Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized

GRUPO BANCO MUNDIAL

Apoyo al gobierno de Colombia en la

PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS TAXIS Y LA IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO PARA SU TRANSICIÓN A VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

© [2025] Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial
1818 H Street NW,
Washington, DC 20433
Teléfono: (202) 473-1000
Internet: www.worldbank.org

El presente documento fue elaborado por el personal del Banco Mundial, con contribuciones externas. Los resultados, las interpretaciones y las conclusiones aquí expresados no necesariamente reflejan la opinión del Banco Mundial, de su Directorio Ejecutivo, ni de los países representados por este.

El Banco Mundial no garantiza la exactitud, la exhaustividad ni la vigencia de los datos incluidos en este trabajo. Tampoco asume responsabilidad por errores, omisiones o discrepancias en la información aquí contenida ni otro tipo de obligación con respecto al uso o a la falta de uso de los datos, los métodos, los procesos o las conclusiones aquí presentados. Las fronteras, los colores, las denominaciones y demás datos que aparecen en los mapas de este documento no implican juicio alguno, por parte del Banco Mundial, sobre la condición jurídica de los territorios, ni la aprobación o aceptación de tales fronteras.

Nada de lo establecido en este documento constituirá o se considerará una limitación o renuncia a los privilegios e inmunidades del Banco Mundial, los cuales quedan específicamente reservados en su totalidad.

Derechos y autorizaciones

El material contenido en este documento está registrado como propiedad intelectual. El Banco Mundial alienta la difusión de sus conocimientos y autoriza la reproducción total o parcial de este informe para fines no comerciales, en tanto se cite la fuente.

Cualquier consulta sobre derechos y licencias, incluidos derechos subsidiarios, deberá dirigirse a la siguiente dirección: World Bank Publications, The World Bank, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, EE. UU.; fax: +1 (202) 522-2625; correo electrónico: pubrights@worldbank.org.

Diseño de la portada: Gretty Viviana Acosta Arregocés

Agradecimientos
A las organizaciones con las que han contribuido durante la elaboración del reporte

GRUPO BANCO MUNDIAL

PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS TAXIS Y LA IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO PARA SU TRANSICIÓN A VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Equipo de trabajo

Banco Mundial
Director país para Colombia
Mark Thomas

Gerente país para Colombia
Peter Siegenthaler

Especialista Senior en Transporte
Leonardo Cañón Rubiano

Especialista en Transporte
Ellin Ivarsson

Consultora en Transporte
Laura Correa

Ministerio de Transporte
Ministerio de Transporte
Maria Fernanda Rojas Mantilla

Viceministro Infraestructura
Jorge Enrique Ramírez Hernández

Coordinadora Grupo de Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible- GAADS (E)
María Camila Páez Páez

Económica Consultores y Hill Consulting
Director de proyecto
Pablo Roda

Experta Ambiental
Mónica Espinosa

Experto Economista
Francisco Perdomo

Ingeniera de apoyo
Liliana Martínez

Diseño y Diagramación: Gretty Acosta Arregocés
Corrección de Estilo: Laura Correa
Diseño de la portada: Gretty Viviana Acosta Arregocés

Copyright © 2025 por Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe
1818H Street, N.W. Washington D.C. 20433, U.S.A.
www.bancomundial.org/co

Foto: Adobe Stock

CONTENIDO

05 INTRODUCCIÓN

08 CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE TAXIS

20 COSTO TOTAL DE PROPIEDAD DE LOS TAXIS

34 PARÁMETROS AMBIENTALES PARA ESTIMACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES

40 SUPUESTOS GENERALES

44 ESCENARIO DE POLÍTICA

53 LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA EL ESCALAMIENTO TECNOLÓGICO EN TAXIS

62 BIBLIOGRAFÍA

GRUPO BANCO MUNDIAL

1

INTRODUCCIÓN

Foto: Adobe Stock

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad en el sector transporte es un desafío clave para las ciudades colombianas, donde la modernización del parque automotor y la transición hacia tecnologías limpias juegan un papel fundamental en la reducción de emisiones contaminantes y en la mejora de la calidad de vida urbana. En este contexto, esta propuesta desarrolla un análisis técnico, económico y ambiental para la determinación de la vida útil de los vehículos de transporte público individual de pasajeros (taxis), con el propósito de establecer criterios que permitan optimizar su renovación y fomentar la adopción de tecnologías más sostenibles. Asimismo, se identifican fuentes potenciales de financiamiento que puedan viabilizar la transición hacia taxis eléctricos, contribuyendo a una movilidad más eficiente y alineada con los compromisos ambientales de Colombia.

La estimación de la vida útil óptima de los taxis se realiza mediante la evaluación del costo total de propiedad de los taxis y de los costos ambientales para diferentes alternativas tecnológicas, considerando escenarios de evaluación de sensibilidad de los resultandos ante la variación de los parámetros. En este reporte se presentan los insumos para la modelación, los cuales incluyen la actualización de datos del estudio desarrollado por Steer para la UPME en 2021 (Steer, 2021)[1], así como nueva información. La modelación de escenarios de la vida útil de los taxis se presenta como base para los análisis.

Desde una perspectiva ambiental, la renovación del parque de taxis representa una oportunidad significativa para reducir la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En Colombia, el transporte es uno de los principales emisores de CO_2 y contaminantes criterio, lo que afecta tanto la salud pública como el cumplimiento de las metas de mitigación establecidas en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés). La implementación de políticas de electrificación en el transporte público individual podría generar beneficios ambientales sustanciales, al reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la eficiencia energética del sector.

El análisis beneficio-costo (B/C) de una estrategia de electrificación de taxis constituye un eje central de este estudio. La metodología considera variables económicas como el precio de adquisición de vehículos eléctricos, el costo de los combustibles (gasolina, gas natural comprimido y electricidad), el mantenimiento y los seguros obligatorios, entre otros factores que inciden en la viabilidad financiera de la transición. Además, se examina la dinámica del parque automotor, incluyendo tasas de reposición, ingreso de nuevos vehículos y vida útil proyectada, lo que permite modelar distintos escenarios de adopción tecnológica en el tiempo.

A partir de estos escenarios, se cuantifica el impacto en la reducción de emisiones

1 Proyecto No 24058101 - Programa de ascenso tecnológico de taxis hacia cero y bajas emisiones.

contaminantes y se expresa en términos económicos mediante la valoración de externalidades ambientales. La estimación del valor social de la reducción de emisiones de material particulado (PM2.5), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono (CO_2) permite dimensionar el beneficio ambiental frente a un escenario tendencial sin intervención. La modelación permite evaluar diferentes configuraciones del programa, ajustando variables como el monto del incentivo, la población objetivo y las metas de penetración de vehículos eléctricos, con el fin de identificar la alternativa más eficiente desde el punto de vista económico, social y ambiental.

En un contexto de transición energética y movilidad sostenible, los resultados de este apoyo proporcionan insumos clave para la formulación de políticas públicas dirigidas a la transformación del sector de taxis en Colombia. La identificación de esquemas de financiamiento, incentivos adecuados y regulaciones alineadas con los objetivos de sostenibilidad permitirá facilitar la adopción de tecnologías más limpias y reducir la huella ambiental del transporte urbano. Finalmente, se presentan recomendaciones estratégicas para fortalecer la estructuración del programa de escalamiento tecnológico en taxis, con el fin de garantizar su viabilidad y maximizar su impacto en la movilidad sostenible del país.

Foto: Adobe Stock

2

CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE TAXIS

Foto: Adobe Stock

CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE TAXIS

El Decreto 1079 de 2015 del Ministerio de Transporte "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte" y que compila el Decreto 172 de 2001, entre otros reglamenta el servicio público de transporte terrestre automotor individual de pasajeros en vehículos taxi. En el Artículo 2.2.1.3.3 se define el servicio público de transporte terrestre automotor en vehículos taxis como "aquel que se presta bajo la responsabilidad de una empresa de transporte legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad, en forma individual, sin sujeción a rutas ni horarios, donde el usuario fija el lugar o sitio de destino, y el recorrido será establecido libremente por las partes contratantes".

2.1 Caracterización de la flota

La caracterización del parque taxis se realizó a partir de la base de datos RUNT con corte a febrero 2023, provista por Ministerio de Transporte.

Tabla 1. Distribución por clase – RUNT 2023.

Clase	Número de vehículos	Porcentaje (%)
Automóvil	214.486	97,73
Camioneta	4.974	2,27

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Automóviles

A corte de febrero del año 2023 existían 214.486 vehículos activos. El 83,5% del parque utiliza gasolina como energético, 15,3% son vehículos bi-combustible que operan con gas natural y gasolina, 0,2% son dedicados a GNC y 0.01% son flota eléctrica[1].

Tabla 2.Distribución por combustible.

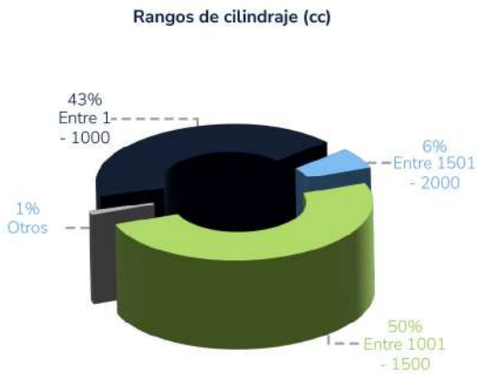
Combustible	Número de vehículos	Porcentaje (%)
Gasolina	179.075	83,5%
Bi-combustible: Gas natural - Gasolina	32.777	15,3%
Diésel	2.207	1,0%
Gas natural	426	0,2%
Electricidad	1	<0,01%
Híbrido: Gasolina - Eléctrica	1	<0,01%

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

El 50% del parque de automóviles tiene cilindraje entre 1001cc y 1500cc, el 43% es de cilindraje inferior a 1000cc, el 6% tiene un cilindraje entre 1501cc y 2000cc. Solo el 0,7% tiene un cilindraje mayor a 2001cc (Ilustración 1).

1 La base de datos con la que se trabajó tenía un filtro de color (amarillo). Por esta razón, los 51 vehículos eléctricos que hicieron parte del piloto realizado en Bogotá en el año 2013 están fuera de los datos.

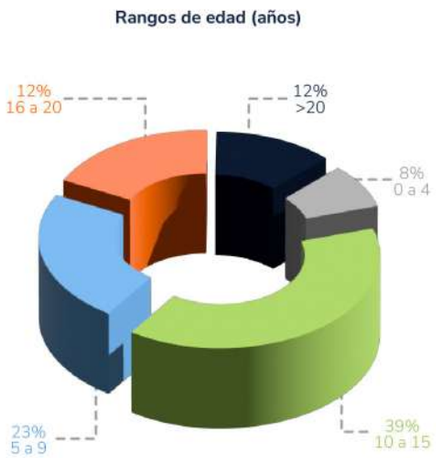
Ilustración 1. Distribución por tamaño del motor.



Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

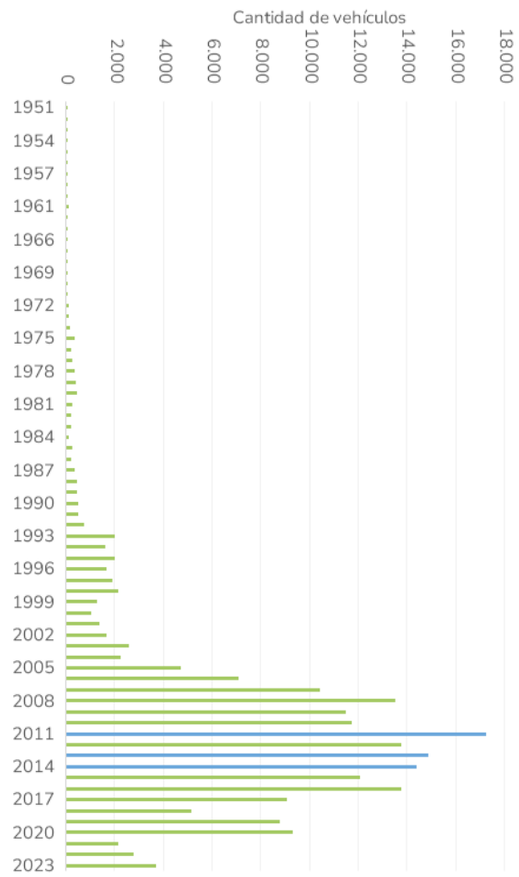
La edad promedio del parque de automóviles es de 13,6 años. El 39% está en el rango 10-15 años de antigüedad, el 23% de 5-9 años de antigüedad y el 18% está entre 16-20 años de antigüedad. Los modelos moda son 2011 (17.259 vehículos), 2013 (14.885 vehículos) y 2014 (14.412 vehículos) (Ilustración 2, Ilustración 3 y Tabla 3).

Ilustración 2. Distribución por edad de la flota.



Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Ilustración 3. Distribución por año modelo.



*En color azul se resaltan los años modelo moda[2].

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

2 Año modelo "moda": la moda en una muestra corresponde a los valores que se repiten con mayor frecuencia. En este caso hace referencia a los años modelos más comunes según los registros del RUNT.

Tabla 3. Distribución por cilindraje y edad.

Rango cilindraje (cc)\ Rango edad años	0 a 4	5 a 9	10 a 15	16 a 20	>20	Edad promedio	Cantidad
Entre 1 - 1000	2%	6%	21%	13%	1%	13,6	92.134
Entre 1001 - 1500	6%	14%	17%	4%	9%	12,8	107.745
Entre 1501 - 2000	1%	3%	0%	1%	2%	14,6	13.165
Entre 2001 - 2500	0%		0%	0%	0%	41,8	587
Entre 2501 - 3000				0%	0%	45,0	420
Mayor a 3000			0%	0%	0%	46,1	435
No aplica		0%				6,0	1
Total	**8%**	**23%**	**39%**	**18%**	**12%**	**13,4**	**214.487**

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

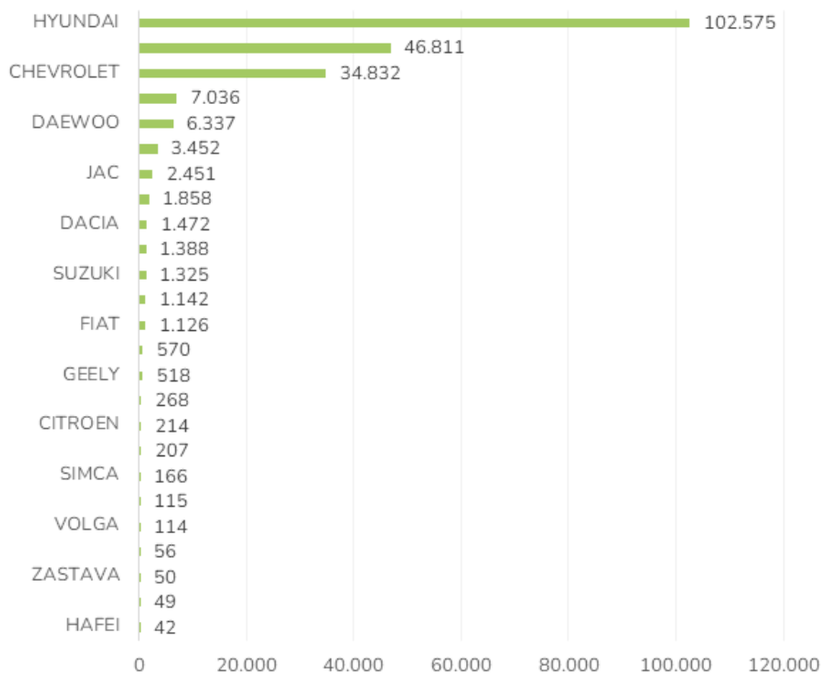
Tabla 4. Distribución por rangos de edad y municipio de matrícula- Top 25 de municipios.

