34,50%                                                                                 | 34,50%                                     | 34,50%                                     | 40,25% |
| F6                                                      | Para motores con cilindrada de más de 3.000 c.c.                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 115%                                                                                   | 46,00%                        | No aplica          | 34,50%                                                                                 | 34,50%                                     | 34,50%                                     | 46,00% |

**Tabla 1.2:** Tasas de IMESI para automóviles y SUV extraídas del Decreto N° 390/021 [6]. Solo se muestran las categorías que se encuentran enmarcadas por la clasificación M1 según la clasificación del reglamento técnico MERCOSUR sobre vehículos automotores y remolques (MERCOSUR/GMC/RES. N° 60/19) [7]

## Anexo 2

**Tabla 2.1:** Datos de referencia para la creación de boxplot y para la definición de escenarios

| %<br>IMESI | Q1     | Mediana | Q3     | IQR    | Valor<br>ex-<br>tremo<br>infe-<br>rior | Valor<br>ex-<br>tremo<br>super-<br>rior | Valores<br>atípi-<br>cos | Categoría de IMESI de<br>acuerdo con Decreto N°<br>390/021 [6]                                         | Media<br>pon-<br>dera-<br>da por<br>ventas |
|------------|--------|---------|--------|--------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|            | (g/km) | (g/km)  | (g/km) | (g/km) | (g/km)                                 | (g/km)                                  | (g/km)                   |                                                                                                        | (g/km)                                     |
| 2          | 36     | 42      | 52     | 16     | 27                                     | 64                                      |                          | PHEV (0-2.500 c.c.)                                                                                    | 42,23                                      |
| 3,45       | 91     | 101     | 109    | 18     | 88                                     | 131                                     | (148)                    | HEV (0-2.500 c.c.)                                                                                     | 102,76                                     |
| 6          | 174    | 187     | 260    | 86     | 145                                    | 306                                     |                          | Utilitarios gasolina (0-3.500 c.c.)                                                                    | 177,86                                     |
| 7          | 119,5  | 141     | 179    | 59,5   | 97                                     | 189                                     |                          | MHEV (0-1.500 c.c.)                                                                                    | 119,28                                     |
| 14         | 169    | 177     | 183    | 14     | 165                                    | 201                                     |                          | MHEV (1.500-2.000 c.c.)                                                                                | 174,24                                     |
| 23         | 129    | 133     | 150    | 21     | 99                                     | 162                                     | (97)                     | Automóviles y SUV gasoli-<br>na (0-1.000 c.c.)                                                         | 133,20                                     |
| 28,75      | 140    | 151     | 169,5  | 29,5   | 115                                    | 212                                     |                          | Automóviles y SUV gasoli-<br>na (1.000-1.500 c.c.)                                                     | 147,26                                     |
| 34,5       | 137    | 159     | 173    | 36     | 128                                    | 217                                     | (237,228)                | Automóviles y SUV<br>gasolina (1.500-2.000 c.c.), PHEV y HEV<br>(≥ 2.500 c.c.), MHEV<br>(≥ 2.000 c.c.) | 159,42                                     |
| 34,7       | 196,75 | 220     | 227    | 30,25  | 153                                    | 251                                     | (139)                    | Utilitarios diésel (0-3.500 c.c.)                                                                      | 208,47                                     |
| 40,25      | 169,5  | 183,5   | 197    | 27,5   | 163                                    | 204                                     | (248)                    | Automóviles y SUV gasoli-<br>na (2.000-3.000 c.c.)                                                     | 186,05                                     |
| 46         | 247,75 | 255,5   | 263,25 | 15,5   | 240                                    | 271                                     |                          | Automóviles y SUV gasoli-<br>na (≥ 3.000 c.c.)                                                         | 258,08                                     |
| 115        | 109,3  | 109,3   | 122    | 12,7   | 109,3                                  | 122                                     | (155)                    | Automóviles y SUV diésel<br>(todas las cilindradas)                                                    | 111,20                                     |

## Anexo 3

**Tabla 3.1:** Gráficos generados a partir de scripts en Python para la presentación de los datos, análisis y discusión realizada en el capítulo 4. Parte 1

| Descripción del gráfico                                                                                                                                                      | Nombre del código                                           | Figura y sección           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Boxplot de emisiones de CO <sub>2</sub> por franja de IMESI                                                                                                                  | <a href="#">Extracción datos CO2 vs IMESI y Graficos.py</a> | Figura 4.1, Sección 4.1    |
| Distribución de emisiones específicas según ventas acumuladas                                                                                                                | <a href="#">Extracción datos CO2 vs IMESI y Graficos.py</a> | Figura 4.2, Sección 4.1    |
| Distribución de emisiones específicas según ventas acumuladas con rango de eje Y fijo                                                                                        | <a href="#">Extracción datos CO2 vs IMESI y Graficos.py</a> | Figura 4.3, Sección 4.1    |
| Histograma de emisiones de CO <sub>2</sub> según volumen de ventas                                                                                                           | <a href="#">Extracción datos CO2 vs IMESI y Graficos.py</a> | Figura 4.4, Sección 4.1    |
| Ventas totales por escenario en relación al año sin intervención (año base)                                                                                                  | <a href="#">Graficos Variación de Ventas.py</a>             | Figura 4.5, Sección 4.2.1  |
| Variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por tipo de motor                                                                            | <a href="#">Graficos Variación de Ventas.py</a>             | Figura 4.6, Sección 4.2.1  |
| Mapa de calor: Variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por tipo de motor                                                             | <a href="#">Graficos Variación de Ventas.py</a>             | Figura 4.7, Sección 4.2.1  |
| Mapa de calor: Variación porcentual en las unidades vendidas para cada escenario, diferenciado por categoría vehicular                                                       | <a href="#">Graficos Variación de Ventas.py</a>             | Figura 4.8, Sección 4.2.1  |
| Mapa de calor: Variación del consumo promedio (L/100km), diferenciado por categoría vehicular                                                                                | <a href="#">Graficos Variación de Ventas.py</a>             | Figura 4.9, Sección 4.2.2  |
| Mapa de calor: Variación del consumo promedio (L/100km), diferenciado por tipo de motorización                                                                               | <a href="#">Graficos Variación de Ventas.py</a>             | Figura 4.10, Sección 4.2.2 |
| Impacto de los escenarios sobre el consumo anual de combustible, diferenciado por categoría de vehículo                                                                      | <a href="#">Graficos Análisis Energético.py</a>             | Figura 4.11, Sección 4.2.3 |
| Diferencia anual de consumo de combustible (en m <sup>3</sup> ) por tipo de motorización y escenario, en relación al parque vehicular original del año 2023 sin intervención | <a href="#">Graficos Análisis Energético.py</a>             | Figura 4.12, Sección 4.2.3 |
| Impacto de los escenarios sobre las emisiones de CO <sub>2</sub> , diferenciado por categoría de vehículo                                                                    | <a href="#">Graficos Análisis Energético.py</a>             | Figura 4.13, Sección 4.2.3 |
| Impacto de los escenarios sobre las emisiones de CO <sub>2</sub> por tipo de motorización                                                                                    | <a href="#">Graficos Análisis Energético.py</a>             | Figura 4.14, Sección 4.2.3 |

**Tabla 3.2:** Gráficos generados a partir de scripts en Python para la presentación de los datos, análisis y discusión realizada en el capítulo 4. Parte 2

| Descripción del gráfico                                                                                                                       | Nombre del código                       | Figura y sección           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| Variación absoluta en la recaudación de IMESI (en millones USD) del escenario respecto al año base                                            | <a href="#">Gráficos recaudación.py</a> | Figura 4.15, Sección 4.3   |
| Variación de la recaudación de IMESI por unidad vendida (USD/unidad) del escenario respecto al año base                                       | <a href="#">Gráficos recaudación.py</a> | Figura 4.16, Sección 4.3   |
| Diferencia absoluta en las unidades vendidas (BEV y no BEV) respecto al año base                                                              | <a href="#">Gráficos recaudación.py</a> | Figura 4.17, Sección 4.3   |
| Distribución de ventas de vehículos BEV y No-BEV en el año 2024 para los escenarios simulados con elasticidad-precio -1,87                    | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.18, Sección 4.4   |
| Evolución de la participación de BEV (%) en las ventas de vehículos 0 km para tres escenarios diferentes: pesimista, tendencial y acelerado   | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.19, Sección 4.4   |
| Recaudación acumulada por concepto de IMESI en el período 2024 - 2028, para cada escenario y trayectoria de electrificación                   | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.20, Sección 4.4.1 |
| Variación anual en la recaudación de IMESI con respecto al año base 2023, para tres tipos de penetración de BEV y los escenarios 4, 8, 9 y 10 | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.21, Sección 4.4.2 |
| Consumo energético acumulado (2024-2028) considerando solo vehículos BEV. Resultados expresados en miles de tep (ktep)                        | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.22, Sección 4.4.3 |
| Consumo energético acumulado (2024-2028) considerando solo vehículos BEV. Resultados expresados en GWh                                        | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.23, Sección 4.4.3 |
| Consumo energético acumulado sin considerar BEV para el período 2024-2028. Resultados expresados en miles de tep (ktep)                       | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.24, Sección 4.4.4 |
| Consumo energético acumulado sin considerar BEV para el período 2024-2028. Resultados expresados en GWh                                       | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.25, Sección 4.4.4 |
| Consumo energético acumulado total (2024-2028). Resultados expresados en miles de tep (ktep)                                                  | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.26, Sección 4.4.5 |
| Consumo energético acumulado total (2024-2028). Resultados expresados en GWh                                                                  | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.27, Sección 4.4.5 |
| Emisiones acumuladas de CO <sub>2</sub> para el período 2024-2028                                                                             | <a href="#">Proyección 5 años.py</a>    | Figura 4.28, Sección 4.4.6 |