Ciudad	0 a 4	5 a 9	10 a 15	16 a 20	>20	Total
BOGOTA	2,5%	6,6%	9,4%	5,1%	2,3%	**25,9%**
MEDELLIN	0,7%	2,2%	4,3%	1,7%	0,5%	**9,4%**
CALI	0,8%	2,0%	3,3%	1,3%	0,6%	**8,0%**
BARRANQUILLA	0,3%	1,1%	3,0%	1,3%	0,3%	**6,0%**
CUCUTA	0,2%	0,7%	1,4%	0,5%	0,4%	**3,1%**
CARTAGENA	0,5%	1,2%	0,7%	0,1%	0,1%	**2,7%**
SOLEDAD	0,0%	0,7%	1,2%	0,2%	0,1%	**2,2%**
FLORIDABLANCA	0,0%	0,2%	1,0%	0,7%	0,1%	**2,1%**
SANTA MARTA	0,2%	0,4%	0,9%	0,1%	0,4%	**2,0%**
VILLAVICENCIO	0,1%	0,2%	0,9%	0,6%	0,1%	**2,0%**
IBAGUE	0,0%	0,2%	0,7%	0,6%	0,5%	**1,9%**
ENVIGADO	0,1%	0,3%	0,8%	0,4%	0,1%	**1,7%**
PASTO	0,1%	0,3%	0,4%	0,3%	0,4%	**1,5%**
BUENAVENTURA	0,0%	0,4%	0,6%	0,1%	0,4%	**1,4%**
VALLEDUPAR	0,1%	0,4%	0,8%	0,1%	0,1%	**1,4%**
BUCARAMANGA	0,0%	0,1%	0,3%	0,2%	0,6%	**1,4%**
BELLO	0,5%	0,2%	0,4%	0,1%	0,1%	**1,4%**
MANIZALES	0,2%	0,4%	0,3%	0,1%	0,2%	**1,2%**
NEIVA	0,0%	0,1%	0,5%	0,3%	0,1%	**1,1%**
PEREIRA	0,1%	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%	**1,0%**
ITAGUI	0,0%	0,2%	0,5%	0,2%	0,1%	**0,9%**
ARMENIA	0,1%	0,3%	0,3%	0,1%	0,1%	**0,9%**
GIRON	0,0%	0,2%	0,3%	0,2%	0,1%	**0,8%**
DOSQUEBRADAS	0,1%	0,1%	0,4%	0,1%	0,1%	**0,8%**
PALMIRA	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	**0,7%**

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Por marcas, Hyundai se destaca como la principal marca con un 48% de participación, seguida por Kia 22%, Chevrolet 16%, Renault 3% y Daewoo 3%. Existen 74 marcas de taxis. En la Ilustración 4 se presentan las 25 marcas con mayor representación.

Ilustración 4. Distribución por marca, top 25.



Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Hyundai Atos prime GL es la referencia más común, seguida por Hyundai i 10 GL y el Kia Picanto Ekotaxi + LX. En la Tabla 5 se muestran las diez referencias con mayor participación en el parque de automóviles. Existen 741 combinaciones diferentes de marca y línea.

Tabla 5. Marcas y líneas - Top 10.

Marca	Línea	Número vehículos	Porcentaje (%)
HYUNDAI	ATOS PRIME GL	44.243	20,6%
HYUNDAI	i 10 GL	20.197	9,4%
KIA	PICANTO EKOTAXI + LX	18.105	8,4%
CHEVROLET	TAXI 7:24	12.277	5,7%
HYUNDAI	GRAND I10	8.311	3,9%
KIA	PICANTO EKOTAXI LX	7.614	3,5%
HYUNDAI	ATOS PRIME	6.592	3,1%
KIA	PICANTO EKOTAXI	6.162	2,9%
CHEVROLET	SPARK	4.989	2,3%
CHEVROLET	CHEVYTAXI	4.941	2,3%

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Bogotá (26%), Medellín (9%) y Cali (8%) son los municipios con mayor número de automóviles registrados en la categoría de taxis. Por departamentos, Bogotá lidera la participación con un 26%, seguido por Antioquia con un 16% y Valle del Cauca con un 12%.

Tabla 6. Ciudades de registro de matrícula - top 10.

Departamento	Municipio	Número vehículos	Porcentaje (%)
Bogotá D.C.	Bogotá	55.628	26%
Antioquia	Medellín	20.166	9%
Valle del Cauca	Cali	17.154	8%
Atlántico	Barranquilla	12.952	6%
Norte de Santander	Cúcuta	6.686	3%
Bolívar	Cartagena	5.856	3%
Atlántico	Soledad	4.702	2%
Santander	Floridablanca	4.492	2%
Magdalena	Santa Marta	4.349	2%
Meta	Villavicencio	4.222	2%

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Tabla 7. Departamentos de registro de matrícula - top 10.

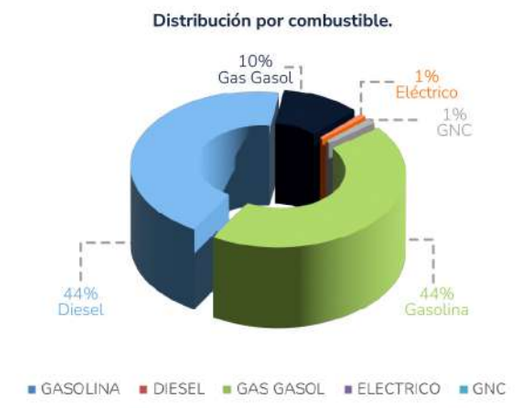
Departamento	Número vehículos	Porcentaje (%)
Bogotá D.C.	55.628	26%
Antioquia	33.351	16%
Valle del Cauca	24.895	12%
Atlántico	18.467	9%
Santander	11.266	5%
Norte de Santander	9.778	5%
Bolívar	6.135	3%
Tolima	5.838	3%
Nariño	5.358	2%
Meta	5.071	2%

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Camionetas

En el parque automotor de taxis, existen 5.043 vehículos clase camioneta. El 44% utilizan gasolina, 44% funcionan con diésel, 10% son bi-combustible (gas natural- gasolina) y el 1,3% son camionetas eléctricas (Ilustración 5).

Ilustración 5. Distribución por combustible.



Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

El 53% del parque tiene más de 2000cc, 30% es menor a 1500cc y solo un 9% tienen más de 3000cc. El diésel predomina en los cilindrajes más altos (Ver Tabla 8).

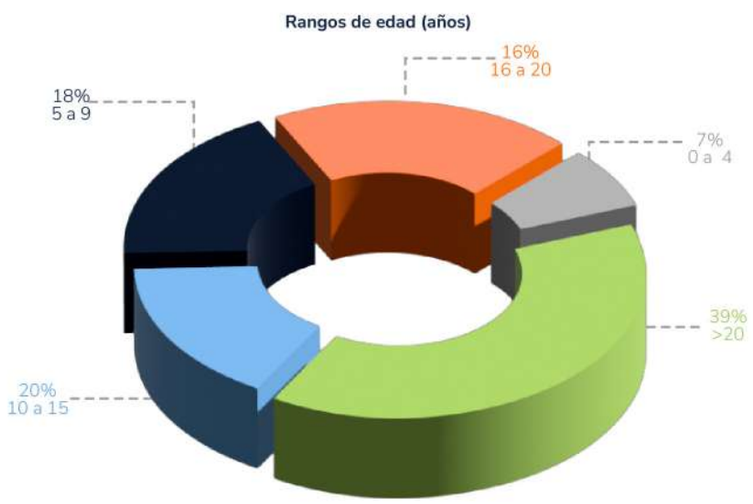
Tabla 8. Distribución por rangos de cubicaje y combustible – Camionetas.

Rangos Cilindraje (cc)	Diésel	Eléctrico	Bi-combustible: gas natural - gasolina	Gasolina	GNC	Total
Entre 1 - 1000	3		269	274		546
Entre 1001 - 1500	55		55	845	9	964
Entre 1501 - 2000	289		75	414	4	782
Entre 2001 - 2500	625		49	413	4	1.091
Entre 2501 - 3000	1.065		4	63		1.132
Mayor a 3000	180		59	213	6	458
No aplica		70				70
Total	2.217	70	511	2.222	23	5.043

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

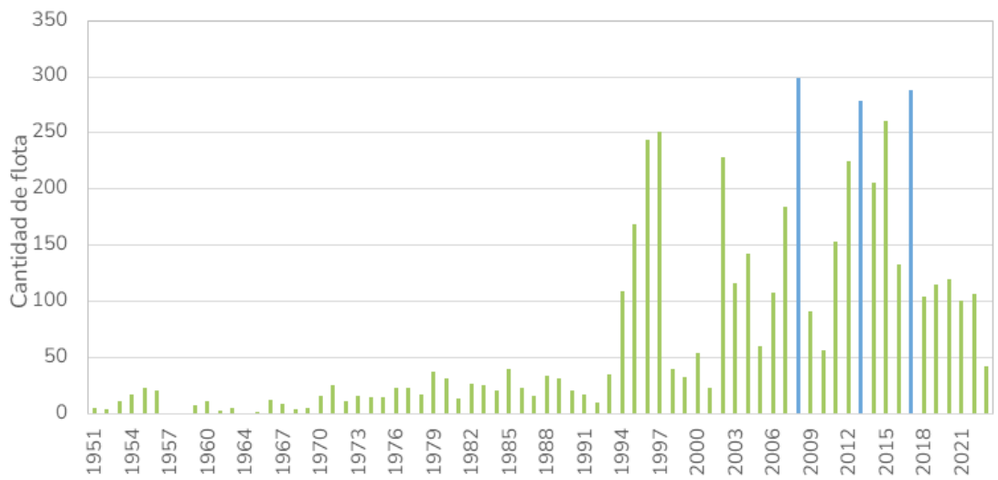
La edad promedio de las camionetas es 19,7 años. El 39% del parque tiene más de 20 años de antigüedad, un 20% se ubica entre 10 a 15 años de antigüedad y solamente un 7% del parque tiene menos de 4 años de antigüedad (ver Ilustración 6, Ilustración 7).

Ilustración 6. Distribución por rango de edad.



Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Ilustración 7. Distribución por año modelo.



Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

*En color rojo se resaltan los años modelo moda[3].

2.2 Caracterización ambiental de los taxis

Aporte de los taxis en las emisiones por fuentes móviles en ciudades de Colombia.

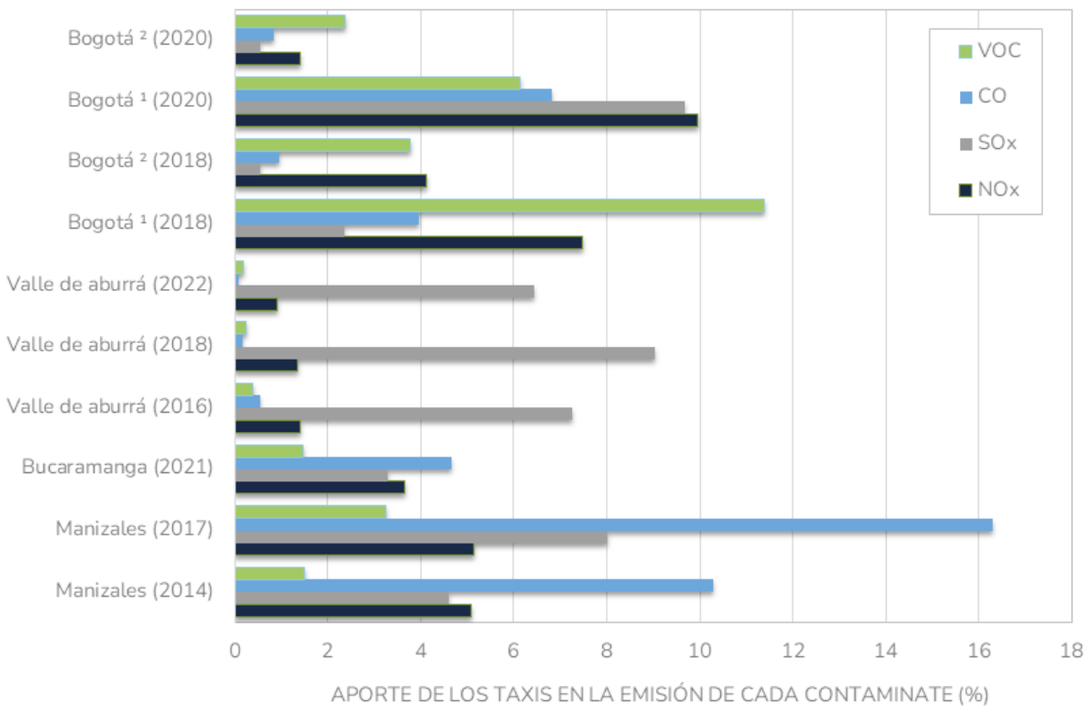
Las emisiones de cada taxi dependen de múltiples factores. Por una parte, las emisiones de contaminantes locales están determinadas por características técnicas de la flota, como el tamaño del motor, el tipo de energético y el uso de sistemas de control de emisiones. El año modelo del vehículo se puede relacionar con el estándar de emisiones según la norma ambiental vigente en cada año.

La edad de la flota influye en el desgaste del motor y de los sistemas de control de emisiones. Finalmente, las emisiones también son función de la topografía de las ciudades, condiciones ambientales de cada ciudad y de los patrones de conducción, en parte, relacionados con los niveles de congestión de cada zona urbana. Aunque la flota nacional de taxis es relativamente pequeña (219.460 vehículos en 2023), esta se caracteriza por su uso intensivo. Por ejemplo, el inventario de emisiones de Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2021) muestra una proporción de flota entre automóviles y taxis de 24:1 (por cada 24 automóviles hay 1 taxi), y según datos de la misma fuente ,la actividad total de los taxis (veh*km) equivale a la tercera parte de la actividad total de los vehículos livianos. Debido a su alta actividad, las emisiones de los taxis son importantes desde el punto de vista de la cantidad de contaminantes que emiten.

3 Año modelo "moda": la moda en una muestra corresponde a los valores que se repiten con mayor frecuencia. En este caso hace referencia a los años modelos más comunes según los registros del RUNT.

De acuerdo con los inventarios de emisiones de diferentes zonas del país[4], los taxis emiten hasta 36,700 t de monóxido de carbono (CO) anualmente, 7.300 t de óxidos de nitrógeno (NOx), 7.200 t de compuestos orgánicos volátiles (VOC), 170 t de óxidos de azufre (SOx) y hasta 60 toneladas de material particulado fino (PM2.5), dependiendo de la ciudad. Los inventarios locales muestran contribuciones de los taxis hasta del 11% en las emisiones de VOC, 16% en CO, 10% en SOx y NOx (Ilustración 8). En la muestra de ciudades con información disponible se observa que la contribución a PM2.5 varía entre menos del 1% hasta el 4% (Tabla 9).

Ilustración 8. Aporte de los taxis en la emisión de contaminantes locales.



* Bogotá (2020) estima sus emisiones mediante dos metodologías (top-down y bottom-up), se reporta el resultado de las dos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2020; AMVA & UPB, 2018, 2020; AMVA, 2023; Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga & Universidad Pontificia Bolivariana, 2022; Galeano et al., 2018; Méndez, 2018; Pontificia Universidad Javeriana Cali, 2013; Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2020, 2021.

4 Análisis a partir de (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2020)(AMVA & UPB, 2018, 2020; AMVA, 2023; Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga & Universidad Pontificia Bolivariana, 2022; Galeano et al., 2018; Méndez, 2018; Pontificia Universidad Javeriana Cali, 2013; Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2020, 2021).

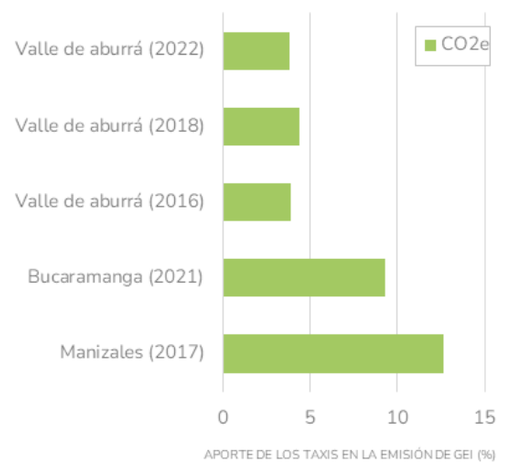
Tabla 9. Aporte de los taxis en la emisión de material particulado.

Ciudad (año estudio)	Emisión $PM_{2.5}$ (toneladas/año)	Aporte en las emisiones por fuentes móviles (%)
Bogotá [1] (2018)	15,0	0,9
Bogotá [2] (2018)	3,0	0,3
Bogotá [1] (2020)	62,1	3,8
Bogotá [2] (2020)	2,0	0,1
Bucaramanga (2021)	2,0	0,6
Barranquilla (2018)	2,2	0,3
Cali (2012)	1,9	0,1
Manizales (2014)	6,0	0,8
Manizales (2017)	4,8	0,8
Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2016)	4,0	0,3
Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2018)	7,0	0,3
Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2022)	2,6	0,1

Fuente: Elaboración propia a partir de los inventarios de emisiones de contaminantes locales de cada ciudad, desarrollados por las autoridades ambientales en cumplimiento a la normativa ambiental en calidad del aire - Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2020; AMVA & UPB, 2018, 2020; AMVA, 2023; Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga & Universidad Pontificia Bolivariana, 2022; Galeano et al., 2018; Méndez, 2018; Pontificia Universidad Javeriana Cali, 2013; Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2020, 2021. *Para los estudios de Barranquilla (2018), Cali (2012) y Manizales (2014) la información disponible corresponde a la fracción PM10. * Bogotá (2020) estima sus emisiones mediante dos metodologías (top-down y bottom-up), se reporta el resultado de las dos.

La información a nivel de ciudad sobre el aporte de los taxis en las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) es más limitada. Se reportan emisiones del orden de 60.000 t a 190.000 t anuales de CO2 en las áreas urbanas con información disponible para esta categoría vehicular, con una participación en las emisiones GEI del transporte que varían entre el 4% y el 12% en las diferentes ciudades (Ilustración 9).

Ilustración 9. Aporte de los taxis en la emisión de GEI.



Fuente: Elaboración propia a partir de AMVA & UPB, 2018, 2020; AMVA, 2023; Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga & Universidad Pontificia Bolivariana, 2022; Valencia, 2019.

Estándares de emisión de los taxis

Como se mencionó anteriormente, el estándar de emisión de los vehículos es una de las características determinantes del nivel de emisión de cada vehículo.

La base de datos del RUNT tiene un campo sobre el estándar de emisiones de cada vehículo. No se cuenta con información registrada para 89% de los taxis. El 9% de la flota está clasificada como Euro II (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Distribución por nivel de emisiones.

Nivel emisiones	Número de vehículos	Porcentaje (%)
Sin registro	191.475	89%
Euro 2	20.317	9%
Euro 3	467	<0,01%
Euro 4	539	<0,01%
Euro 5	790	<0,01%
Euro 6	2	<0,01%
No aplica	897	<0,01%

Fuente: Elaboración propia según Runt 2023.

Del total de 5.043 camionetas de la base de datos, el 93% no tiene información registrada sobre el estándar de emisiones. Debido a las limitaciones de los datos del RUNT sobre el estándar de emisiones, como alternativa para asignar factores de emisión a la flota de taxis se utilizó información del año modelo de cada vehículo y el cronograma de entrada de cada estándar según la normativa nacional.

La asignación del estándar Euro para vehículos livianos a gasolina se realiza de acuerdo con el año modelo de cada vehículo y según la normativa de la siguiente forma:

- Pre- euro[5]: Antes de 1998
- Euro 1: 1998 - 2008 (Resolución 909/1996 Mintransporte y Minambiente)
- Euro 2: 2009 - 2022 (Resolución 910/2008 Minambiente)
- Euro 4: 2023 en adelante (Resolución 762/2022 Minambiente)

La asignación del estándar Euro para vehículos livianos a diésel se realiza de acuerdo con el año modelo de cada vehículo y según la normativa de la siguiente forma:

- Pre-euro: Antes de 1998
- Euro 1: 1998 - 2008 (Resolución 909/1996 Mintransporte y Minambiente)
- Euro 2: 2009 - 2013 (Resolución 910/2008 Minambiente)
- Euro 4: 2023 en adelante (Resolución 762/2022 Minambiente)

La asignación del estándar Euro para vehículos livianos a GNC se realiza de acuerdo con el año modelo de cada vehículo y según la normativa de la siguiente forma:

- Euro 4: Antes de 2023. Se asignó así por limitaciones en el modelo de emisiones utilizado. Copert no

5 Pre-euro: se refiere a flota que por su año modelo no debía cumplir con estándar de emisiones Euro.

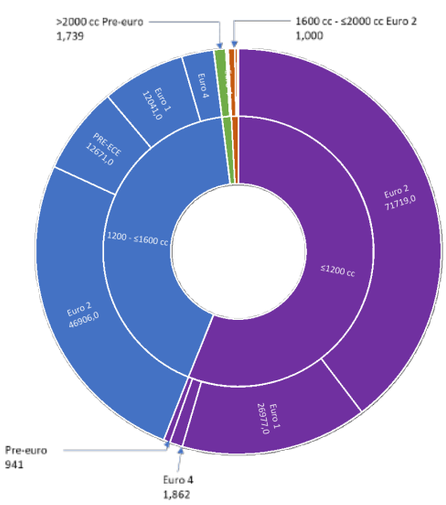
considera categorías anteriores a Euro 4 para flota GNC.

- Euro 5: 2023 en adelante (Resolución 762/2022 Minambiente, Artículo 15).

En la Ilustración 10 se presenta el resultado de la asignación de estándares Euro a la flota de taxis registrada en la base de datos del RUNT. Los taxis correspondientes al estándar Euro 2 constituyen la mayor parte de la flota, seguidos por los taxis Euro 1.

En los taxis con cilindraje inferior a 1200 cc, el 71% son vehículos Euro 2. En los taxis con cilindraje en el rango 1200 cc a 1600 cc, el 62% de los vehículos son Euro 2.

Ilustración 10. Distribución de los taxis por estándar de emisiones.



Fuente: Elaboración propia a partir del año modelo (Runt 2023) y cronograma de normas ambientales en Colombia.

Aunque la flota de taxis es relativamente pequeña, por la cantidad de kilómetros que recorren, los taxis tienen un impacto en la generación de contaminantes atmosféricos locales y globales. Dado que la mayor parte de los vehículos son estándar Euro 2 e inferior, existe un gran potencial para reducir las emisiones a través de la modernización de la flota y su sustitución por tecnologías cero emisiones.

Se resaltan los vacíos de información existentes a nivel local sobre el desempeño ambiental de los taxis. Las ciudades están utilizando factores de emisión muy diferentes entre sí. Un ejercicio de estandarización de los factores de emisión permitiría contar con mejores datos a nivel local para la toma de decisiones. Debido a los vacíos identificados sobre los factores de emisión de los inventarios locales, para la evaluación de externalidades de este proyecto se desarrolló un conjunto de factores de emisión.

3

COSTO TOTAL DE PROPIEDAD DE LOS TAXIS

Foto: Adobe Stock

COSTO TOTAL DE PROPIEDAD DE LOS TAXIS

En esta sección se presenta la metodología y los resultados de la estimación de los costos totales que enfrenta el propietario de un taxi considerando tres tecnologías: 1) eléctrico, 2) motor de combustión interna alimentado con gasolina, y 3) vehículo a gas natural comprimido (GNC). El análisis toma como base el estudio realizado por Steer para la UPME en 2021[6]. Algunos parámetros como el precio de adquisición de los vehículos, las tarifas de impuesto y seguros, el costo de los energéticos y el rendimiento de los motores, se reestimaron con nueva información técnica o de mercado. Otros parámetros derivados de los estudios que realizan las ciudades para fijar la tarifa al público del servicio al público de taxi, como el costo de la mano de obra, el mantenimiento y el costo del parqueadero, se actualizaron con los respectivos índices de variación de precios reportados por el DANE[7].

El análisis de costos por tecnología es un eslabón clave en el diseño de la política de promoción de los vehículos de bajas emisiones en el segmento de transporte público individual. En efecto, la estructura de costos enfocada desde la perspectiva del propietario permite medir el nivel del incentivo requerido para hacer atractiva la migración hacia los taxis eléctricos. El incentivo que se implemente en la política debe ser tal que el propietario, en su proceso de reposición de la flota, prefiera adquirir el taxi eléctrico, considerando los estimativos de CAPEX, OPEX y el incentivo gubernamental, a lo largo del horizonte de la vida útil de un vehículo nuevo.

Los resultados del análisis de costos por alternativa tecnológica, por otra parte, alimentan la evaluación beneficio-costo. Los costos que soportan el sector privado y el sector público en cada escenario de escalamiento tecnológico se confrontan con los beneficios económicos y sociales que se derivan por reducir las externalidades negativas, con relación al contrafactual de mantener la flota de taxis operando con combustibles fósiles. La evaluación beneficio-costo constituye la herramienta para soportar las decisiones de diseño del Fondo para la Promoción de Ascenso Tecnológico (FOPAT) en términos de segmentos de la flota que deben ser objeto del incentivo, el monto del incentivo y las metas de penetración de la movilidad eléctrica en el transporte público individual.

El análisis de costos de propiedad también arroja información importante para determinar la vida útil óptima de los vehículos. En efecto, los diferenciales en los costos de adquisición y operación bajo distintas tecnologías permiten establecer bajo que horizonte de tiempo una tecnología es más costo – efectiva que otra. Con estos resultados es posible sustentar la imposición de vidas útiles diferenciales o fijar los umbrales de tal forma que las tecnologías de bajas emisiones alcancen a amortizar los mayores costos de adquisición.

El costo de propietario se estima a partir de la construcción de un flujo de caja para cada tecnología que contiene los costos de capital y los costos fijos y variables de operación. Con base en la tasa de descuento adecuada, se estima

6 Proyecto No 24058101 - Programa de ascenso tecnológico de taxis hacia cero y bajas emisiones.
7 No fue posible acceder a estudios más recientes de actualización tarifaria.

el costo anual equivalente en función del horizonte de vida útil contemplado en el modelo. Posteriormente, el costo anual equivalente del capital y otros costos fijos de operación se expresan en términos de pesos por kilómetro a partir del recorrido esperado de actividad del taxi en el año. A este valor se suman los costos variables de operación, como el combustible, que se derivan directamente en términos de costo por kilómetro.

3.1 Parámetros generales

Tasa de descuento: Puesto que el análisis de costo total del propietario se utiliza para soportar el análisis costo beneficio desde una perspectiva económica y social se consideró adecuado descontar los flujos con la tasa real anual del 9%. Esta tasa corresponde a la tasa social de descuento actualizada y adoptada por Departamento Nacional de Planeación (Galeano et al., 2018) y ratificada por la Resolución 1092 el 20 de abril de 2022 del DNP. Se presenta un análisis de sensibilidad al parámetro para considerar tasas menores como las que aplica la banca multilateral para proyectos con efectos positivos en el medio ambiente o tasas mayores que representen la tasa de preferencia inter temporal y el costo financiero que enfrentan los agentes privados en su decisión de reponer el vehículo.

Inflación: El modelo financiero se estructuró en pesos constantes de febrero de 2024. Con esta decisión se evita la necesidad de proyectar la inflación futura. El escenario es consistente con cualquier comportamiento futuro de inflación y asume que los precios relativos de los distintos ITEMS incluidos en el flujo de caja se mantienen constantes en el tiempo.

Vida útil: El flujo de caja de referencia para comparar tecnologías se estructuró sobre una vida útil de 10 años[8], inferior a la edad promedio del parque de taxis en Colombia, estimada en 13,6 años. Se lleva a cabo un análisis de sensibilidad para determinar cómo cambia el impacto de la vida útil en los costos de propietario, para cada una de las tecnologías analizadas.

Recorrido anual de los vehículos: Se mantienen las estimaciones del recorrido promedio de los taxis utilizadas en el estudio de Steer y derivadas de los estudios tarifarios realizados para Bogotá, que estiman el recorrido de los taxis en 77.157 kilómetros al año. Suponiendo la utilización del taxi 26 días al mes se obtienen los factores de uso diario y mensual que se presentan en la ilustración 11.

Foto: Adobe Stock

8 En el estudio de Steer los flujos consideran un horizonte de 10 años.

Ilustración 11. Recorrido de los taxis (km/vehículo).

Fuente: Estudio Steer (2021).

En el análisis de sensibilidad este parámetro se contrasta con el estimado a partir de un análisis del mercado secundario de taxis en Colombia. Para ello, se consolidó una base de datos con información de ventas de 203 taxis usados recolectada en febrero de 2024 a través de plataformas de internet[9] con registros de marca, modelo, kilometraje acumulado, ciudad de matrícula y precio. El cociente entre el kilometraje recorrido y la edad del vehículo determina el recorrido medio anual de los taxis en la muestra. De acuerdo con esta metodología, los taxis recorren en promedio 44.337 kilómetros al año con un recorrido medio diario de 142.1 kilómetros (suponiendo 26 días de operación por mes). Este factor es muy inferior al reportado por Steer y se tomará para conformar el escenario de bajos recorridos.

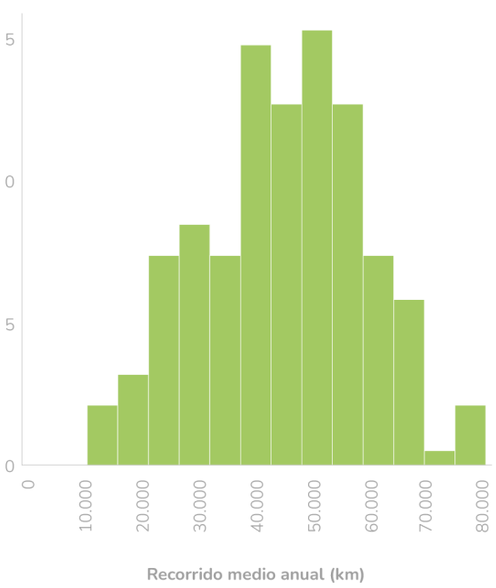
Tabla 11. Estadísticas descriptivas recorridos medios anuales de taxis (km/año).

	Nacional	Bogotá
Promedio	44.337	45.881
Desviación	14.510	14.469
Máximo	80.000	79.878
Mínimo	10.000	13.000

Fuente: Estudio mercado (2024).

Como lo ilustra el siguiente histograma, en el promedio estimado pueden estar pesando las observaciones en la cola izquierda de la distribución, que recogen información de vehículos que por alguna circunstancia específica han permanecido fuera de circulación durante intervalos largos de tiempo y reportan kilometrajes muy bajos. La moda de la distribución se puede localizar entre 50.000 y 55.000 kilómetros al año. Este indicador aún está debajo del utilizado por Steer – UPME 2021 pero refleja el nivel de actividad de los taxis tranzados en el mercado secundario en 2024. No se debe descartar la hipótesis según la cual el recorrido de la flota de taxis se haya reducido en respuesta a la competencia de otros servicios de transporte público individual.

Ilustración 12. Distribución recorridos medios taxi año 2024 (km/año).



Fuente: Elaboración propia a partir de estudio mercado (2024).

9 Ver https://vehiculos.mercadolibre.com.co/otros/taxis/ y https://taxis.com.co/, rescatado el 29 de febrero de 2024.

Áreas de operación: Los costos totales de propietario son muy sensibles al recorrido anual de los taxis. Este parámetro, por su parte, varía entre ciudades. No se consideró necesario parametrizar el modelo para hacer los cálculos en cada ciudad en la medida en que un análisis de sensibilidad a los recorridos permite inferir el comportamiento de los costos en distintas ciudades en función de los recorridos observados. El análisis de sensibilidad considerará, además, otros parámetros que inciden en el TCO y varían entre ciudades como el precio de los energéticos y el componente salarial. Este último toma como base los diferenciales reportados en el estudio de Steer[10].

3.2 Costo de capital (CAPEX)

Vehículos de referencia: De acuerdo con el RUNT, Hyundai y Kia dominan el mercado de taxis en Colombia (ver Sección 2.1). En lo corrido de 2023, estas dos marcas explicaron el 93% de las compras de taxis nuevos en el país. En el parque acumulado, por su parte, las marcas coreanas participan en más de dos terceras partes en el segmento de taxis del país.

Se seleccionaron dos vehículos representativos de estas marcas. Como referente a gasolina se tomó el Kia Grand Ekotaxi LX MT 2024. De igual forma se reunió información del Hyundai Grand Metro Taxi, para contar con un referente de mayor precio en la gama alta comparable con el taxi eléctrico en términos de tamaño y comodidad. Estos vehículos también se utilizan como referente para GNC, considerando un costo medio de conversión.

Tabla 12. Ventas de taxis en Colombia 2023.

MARCA	LÍNEA	Número vehículos	%TG Número vehículos
KIA	PICANTO EKOTAXI	2.177	57,91%
KIA	SEPHIA	1.034	27,51%
HYUNDAI	NEW GRAND I10	285	7,58%
FAW	R7 SUV	158	4,20%
CITROEN	C-ELYSEE	54	1,44%
RENAULT	TRAFIC	15	0,40%
RENAULT	LOGAN	6	0,16%
CHEVRO-LET	NLR	5	0,13%
FOTON	BJ1044V-9JD4-F1	5	0,13%
Total		3.759	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de RUNT (2023).

Como referente de vehículo eléctrico se tomó el BYD DOLPHIN, un vehículo eléctrico de última generación con autonomía de 400 km, suficiente para cubrir con holgura los recorridos diarios considerados en el estudio.

Tabla 13. Características técnicas taxis eléctricos

Modelo	BYD DOLPHIN	BYD SEAGULL 380 GS
Capacidad batería (kWh)	45	30
Autonomía batería (Km)	405	300
Rendimiento (kWh/Km)	0.11	0.10
Duración carga rápida	De 30% a 80% en tan solo 30 minutos	Carga rápida DC de 40 w

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio mercado (2024).

10 Ver "Steer (2020), Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional. Preparado para la UPME".

Precio: En la Tabla 14 se incluye el precio de adquisición de estos vehículos sin considerar el valor del "cupo" (capacidad transportadora).

Tabla 14. Precios de adquisición de los vehículos.

Modelo	Precio
KIA GRAND EKOTAXI 2024	$62.000.000
BYD DOLPHIN	$145.000.000
HYUNDAI GRAND METRO TAXI	$89.000.000

Fuente: Estudio mercado (2024).

En el caso del vehículo eléctrico se considera la adquisición de un cargador para adaptar en el lugar de parqueo donde permanece el vehículo cuando no está en operación. En el mercado se consigue un cargador de 7 kW por USD $ 200 que, a una TRM de $3.900 Pesos/USD y considerando un multiplicador de 2 que cubra los márgenes de comercialización y costos de importación, se estimó en $1.590.000 pesos el equipo puesto en el mercado local.

Impuestos: En el estatuto tributario (Decreto 1881 de 2021) se consignan las siguientes tasas impositivas que gravan la adquisición de un taxi para las partidas arancelarias para vehículos a combustión (cilindraje entre 1.000 y 1.500 cm_3) y para vehículos eléctricos (Tabla 15).

Tabla 15. Impuestos a la adquisición de un taxi.

	Gasolina	GNC	Eléctrico
IVA	19%	19%	5%
Arancel	35%	35%	0%

Fuente: DIAN (2024)[11,12].

De acuerdo con el Artículo 512-5 del Estatuto Tributario, los taxis están exentos del impuesto a las ventas del 8% que aplica a vehículos particulares.

Capacidad transportadora: De acuerdo con el Decreto 1079 de 2015, las autoridades locales solo pueden aumentar el ingreso de taxis por incremento, si un estudio técnico revisado y aprobado por el Ministerio de Transporte demuestra que existe un déficit de oferta. En ausencia de esta autorización, solo ingresan taxis nuevos por reposición[13]. El estudio se debe soportar en un análisis de la oferta (parque de taxis en la localidad) y demanda (necesidad de taxis) que capture información privada mediante encuestas a usuarios y conductores y está encaminado a determinar el recorrido total y el recorrido productivo (con pasajeros) promedio en el día. Se puede incrementar la oferta (ingreso por incremento) si el cociente de kilómetros productivos/kilómetros totales excede el 80%.

11 Se consultó en el portal de la DIAN https://muisca.dian.gov.co/WebArancel/DefConsultaNomenclaturaPorCodigo.faces, rescatado el 28 de mayo de 2024.

12 En la Tabla 16 se refleja lo establecido de manera general en el estatuto tributario. Sin embargo, en el estatuto tributario vigente que aplica a las compras de vehículos eléctricos, el Gobierno planteó un día sin IVA para favorecer la compra de vehículos eléctricos (http://www.elcarrocolombiano.com/notas-de-interes/carros-electricos-estarian-exentos-de-iva-en-colombia-esta-es-la-propuesta/). Además, a través del PROURE los vehículos eléctricos están exentos del IVA.

13 Decreto 1079 de 2015. Ministerio de Transporte. ARTÍCULO 2.2.1.3.7.1. Ingreso de los vehículos al parque automotor. Las autoridades de transporte competentes no podrán autorizar el ingreso de taxis al servicio público de transporte, por incremento, hasta tanto no se determinen las necesidades del equipo mediante el estudio técnico de que tratan los artículos siguientes.

La capacidad transportadora para ingresar un taxi se tranza libremente entre propietarios y su precio lo determinan la oferta y la demanda. Fuentes informales coinciden en que, a pesar de que la cuota transportadora de taxis ha estado congelada en los últimos años en la mayoría de las ciudades, el precio de la capacidad transportadora ha caído, por factores como la mayor competencia de servicios de transporte individual por plataformas[14].

A partir de la información del mercado secundario de taxis se estimó el valor implícito de la capacidad transportadora en los vehículos tranzados en 2024. Para ello se estimó una regresión que explica el precio del vehículo en función de los principales determinantes: cubicaje, edad, marca y kilometraje. El componente determinístico del precio no explicado por estas variables se atribuye al valor de la capacidad transportadora[15] y se captura con la dummy que identifica a los taxis que circulan en Bogotá y con la constante de regresión.

En la Tabla 16 se reportan los resultados de la regresión. En la primera columna se incluye la regresión en niveles que busca determinar el valor de la capacidad transportadora. La regresión recoge información de 83 transacciones en el mercado secundario de taxis y explica un 77% de la varianza de los precios (R2). Con un 99% de significancia estadística, el coeficiente de la constante estaría indicando que la capacidad transportadora de los taxis tranzados fuera de Bogotá es de $ 37 millones de pesos y en Bogotá es de $59 millones de pesos en 2024[16].

Tabla 16. Estimaciones econométricas modelo de depreciación de taxis.[17]

Variable Dependiente	Precio Taxi	Ln (Precio Taxi)
Edad	-3.210***	-0.137***
	(0.206)	(0.013)
Recorrido Medio	-0.000	0.000
	(0.000)	(0.000)
Marca = Chevrolet[1]	28.382***	0.787***
	(4.932)	(0.191)
Marca = Faw	22.430***	0.519***
	(0.909)	(0.053)
Marca = Fiat	11.699***	0.610***
	(2.936)	(0.139)
Marca = Hyundai	31.410***	0.994***
	(4.414)	(0.161)
Marca = Kia	38.245***	1.235***
	(9.642)	(0.240)
Marca = Renault	20.220***	0.854***
	(5.244)	(0.194)
Motor	0.032***	0.001***
	(0.009)	(0.000)
Ciudad = Bogotá	22.422***	0.894***
	(4.145)	(0.212)
Constante	37.180**	1.278**
	(15.177)	(0.625)
Observaciones	83	73
R^2	0.771	0.759

Errores robustos en paréntesis
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1
[1] La marca Chery corresponde a la categoría base

Fuente: Elaboración propia con base en el estudio de mercado (2024).

Depreciación: El análisis del mercado secundario también permite obtener un estimativo de la tasa de depreciación comercial de los taxis. En efecto, la

14 "Según Noticias RCN, el precio del cupo de un taxi en Bogotá para el año 2023 es de 75 millones de pesos. En comparación, el cupo de ciudades como Medellín tiene un valor de 60 millones de pesos y en Cali es de 30 millones de pesos. Tener en cuenta que los vehículos que implementen el cobro a través de plataformas y cumplan con las características establecidas por el Ministerio de Transporte podrán acceder a la tarifa con factor de calidad." Fuente: https://www.radiotaxilalcoia.es/compro-taxi-en-bogota/#:~:text=Valor%20unidad%20cada%20100%20metros,Aeropuerto%20o%20Puente%20A%C3%A9reo%3A%20%24500

15 Algunos de los precios anunciados en la plataforma son extremadamente bajos y, sin duda, no incluyen el valor del cupo. Previo a la regresión se eliminaron todas aquellas observaciones cuyo precio de mercado sea inferior al cupo estimado en una primera iteración. Este filtro redujo la muestra de 153 observaciones a 83 observaciones. En esta regresión, la constante refleja el valor del cupo para todas las ciudades distintas a Bogotá. El cupo en Bogotá se estima como la suma de la constante y la dummy de los vehículos que operan en la capital de Colombia.

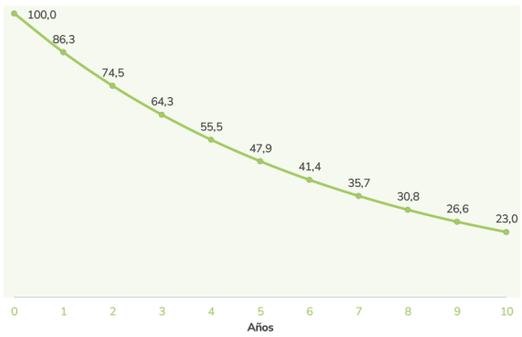
16 El coeficiente de edad también es significativo al 99% de confianza estadística y, presumiblemente incorpora parte del efecto de kilometraje por la elevada correlación entre estas variables. Las marcas coreanas parecen tener un impacto positivo en el precio estadísticamente significativo (Kia al 99% de confianza y Hyundai al 95%).

17 Los resultados del modelo se estiman con errores robustos, lo que corrige la posible presencia de heteroscedasticidad en los errores. Por otra parte, debido a que el número de observaciones de la muestra es considerado "grande" (más de 30 observaciones), por el Teorema Central del Límite, no es necesario corroborar la normalidad de los errores para la interpretación adecuada del modelo.

segunda columna de la tabla anterior contiene la regresión estimada en un modelo semilogarítmico. Bajo esta especificación, el coeficiente de la edad del vehículo, significativo al 99%, explica el cambio porcentual en el precio (excluyendo el valor del "cupo") por cada año adicional en la edad del taxi. Con esta aproximación metodológica se estima la tasa anual de depreciación en 13.7%: cada año el vehículo pierde un 14% de su valor con respecto al año anterior. Esta tasa se podría considerar excesivamente alta para cualquier tipo de vehículo, pero es necesario recordar que los taxis acumulan muchos kilómetros de operación en cada año de servicio y, en consecuencia, a los pocos años se han excedido los valores esperados de la vida útil física del vehículo.

En la Ilustración 12 se muestra el valor esperado de un taxi en el transcurso de su vida a partir de un valor de adquisición de 100 en el año de compra. De acuerdo con la tasa, en 5 años el taxi ha perdido un 52% de su valor y en 10 el 77%. Es importante tener presente que el valor del "cupo" no depende de la edad del vehículo. La elevada depreciación de los taxis favorece la política de incentivos al escalamiento tecnológico en la medida en que acelera la tasa de reposición (facilita la entrada de un mayor número de unidades) y reduce el monto del incentivo que se determina en función del valor del vehículo a reponer.

Ilustración 13. Función de depreciación de taxis en Colombia (% del valor del taxi en el tiempo).



Fuente: Elaboración propia con base en el estudio de mercado (2024).

3.3 Costos de operación

Costo de la energía (rendimientos y precio): El costo por kilómetro en energía se estima como el cociente entre el precio ($/unidad de energía) y el rendimiento (km/unidad de energía). La Tabla 18 consigna los precios de los energéticos utilizados en el estudio[18].

Tabla 17. Precio de referencia de los energéticos (Precios de 2024).

Energético	Precio	Unidad
GNC	$2.122	$/m^3
Electricidad	$891	$/kWh
Gasolina	$15.446	$/gal

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, UPME y CREG (2024).

18 En energía eléctrica se tomó la tarifa ($/kWh) en junio de 2024 del estrato IV en Bogotá, publicada por Enel. Esta tarifa refleja el costo de la energía porque no está gravada con contribuciones, ni es objeto de subsidios. En el caso de la gasolina, se tomó el precio promedio de distribución minorista para Bogotá de acuerdo con las bases de la UPME y la CREG. Para el GNC se acudió a información del Ministerio de Minas y Energía para el año 2024, calculado como el promedio de todas las estaciones de servicio que ofrecen GNC.

Se consideró una multiplicidad de fuentes en la parametrización de la eficiencia de los taxis de cada tecnología. En particular se consultaron los reportes de estudios anteriores (Steer – UPME, 2021), las fichas técnicas de los fabricantes y los resultados de Copert (modelo de emisiones). En la siguiente tabla se consignan los valores utilizados para el escenario base[19]. Sobre estos parámetros también se lleva a cabo un análisis de sensibilidad.

Tabla 18. Eficiencia de los energéticos.

Tipo de vehículo	Unidades	Eficiencia
Gasolina	km/gal	44
Gas Natural Comprimido	km/m^3	15
Electricidad	km/kWh	9

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los precios y los parámetros de eficiencia se obtuvo el gasto en energía por kilómetro para las tecnologías modeladas (Tabla 19).

Tabla 19. Gasto en energéticos por kilómetro recorrido en taxis de diferentes tecnologías.

Tecnología	$/km
Gasolina	360,5
Gas Natural Comprimido	141,5
Electricidad	98,8

Fuente: Elaboración propia.

Otros componentes del OPEX: La información de OPEX para los vehículos se obtiene del estudio de Steer de 2021. Para indexar los precios a 2024, se emplea el índice de costos del transporte intermunicipal de pasajeros (ICTIP) en el componente de mantenimiento, la variación del salario mínimo para el costo de personal y el IPC para los demás rubros. Los factores de expansión utilizados para tener los precios en febrero de 2024 y obtenidos del DANE sobre los encontrados en Steer se muestran a continuación:

Salario Mínimo: 1.43
IPC: 1.32
ICTIP (Mantenimiento): 1.31

La aplicación de los índices a los estimativos de Steer arroja los costos de mantenimiento por kilómetro en pesos de 2024. Los taxis eléctricos soportan costos de mantenimiento muy inferiores a los de los vehículos propulsados con combustibles fósiles porque no requieren consumibles como filtros, lubricantes y refrigerantes y porque tienen muchas menos piezas de desgaste. Las dos plataformas tecnológicas son similares en el mantenimiento de los sistemas de frenos y amortiguación, pero los eléctricos requieren menor mantenimiento en el motor.

Tabla 20. Costo de mantenimiento (pesos de 2024 por kilómetro).

Tipo de vehículo	$/km
Gasolina	233
Gas Natural	280
Eléctrico	134

Fuente: Elaboración propia.

19 Se usaron como base los valores reportados por Steer (2021) para Bogotá para vehículos a gasolina y gas natural. El valor base para el vehículo eléctrico es el del BYD Dolphin. En el modelo se hacen análisis de sensibilidad considerando los rangos que se obtienen del estudio Steer, las fichas técnicas y el modelo Copert.

En el caso de los vehículos eléctricos es necesario considerar un componente importante del costo de mantenimiento que no está presente en los de combustión interna. En efecto, se estima que la batería que alimenta el motor tiene una vida útil cercana a los 8 años. Una vez cumplido este plazo es necesario reemplazar la batería que puede llegar a costar $ 52 millones[20]. Sobre este parámetro se lleva a cabo un análisis de sensibilidad[21].

En la Tabla 21 se consignan los costos fijos de operación que no dependen del kilometraje recorrido por el taxi. Se estima que un taxi genera costos fijos por $70.5 millones de pesos al año. El 74% de los costos fijos corresponde al salario de los conductores incluyendo las cargas prestacionales. El lavado diario y otros servicios de estación participan en un 9% de los costos fijos de operación. Se destaca, finalmente un 5% que corresponde al pago de las pólizas de seguros. Los costos fijos diluidos en el recorrido anual equivalen a $914.4 pesos por kilómetro, independientemente de la tecnología.

Tabla 21. Costos administrativos, telecomunicaciones, impuestos y seguros (Pesos constantes de 2024).

Rubro	Costo fijo anual	Costo fijo por km
Costo personal	$51.936.934	$673,1
Garaje	$4.655.056	$60,3
Servicios de estación (Lavados)	$6.641.763	$86,1
Afiliación empresa	$699.566	$9,1
App	$619.511	8,0
Plan de datos/ radiofrecuencia	$884.225	$11,5
Hardware	$827.683	$10,7
Impuesto sobre vehículos	$176.305	$2,3
Revisión técnico-mecánica obligatoria	$286.442	$3,7
Revisión técnico-mecánica preventiva	$166.273	$2,2
Renovación de tarjeta de operación	$39.413	$0,5
Semaforización	$81.225	$1,1
SOAT	$253.300	$3,3
Seguro contractual y extracontractual	$1.158.667	$15,0
Seguro todo riesgo	$2.122.716	$27,5
Total	$70.549.079	$914,4

Fuente: Elaboración propia.

20 Representa el 45% del valor del vehículo según el estudio de Steer basado en información de BYD.
21 Una inspección de mercado en internet indica que una batería con capacidad de almacenar de 40 kWh podría costar entre12.000 y 13.000 dólares.

3.4 Resultados

En la Tabla 22 se presenta el resultado de la simulación de los costos totales de propietario para las tres tecnologías de taxis analizadas. Como se observa, dados los recorridos, eficiencias y precios de capital, energía e insumos, considerados en el caso base, el costo total de ofrecer el servicio de taxi con un vehículo eléctrico asciende a 1.486 $/Km, similar al estimativo para un vehículo de gas natural e inferior en un 11% al costo total de propietario de un taxi a gasolina. Los componentes del costo fijo son prácticamente los mismos para las tres tecnologías. Se presentan diferencias marcadas en los costos de adquisición, el gasto en energéticos y el mantenimiento. El taxi de gasolina reporta un CAPEX menor, pero impone un gasto en energía muy superior al de los vehículos a gas natural y eléctricos. En términos de mantenimiento, el vehículo eléctrico ofrece los costos más bajos a pesar de que en la estimación se incluye la reposición de la batería a los 8 años de uso.

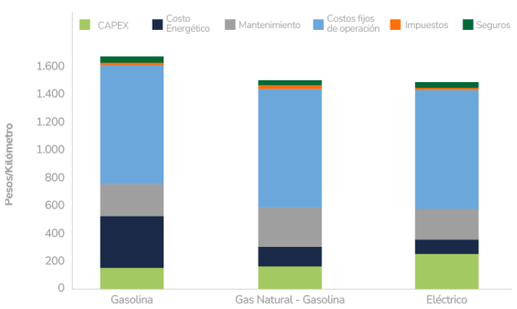
Tabla 22. Costos por kilómetro para cada tecnología ($ de 2024).

Costos	Gasolina	Gas Natural-Gasolina	Eléctrico
CAPEX	160,9	163,2	258,8
Costo Energético	360,5	141,5	98,8
Mantenimiento	233,4	280,0	218,8
Costos Fijos de Operación	858,8	858,8	858,8
Impuestos	9,7	10,6	10,1
Seguros	45,8	45,8	41,1
Total	1.669,1	1.499,9[22]	1.486,4[23]

Fuente: Elaboración propia.

El resultado muestra que la reducción de costos registrada en la industria de baterías y vehículos eléctricos en la última década ha llevado a esta tecnología a ser competitiva, por lo menos en segmentos del mercado como el de los taxis con altos recorridos anuales que permiten aprovechar al máximo la eficiencia del uso de la electricidad para producir potencia motriz. Si la tendencia de reducción de costos de los vehículos eléctricos se sostiene, este tipo de automotores aumentarán su participación en el parque de taxis de forma natural aún sin subsidios. La Ilustración 14 muestra como la paridad en costos entre las tecnologías eléctrica y de gas natural refleja estructuras diferentes con un mayor peso del CAPEX en el caso de los taxis eléctricos.

Ilustración 14. Costos por kilómetro para cada tecnología ($ de 2024).



Fuente: Elaboración propia.

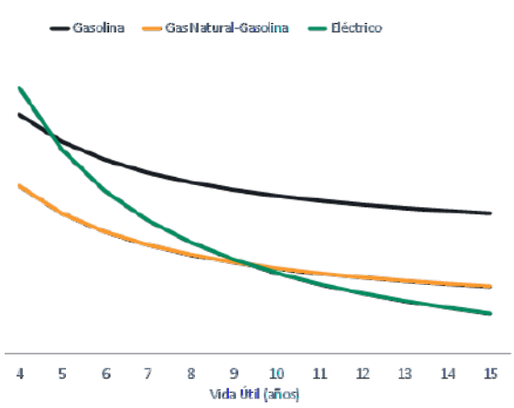
22 Si la eficiencia de los vehículos a gas natural se reduce a 8 km/m3, el valor de costos por kilómetro aumenta a 1.615 $/km, aumentando sustancialmente el margen con los vehículos eléctricos

23 Este valor puede ser menor si se considera que el propietario puede incluir ciertos beneficios en su plan de negocios como la depreciación acelerada y la deducción de renta.

Se llevó a cabo una serie de análisis para determinar la sensibilidad de los costos totales de propietario a los principales supuestos de modelación. En primer lugar, se analizó el impacto de la vida útil sobre los costos de propiedad. El período de amortización del vehículo incide en el costo total y en la determinación de la estructura CAPEX – OPEX en el plan de negocio de adquirir un taxi porque determina el horizonte a que se descuentan los flujos y se determina la equivalencia financiera anual del costo de adquisición del taxi (y la reposición de la batería en el caso eléctrico).

Para horizontes inferiores a cuatro años, el Costo Total de Propietario (CTP) del taxi eléctrico es el más alto que los otros dos referentes. A partir de una vida útil de 5 años, el eléctrico es más económico que el de gasolina y, en el año 9, se nivelan los CTP del eléctrico y el de gas natural. Para cualquier vida útil que se considere superior a 9 años, la tecnología eléctrica es la más costo – eficiente para ofrecer el servicio de taxi (Ilustración 14).

Ilustración 14. Sensibilidad costos por kilómetro al parámetro de vida útil.

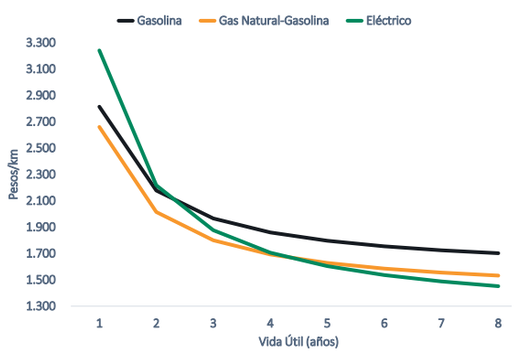


Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los taxis eléctricos, si el horizonte se extiende más allá de 9 años, sería conveniente considerar un período adicional de vida útil de tal forma que se amortice, por lo menos parcialmente la batería con que se repuso la original en el año 8. De acuerdo con lo anterior, se sugiere una vida útil de los taxis eléctricos de 15 o 16 años.

Dadas las altas tasas de depreciación estimadas para el segmento de taxis, quizás vidas útiles de 15 años impliquen mantener en servicio vehículos con un elevado grado de deterioro. Para evitar este escenario es posible trazar una estrategia alternativa en la cual la vida útil contemple un único ciclo de batería. De esta forma se fijaría una vida útil de 8 años que hace coincidir la salida de operación del taxi eléctrico con el fin esperado de la batería. La Ilustración 15 muestra la simulación de los CTP para las tres tecnologías considerando que el flujo de caja del taxi eléctrico no contempla el recambio de batería en el año 8. Se observa que, en este escenario de vida útil acotada, los taxis eléctricos son más costos eficientes que los de gasolina a partir del año 2 y que los de GNC a partir del año 4. En otras palabras, con una vida útil de 8 años también es posible promover la penetración de taxis eléctricos.

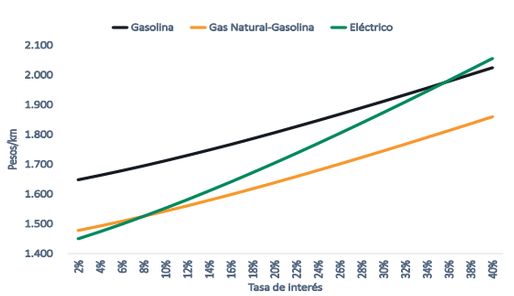
Ilustración 15. Sensibilidad costos por kilómetro al parámetro de vida útil (sin incluir reposición de batería).



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente análisis de sensibilidad se concentró en la tasa de descuento. Tasas bajas, favorecen en la comparación la tecnología eléctrica porque otorgan mayor peso a los ahorros futuros en energía (menor descuento) lo que compensa el mayor CAPEX. Con una tasa de descuento del 8% los CTP del eléctrico y del GNC se equilibran; a tasa mayores el GNC es más costo – efectivo que la tecnología eléctrica. Los taxis a gasolina tienen CTP mayores en todo el rango de tasas de descuento hasta el 35% anual, donde los CTP de los eléctricos son mayores a los de gasolina (ver Ilustración 16).

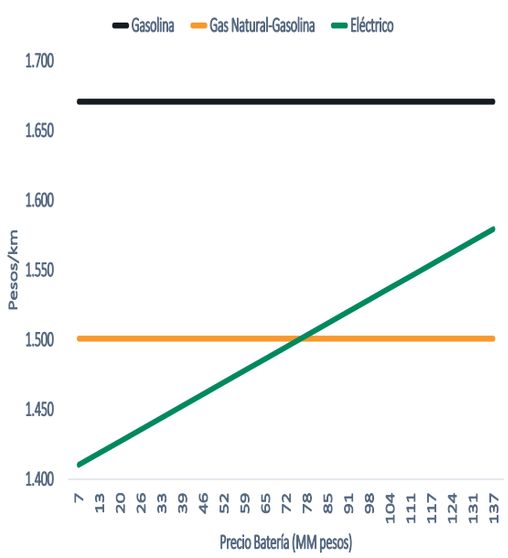
Ilustración 16. Sensibilidad costos por kilómetro a la tasa de interés.



Fuente: Elaboración propia.

Un factor sobre el cual hay un grado elevado de incertidumbre es el costo (actual y futuro) de las baterías eléctricas. Este componente es un elemento con una participación alta en el CTP de los vehículos eléctricos. En efecto, según el estudio de Steer (2020) la batería puede representar hasta un 40% del costo de adquisición del taxi eléctrico. La gráfica muestra que cualquier reducción en el costo de la batería eléctrica consolida la competitividad de los taxis eléctricos sobre los referentes a GNC y gasolina. Por otra parte, el precio de las baterías se debería más que doblar para que los CTP de los taxis eléctricos superen a los de gasolina (Ilustración 17).

Ilustración 17. Sensibilidad costos por kilómetro a cambios en el precio de la batería.

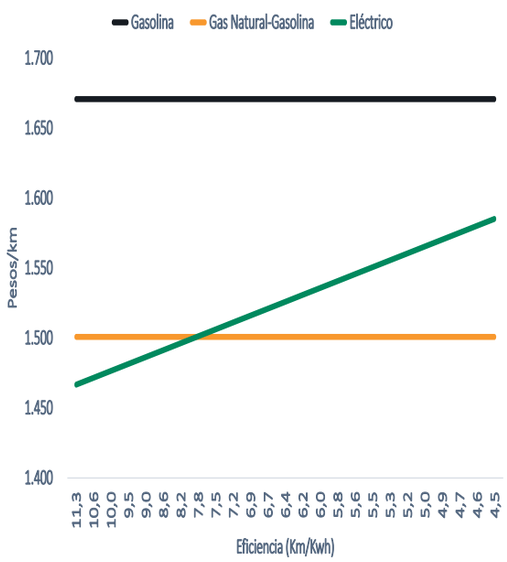


Fuente: Elaboración propia.

Los supuestos de eficiencia también son determinantes en la estimación del CTP. En la Ilustración 18 se presenta el comportamiento de los CTP de los taxis eléctricos a lo largo de un rango de

variaciones porcentuales en la eficiencia (km/KWh) asumida en el caso base. Se requiere una reducción desorbitante de la eficiencia de los vehículos eléctricos para que los CTP de esta tecnología superen a los de un motor de combustión interna a gasolina.

Ilustración 18. Sensibilidad costos por kilómetro a cambios en la eficiencia del motor.

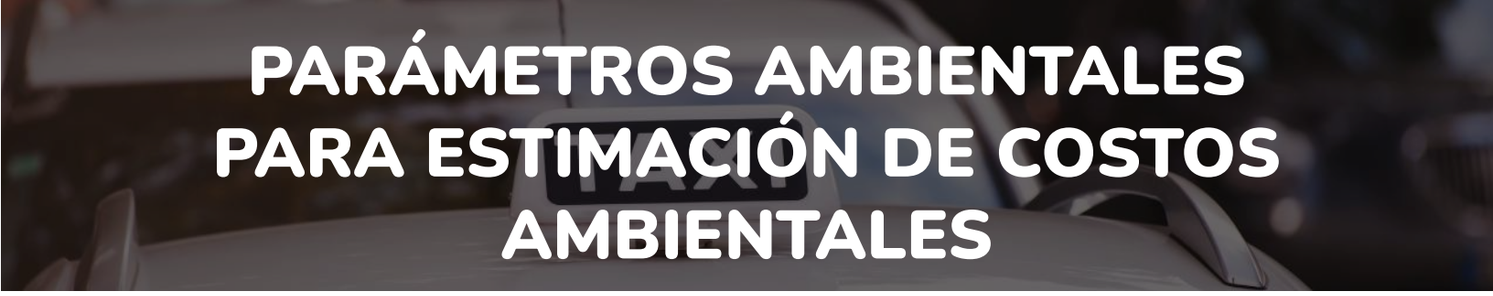


Fuente: Elaboración propia.

4

PARÁMETROS AMBIENTALES PARA ESTIMACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES

Foto: Adobe Stock



PARÁMETROS AMBIENTALES PARA ESTIMACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES

Las emisiones de contaminantes locales y globales de los vehículos generan diferentes tipos de impactos. La contaminación local afecta de manera negativa las edificaciones y materiales, causa pérdida de productividad de los cultivos, pérdida de biodiversidad por afectación de los ecosistemas y efectos negativos en la salud de la población, entre otros posibles efectos. De estos, los efectos en la salud de la población son los más relevantes por su magnitud. Además de los contaminantes locales, los vehículos generan emisiones de gases efecto invernadero, precursores del calentamiento global.

En esta sección se presentan los contaminantes seleccionados para el análisis de costos ambientales de los taxis. En la primera parte se explica la metodología para estimar los factores de emisión de los taxis, y en la segunda parte se presenta la metodología de valoración económica de los impactos ambientales.

4.1 Modelación de factores de emisión

No se cuenta con una base de datos consolidada de factores de emisión (FE) medidos para taxis en condiciones reales de operación y siguiendo una metodología estandariza que permitan comparar el comportamiento de los diferentes tipos de vehículos que conforman los taxis en Colombia. Los datos disponibles de los inventarios locales no permiten una comparación de este tipo. Con la finalidad de tener datos comparables entre diferentes tipos de vehículos, tecnologías y estándares de emisión, para este estudio se modelaron los factores de emisión.

Se modelaron los factores de emisión de los taxis con el Modelo Copert (Versión 5.7.3). Este modelo tiene como base factores de emisión medidos (miles de pruebas en laboratorio y mediciones en condiciones reales de operación) y considera factores como las condiciones ambientales, características de los energéticos, tipo de área (urbana) y la velocidad promedio, entre otros, para estimar factores de emisión ajustados para el área de interés.

Para analizar la flota de taxis se estimaron factores de emisión de contaminantes criterio, gases efecto invernadero y factores de rendimiento para cada categoría vehicular (Tabla 23).

Tabla 23. Contaminantes modelados con el modelo Copert.

Tipo de efecto	Contaminante
Emisión de contaminantes atmosféricos locales	- Material particulado fino ($PM_{2.5}$) - Óxidos de nitrógeno (NOx) - Dióxido de azufre (SO_2) - Monóxido de carbono (CO) - Compuestos orgánicos volátiles (VOC) - Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (NMVOC)
Emisión de gases efecto invernadero	- Dióxido de carbono (CO2) - Metano (CH4) - Óxido nitroso (N2O)

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron factores de emisión diferenciados según estándar de emisiones de los vehículos, tamaño del motor, cilindraje y tipo de combustible. Este ejercicio permite diferenciar las emisiones entre las categorías de taxis

existentes en Colombia mediante factores de emisión consistentes entre grupos vehiculares.

Vehículos GNC y bi-combustible: De acuerdo con la base de datos de taxis del RUNT el 15% de los taxis son bi-combustible (GNC-gasolina) y el 0,2% son dedicados a gas natural. Ambas tecnologías se modelaron con el modelo Copert[25].

Dado la importancia de vehículos bi-combustible reconvertidos en Colombia, es relevante poder contar con mediciones de los factores de emisión de este tipo de vehículos. Si bien Copert permite modelarlos, el modelo presenta limitaciones, debido a que este tipo de vehículos no son comunes en la Unión Europea.

Estudios previos muestran que las emisiones de los vehículos bi-combustible reconvertidos no necesariamente son inferiores a las de los vehículos homólogos a gasolina (Ntziachristos & Leonidas Ntziachristos, 2023). Los vehículos de fábrica se han optimizado para operar con gasolina y cambiar el energético técnicamente no reduce las emisiones; entre otros, no hay garantía de que el convertidor catalítico opere en condiciones óptimas. Una comparación entre vehículos livianos Euro 4 a gasolina y GNC dedicados mostró los mismos niveles de emisiones de PM y NOx; pero en promedio, mostró el doble de emisiones de NOx y 2.5 veces las de PM entre los GNC reconvertidos y los de gasolina (Ntziachristos & Leonidas Ntziachristos, 2023).

Dióxido de carbono equivalente: Las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO2e) se estimaron a partir de las emisiones de CO2, N2O y CH4 utilizando el índice de potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) AR5, correspondiente a la metodología de la actualización más reciente del inventario de emisiones GEI de Colombia.

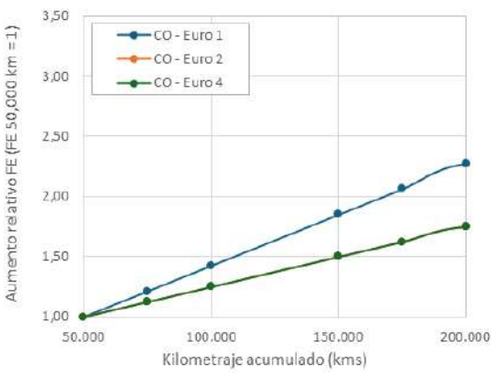
Factores de desgaste por edad de la flota: En los vehículos livianos a gasolina y gas natural, el incremento de las emisiones con la edad de la flota se genera por factores como la pérdida de eficiencia del convertidor catalítico, el envenenamiento del catalizador por contaminantes del combustible o el aceite, o por manipulación de los sistemas de control de emisiones (ICCT, 2020).

Para la modelación se utilizan los factores de desgaste del modelo Copert para representar el impacto de la edad de los vehículos en los factores de emisión. El modelo considera un aumento de las emisiones específicas de CO, NOx y VOC a partir de 50,000 km y hasta los 200,000 km. En las siguientes ilustraciones (Ilustración 19, Ilustración 20, Ilustración 21) se presenta el efecto de desgaste aplicado a taxis a gasolina de 1,200 CC, para los tres estándares Euro existente en la flota. De estos tres, el mayor impacto con la edad se genera en el factor de emisión de NOx, que puede aumentar entre 3 y 3.33 veces respecto al factor de emisión de vehículos con kilometraje inferior a 50,000 km. El factor de emisión del CO se incrementa hasta

25 De acuerdo con el estudio de base de Steer (2021) los taxis bi-combustible operan con gas natural el 96% del tiempo y 4% con gasolina (Steer 2021 - Entregable final pág 132). Considerando esta relación se estimaron los FE y el consumo de combustible de los vehículos bi-combustible retrofit, siguiendo la metodología propuesta en el manual del modelo Copert.

en 2.27 veces según el estándar del vehículo y el factor de emisión de VOC se incrementa en 1.75 entre un vehículo con 50,000 km y uno con 200,000 km.

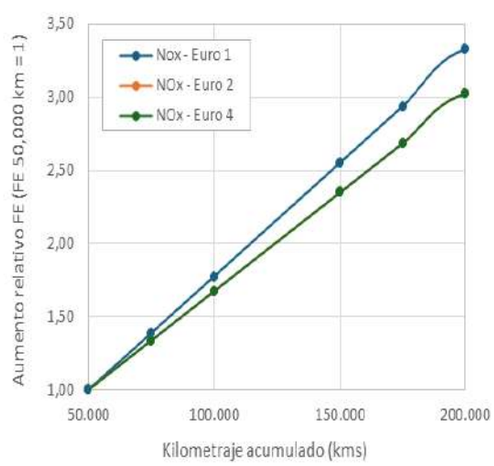
Ilustración 19. Aumento relativo del factor de emisión de CO con el kilometraje.



*El factor desgaste de Euro 2 y Euro 4 es el mismo.

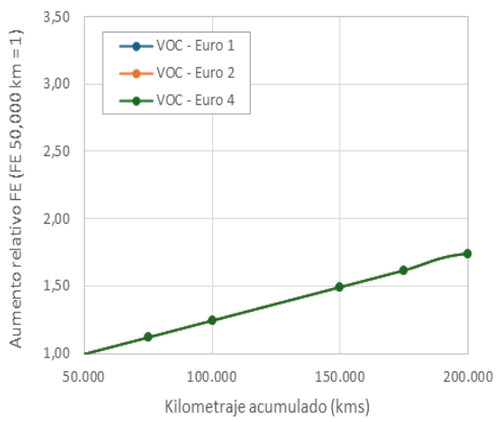
Fuente: Elaboración propia a partir de Copert.

Ilustración 20. Aumento relativo del factor de emisión de NOx con el kilometraje.



*El factor desgaste de Euro 2 y Euro 4 es el mismo.
Fuente: Elaboración propia a partir de Copert.

Ilustración 21. Aumento relativo del factor de emisión de VOC con el kilometraje.



*El factor desgaste de Euro 1, 2, 4 es el mismo.

Fuente: Elaboración propia a partir de Copert.

El modelo Copert no considera factores de desgaste para PM. Los factores de emisión del modelo IVE para flota similar a los taxis de Colombia, muestran un FE constante hasta los 161.000 km y un incremento de 2,27 veces cuando se superan los 161,000 kilómetros (International Sustainable Systems Research Center, 2009).

En promedio un taxi en el país completa 200,000 kilómetros en tres años. Vale la pena mencionar que en la definición de edad de vida útil se debe considerar que el kilometraje anual por vehículo puede variar entre diferentes ciudades y tipos de servicio que se presten con cada vehículo. Así como considerar las diferencias en los factores de emisión según las tecnologías y prácticas de mantenimiento, determinantes en el desempeño ambiental de la flota. El año modelo permite tener una primera aproximación sobre los grupos de taxis con mayores índices de contaminación ambiental.

4.2 Valoración económica de las externalidades

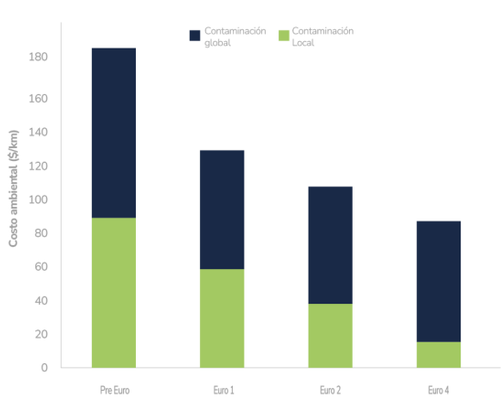
Contaminación local: La metodología de vía de impacto relaciona un nivel de emisiones, con la concentración de los contaminantes en el aire ambiente, su posterior efecto en la salud de las personas y finalmente permite estimar el costo de los impactos en morbilidad y mortalidad. Esta es una metodología estándar para la valoración de impactos generados por la contaminación del aire. A partir de estudios previos en los que se desarrolla toda la metodología de vía de impacto, es posible obtener una aproximación al costo del daño por unidad de contaminante emitido. Esta aproximación es utilizada a nivel global para la evaluación de impactos en transporte (DEFRA, 2023) (Korzhenevych et al., 2014).

Los impactos en salud de la población son específicos para cada sitio y comunidad. En ausencia de valores de referencia para Colombia, para este análisis se hizo una revisión de diferentes estudios de ciudades colombianas y estudios internacionales. Los valores se ajustaron para representarlos en pesos colombianos del 2024, y ajustando con la metodología de vía de impacto, que considera la relación entre el poder de paridad adquisitivo entre Colombia y el país de referencia. No se hicieron ajustes por densidad de la población. De este ejercicio se seleccionó un valor del daño por unidad de contaminante emitido como aproximación a los costos de las emisiones de contaminantes locales de los taxis.

Contaminación global: Además de los impactos en la contaminación del aire, que están más asociados a impactos locales, el transporte también genera impactos globales por las emisiones de GEI. Entre las alternativas para la estimación del costo asociado a las emisiones GEI se tienen i) el costo de evitar el daño, que es una aproximación comúnmente utilizada, según el costo marginal de abatimiento para reducir una tonelada de CO2e vinculado a una meta de mitigación; ii) el costo social del carbono, y iii) el costo de la tonelada de CO2e según mercados de carbono. En este caso se seleccionaron los valores establecidos por el Banco Mundial para la evaluación costo-beneficio de proyectos de transporte.

Los costos ambientales resultantes para cada categoría vehicular dependen de los factores de emisión específicos. Por ejemplo, para un taxi a gasolina de 1.200 cc un vehículo Euro 4 genera menos de la mitad de los costos ambientales por kilómetro respecto a un vehículo Pre-euro (ver Ilustración 22).

Ilustración 22. Comparación del costo ambiental ($2024/km-veh) para taxis con diferentes estándares de emisiones.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los factores de emisión modelados para los taxis, se esperaría una reducción superior al 90% en las emisiones específicas (g/km) de CO, COV y NOx, y del 10% de PM2.5 entre los vehículos Pre-euro y la flota de taxis Euro 4.

Por otro lado, se observa que las emisiones específicas (g/km) de CO2e se redujeron en 30% entre los vehículos Pre-euro y los Euro 1, y que de ahí en adelante no ha habido mejoras. Mientras que Colombia cuenta con estándares de emisiones para los contaminantes locales, no ha adoptado estándares de rendimiento.

El costo ambiental por kilómetro recorrido se reduce a la mitad entre la flota Pre-euro y la flota Euro 4. En la transición entre flota Pre-euro y Euro 4 los contaminantes locales han reducido su participación en el costo ambiental por kilómetro pasando del 47% al 17% y el costo de las emisiones de contaminantes globales se ha incrementado hasta representar el 83% de los costos ambientales en la flota Euro 4.

Si bien las emisiones específicas de contaminantes locales se han reducido de manera significativa con la adopción de los estándares euro, en la Unión Europea y en otros países de la región ya se han adoptado estándares más exigentes. La Unión Europea estableció el estándar Euro 6 desde el 2014, y en América Latina, Chile inició una implementación gradual del estándar Euro 6 desde 2022. La regulación colombiana exige Euro 4 a partir del año 2023 para la flota liviana a gasolina y no se han definido metas de incorporación de estándares de emisión más exigentes. Para la flota liviana a GNC el estándar que se exige desde 2023[26] es equivalente al Euro 6.

Para la tecnología Euro 6 en vehículos de gasolina, se requiere que ésta cumpla con un contenido máximo de azufre de 10 ppm. En Colombia se proyecta tener dicha calidad en 2030[27].

Foto: Adobe Stock

26 Resolución 762 de 2022, Artículo 15. Euro 5 y Euro 6 tienen el mismo límite de concentración en masa para PM (0.005 g/km). A diferencia de Euro 5, para el cumplimiento del estándar Euro 6 se exige además un límite de concentración en número de partículas (PN #/km = 6x10^11).

27 Conpes 3943 de 2018.

5
SUPUESTOS GENERALES

Foto: Adobe Stock

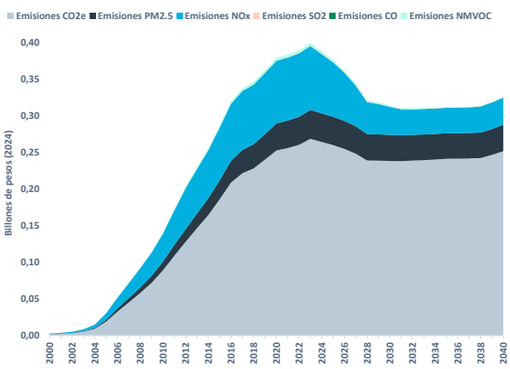
SUPUESTOS GENERALES

Las evaluaciones se llevaron a cabo sobre el escenario medio de crecimiento del parque de taxis (se describe en la siguiente sección), se aplica una tasa de descuento del 9% anual y un horizonte de análisis de 16 años. Esta tasa corresponde a la tasa social de descuento actualizada y adoptada por Departamento Nacional de Planeación (Galeano et al., 2018) y ratificada por la Resolución 1092 el 20 de abril de 2022 del DNP[28].

La ilustración 23 muestra el comportamiento estimado del valor de las externalidades negativas causadas por la emisión de contaminantes al aire asociadas con la circulación de taxis durante el horizonte de análisis en Bogotá. En esta ciudad las externalidades negativas asociadas con la operación de la flota de taxis se estiman en cerca de $ 400.000 millones de pesos al año. En ausencia de la política se espera que la contaminación de esta fuente se estabilice hacia el futuro en niveles inferiores a los actuales, por la reconversión tecnológica vegetativa del parque[29]. Las externalidades con mayor impacto socio económico y ambiental corresponden a los gases efecto invernadero (expresados en CO2e), seguidas del material particulado fino (PM2.5) y los óxidos de nitrógeno (NOx).

Foto: Adobe Stock

Ilustración 23. Composición del valor de las externalidades generadas por emisiones de contaminantes al aire en el parque de taxis en Bogotá.

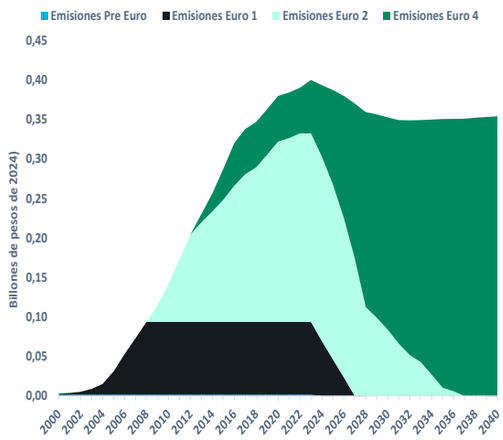


Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

La dinámica de los aportes de las distintas generaciones tecnológicas a las externalidades ambientales que ocasionan los taxis se ilustra en la Ilustración 23[30]. Se observa que la emisión de los taxis "Pre-Euro" ya es muy marginal por la baja participación de esta "camada" tecnológica en el parque. Actualmente se estima que el mayor aporte al valor de las externalidades negativas corresponde a los vehículos con estándar Euro 2, seguido de los Euro 1 y Euro 4. Se espera, por su parte, que en un horizonte de tres años los taxis Euro 1 ya no participen del parque. En este período se observa una reducción drástica del aporte a la contaminación de los taxis Euro 2, de tal forma que al finalizar el horizonte de proyección dominen los efectos negativos sobre el aire de la flota de taxis Euro 4.

28 Se basa principalmente en lo definido en la Resolución 909/1996, Resolución 910/2008 y Resolución 762/2022.
29 Se refiere a la actualización tecnológica del parque, que surge de manera natural en el mercado, sin necesidad de políticas públicos o incentivos.
30 El costo de las externalidades ambientales considera tanto los impactos relacionados con calidad del aire como los de gases efecto invernadero. La metodología se presenta en el Entregable 2.

Ilustración 24. Composición de emisiones por tipo de tecnología.



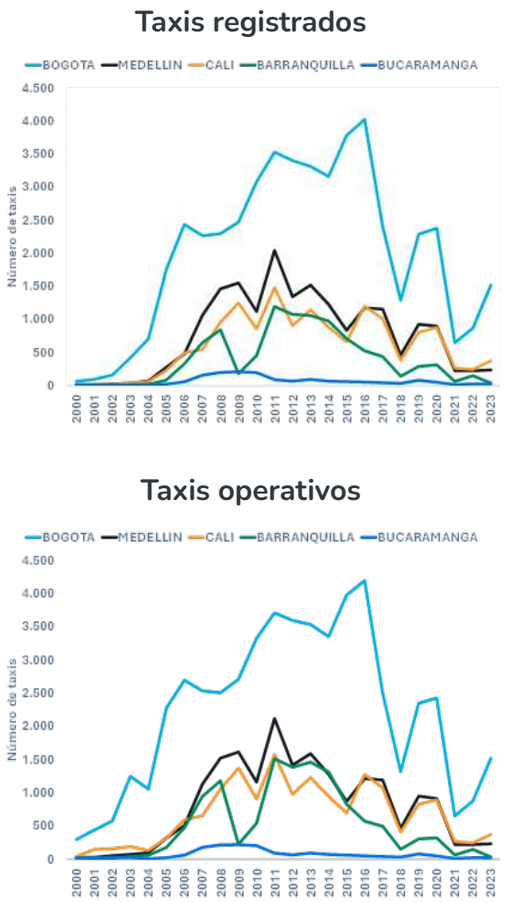
Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

En la Ilustración 24 se muestra el comportamiento de los registros y taxis operativos por modelo en una muestra de ciudades colombianas y arrojan evidencia de la baja tasa de reemplazo en el parque de taxis.

En primer lugar, es evidente la reducción en el promedio de ingresos de taxis nuevos en los últimos años con relación a los promedios observados a mediados de la década pasada. Este fenómeno puede estar relacionado con la competencia de los servicios de transporte individual ofrecida por plataformas digitales que puede haber restado rentabilidad al negocio de los taxis y, en consecuencia, reducido la compra e incorporación al parque de taxis nuevos.

La segunda parte de la gráfica, por su parte, presenta el número de taxis operativos por modelo. Se observa un comportamiento muy similar al de entradas, lo que indica que un porcentaje muy elevado de los taxis "viejos" se mantiene operativo en todas las ciudades, con una tasa lenta de reposición del parque.

Ilustración 25. Dinámica de registros de taxis.

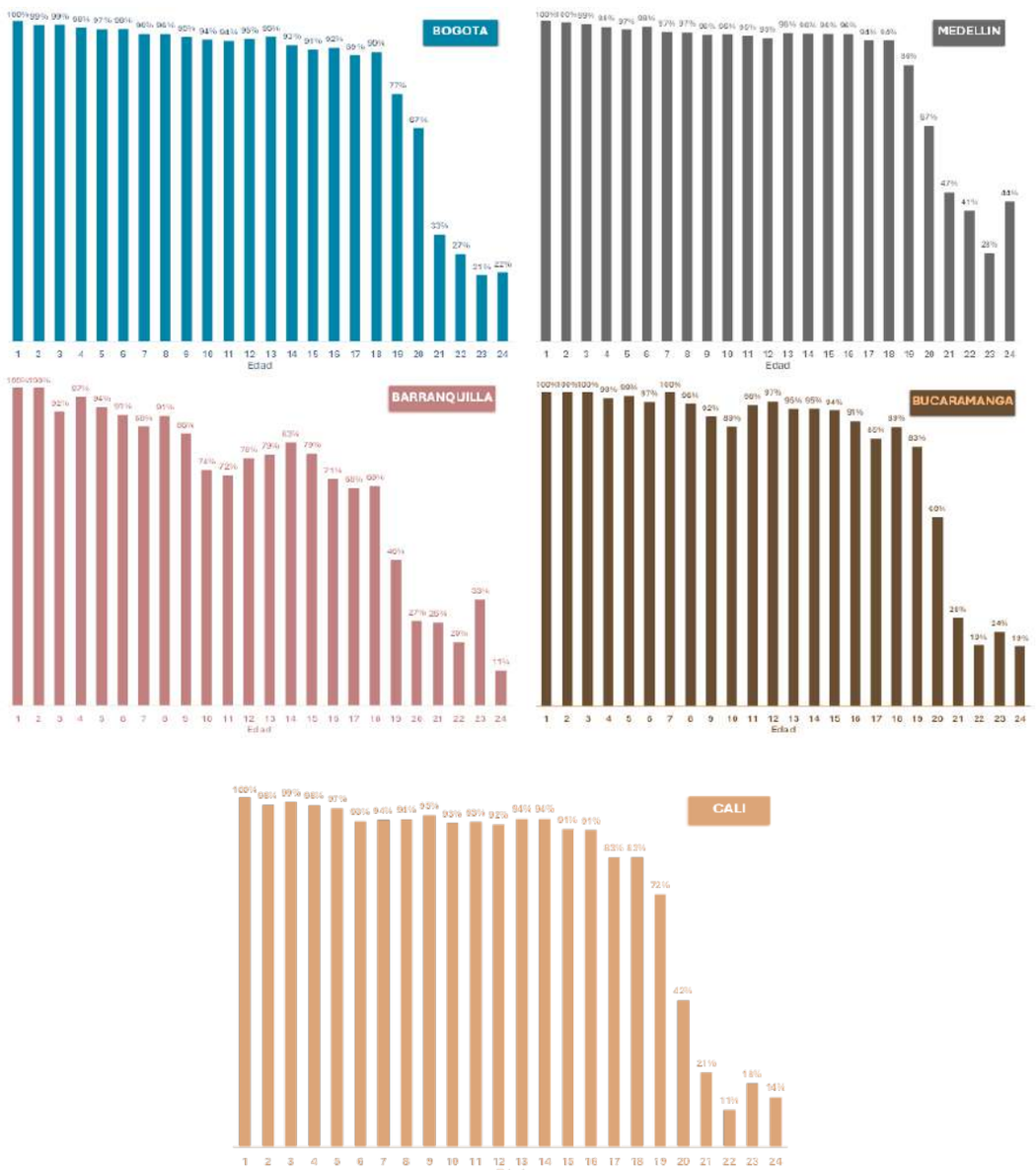


Fuente: RUNT y cálculo autores.

El siguiente panel (ilustración 24) facilita la visualización de la baja rotación de los taxis a partir de un indicador que estima el porcentaje de taxis ingresados en cada año que se mantiene operativo en 2024. En Bogotá, por ejemplo, el 90% de los taxis matriculados hace 19 años se mantiene operativo. Este porcentaje se eleva al 94% en Medellín. El 22% de los taxis que ingresaron hace 24 años aún presta el servicio en Bogotá. El patrón es muy similar en todas las ciudades analizadas y tiene consecuencias

importantes para el diseño del programa de sustitución por taxis eléctricos. Por un lado, muestra que el parque es viejo y con una participación importante de vehículos con tecnologías anteriores más contaminantes, lo que permite prever que cualquier esfuerzo por renovar la flota tendrá un impacto importante en los planos económico y ambiental. En contraste, una baja rotación dificulta la penetración de vehículos eléctricos porque denota la baja disponibilidad de los propietarios a reponer su vehículo lo que impone un reto a la implementación del programa y el alcance de las metas de penetración de taxis eléctricos.

Ilustración 26. Porcentaje de vehículos reportados como operativos en el 2024 por edad del vehículo para las ciudades principales.



Fuente: RUNT y cálculo autores.

6

ESCENARIO DE POLÍTICA

Foto: Adobe Stock

ESCENARIO DE POLÍTICA

De acuerdo con la observación histórica, parece plausible plantear un escenario donde el tamaño del parque de taxis se mantiene constante. Se consideró como elemento de política el crecimiento por una única vez de un 1% de la capacidad transportadora para abrir espacio exclusivamente para vehículos eléctricos, tal y como está contemplado en un borrador de decreto del Ministerio de Transporte (Steer, 2021)[32].

Dada la baja tasa de reposición de los taxis, se consideró adecuado introducir en el modelo, un parámetro que determina la vida útil máxima normativa de los taxis. Se busca una mayor rotación, de tal forma que sea posible alcanzar las metas de escalonamiento tecnológico. El modelo permite simular los resultados con distintos horizontes para la vida útil de los taxis. La salida de vehículos del parque, en este contexto, corresponde al número de unidades que cumplan con la vida útil que se está modelando en cada vigencia. Puesto que el parque se mantiene congelado, el número de matrículas de entrada es igual al de las salidas.

En la simulación, la política tiene una duración de cuatro años y supone la reposición de un 20% de los vehículos que han salido de circulación, por taxis eléctricos, en respuesta a los incentivos otorgados por la política. En los escenarios modelados varía el monto del incentivo otorgado, bajo los siguientes criterios:

- Mínimo valor del incentivo: corresponde a un estimativo del valor del vehículo que sale en el mercado secundario, estimado a partir de la edad (depende de la vida útil simulada) y la tasa de depreciación de 21% anual, estimada en este estudio. Se entiende que este es un valor mínimo del incentivo, porque ningún propietario estaría dispuesto a acogerse al programa y chatarrizar su vehículo si no le reconocen su costo de oportunidad en el mercado secundario.
- Máximo valor del incentivo: corresponde al valor presente neto de la reducción en externalidades ambientales estimada por la reposición de un taxi eléctrico[33], frente a la alternativa de reponerlo a un taxi de gasolina con estándar de emisiones Euro 4 o a GNC[34]. Se considera un techo para el incentivo porque cualquier valor por encima de este umbral implica un costo fiscal por encima del beneficio económico.
- Valor del incentivo base: se toma un valor intermedio de 25 millones, localizado en el intervalo entre el valor máximo y mínimo del incentivo. Este parámetro está sujeto a un análisis de sensibilidad.
- A continuación, se presentan los resultados de la simulación para las ciudades más grandes del país: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga.

32 De acuerdo con el estudio UPME – Steer (2021), se trata de una modificación del Capítulo 3 del Título 1 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1079 de 2015.

33 El costo de reemplazo de las baterías se consideró como parte de los costos que asume el propietario. Esto se incluyó en el modelo de simulación de costos total del propietario y se explica en el Entregable 2.

34 Hace referencia a taxis duales (gasolina – GNC).

Bogotá

Suponiendo un incentivo de 25 millones, se tiene:

Tabla 24. Flujo de ahorro y costo fiscal escenario Bogotá (MM de pesos constantes de 2024).

Año	Valor de las externalidades evitadas	Desembolsos fiscales
2024	$4.630	$18.791
2025	$10.383	$22.615
2026	$17.429	$27.016
2027	$25.702	$31.219
2028	$37.917	$44.644
2029	$37.917	0
2030	$37.917	0
2031	$37.917	0
2032	$37.917	0
2033	$37.917	0
2034	$37.917	0
2035	$37.917	0
2036	$37.917	0
2037	$37.917	0
2038	$37.917	0
2039	$33.287	0
2040	$27.534	0
Total	$536.053	$144.285

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

La Tabla 25 resume los resultados de la política simulada para el caso de Bogotá. El programa, basado en un incentivo por taxi de COP 25 MM, una vida útil de 14 años y una meta de penetración de vehículos del 20% de los taxis en reposición durante los 4 años de vigencia de la política implicaría la entrada al parque bogotano de 5.771 taxis eléctricos, con un costo fiscal de COP 144.000 MM. El programa induciría la reducción de 1.190.000 toneladas de CO2e y de 97 ton de PM2.5 en las emisiones de la flota de taxis durante el horizonte de análisis. El valor de las externalidades negativas por contaminación del aire se estima en COP 242.000 MM, con lo cual la relación Costo Beneficio del programa se estima en 2.24, lo que indica la conveniencia, desde la perspectiva económica y ambiental de ejecutar el programa.

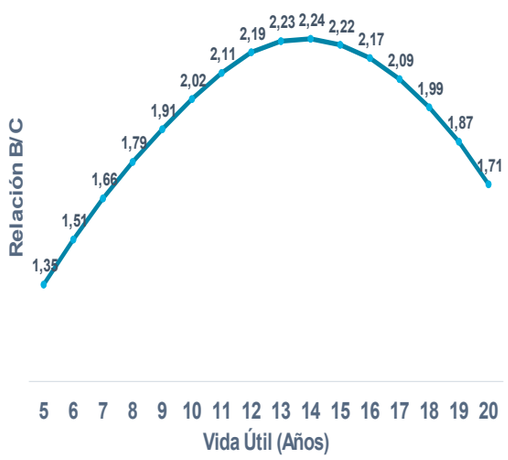
Tabla 25. Resumen resultados programa Bogotá.

	Contrafactual	Escenario Política
Número de taxis	48.574	48.574
Número de taxis eléctricos		5.771
Toneladas $PM_{2.5}$	1.107	1.010
Toneladas CO_2e	13.187.638	11.996.980
VPN Externalidades ambientales (MM $)	$ 3.111.203	$ 2.869.006
VPN Beneficio (MM $)		$ 242.197
Ahorro externalidad por taxi		$55.925.688
Costo Fiscal (MM $)		$ 144.285
VPN Costo Fiscal (MM $)		$ 108.267
Relación B/C		2,24

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

La sensibilidad a la vida útil en la modelación no sugiere que este parámetro deba ser regulado en el país. Se trata de analizar el comportamiento en respuesta a distintos diseños en términos de la edad objetivo de los taxis que se pueden acoger al programa. En el siguiente gráfico se observa cómo se comporta la relación Beneficio Costo a medida que se modifica la edad de elegibilidad de los taxis para participar del programa de escalamiento. El mayor indicador de Beneficio Costo es de 2,24 y se alcanza cuando la política se fija como umbral de elegibilidad los taxis con 14 años de vida. Se destaca que la relación es no lineal. Cuando se reduce el umbral se eleva el costo fiscal y se reponen taxis menos contaminantes lo que castiga la generación de beneficios; cuando se aumenta la edad objetivo, se reduce el número de taxis que se acoge al programa y con ello la generación de beneficios.

Ilustración 27. Relación Beneficio/ Costo vs Vida Útil Bogotá



Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

Medellín

Suponiendo un incentivo de 25 millones, se tiene:

Tabla 26. Flujo de ahorro y costo fiscal escenario Medellín (MM de pesos constantes de 2024).

Año	Valor de las externalidades evitadas	Desembolsos Fiscales
2024	$1.627	$7.354
2025	$3.620	$8.751
2026	$6.283	$11.305
2027	$9.385	$13.006
2028	$14.400	$20.299
2029	$14.400	0
2030	$14.400	0
2031	$14.400	0
2032	$14.400	0
2033	$14.400	0
2034	$14.400	0
2035	$14.400	0
2036	$14.400	0
2037	$14.400	0
2038	$14.400	0
2039	$12.773	0
2040	$10.780	0
Total	$202.864	$60.715

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

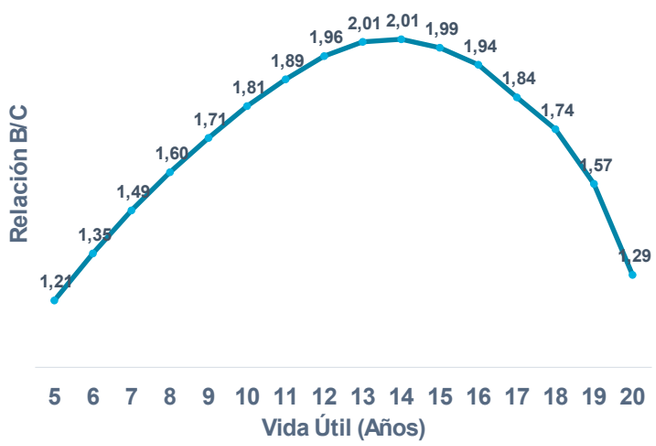
Tabla 27. Resumen resultados programa Medellín.

	Contrafactual	Escenario Política
Número de taxis	18.566	18.566
Número de taxis eléctricos		2.429
Toneladas $PM_{2.5}$	421	380
Toneladas CO2e	4.819.868	4.336.548
VPN Externalidades ambientales (MM $)	1.059.841	$ 968.673
VPN Beneficio (MM $)		$ 91.168

	Contrafactual	Escenario Política
Ahorro externalidad por taxi		$ 50.370.607
Costo Fiscal (MM $)		$ 60.715
VPN Costo Fiscal (MM $)		$ 45.249
Relación B/C		2,01

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

Ilustración 28. Relación Beneficio/Costo vs Vida Útil Medellín



Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

Cali

Suponiendo un incentivo de 25 millones, se tiene:

Tabla 28. Flujo de ahorro y costo fiscal escenario Cali (MM de pesos constantes de 2024).

Año	Valor de las externalidades evitadas	Desembolsos Fiscales
2024	$1.298	$5.439
2025	$2.904	$6.509
2026	$5.042	$8.361
2027	$7.506	$9.518
2028	$11.500	$14.839

2029	$11.500	0
2030	$11.500	0
2031	$11.500	0
2032	$11.500	0
2033	$11.500	0
2034	$11.500	0
2035	$11.500	0
2036	$11.500	0
2037	$11.500	0
2038	$11.500	0
2039	$10.202	0
2040	$8.596	0
Total	$162.048	$44.665

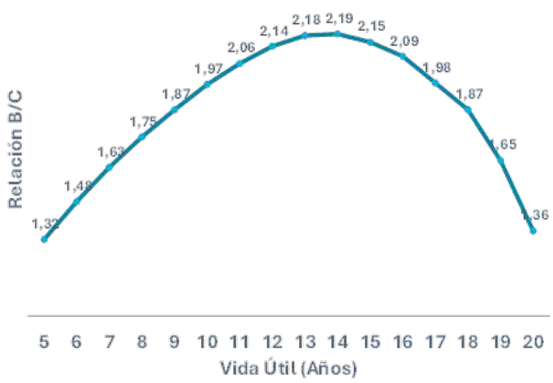
Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

Tabla 29. Resumen resultados programa Cali

	Contrafactual	Escenario Política
Número de taxis	14.868	14.868
Número de taxis eléctricos		1.787
Toneladas PM2.5	339	308
Toneladas CO2e	3.994.069	3.629.506
VPN Externalidades ambientales (MM $)	931.431	$ 858.588
VPN Beneficio (MM $)		$ 72.843
Ahorro externalidad por taxi		$ 54.668.621
Costo Fiscal (MM $)		$ 44.665
VPN Costo Fiscal (MM$)		$ 33.311
Relación B/C		2,19

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

Ilustración 29. Relación Beneficio/Costo vs Vida Útil Cali



Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

Barranquilla

Suponiendo un incentivo de 25 millones, se tiene:

Tabla 30. Flujo de ahorro y costo fiscal escenario Barranquilla (MM de pesos constantes de 2024).

Año	Valor de las externalidades evitadas	Desembolsos Fiscales
2024	$791	$3.238
2025	$1.751	$3.799
2026	$3.159	$5.290
2027	$4.970	$6.660
2028	$8.831	$13.494
2029	$8.831	0
2030	$8.831	0
2031	$8.831	0
2032	$8.831	0
2033	$8.831	0
2034	$8.831	0
2035	$8.831	0
2036	$8.831	0
2037	$8.831	0
2038	$8.831	0
2039	$8.040	0

2040	$7.080	0
Total	$122.934	$32.480

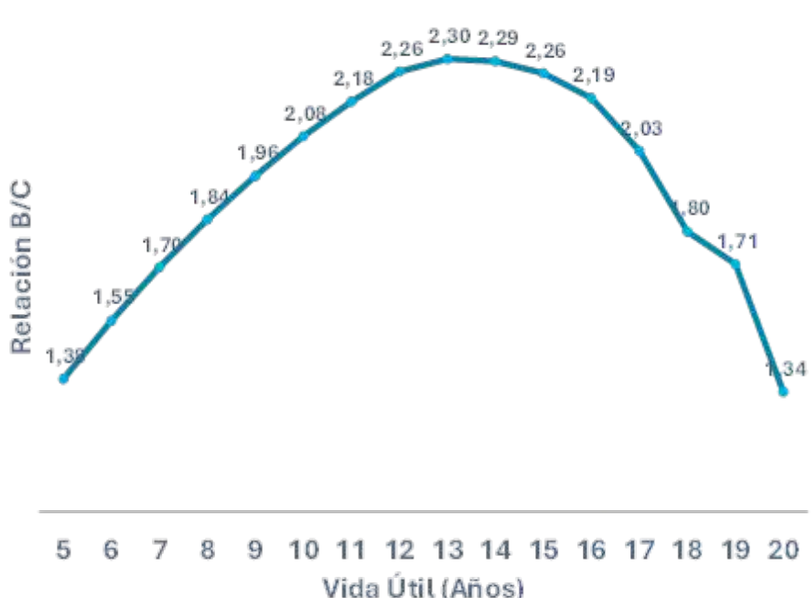
Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

Tabla 31. Resumen resultados programa Barranquilla.

	Contrafactual	Escenario Política
Número de taxis	9.633	9.633
Número de taxis eléctricos		1.299
Toneladas PM2.5	219	197
Toneladas CO2e	2.644.125	2.374.592
VPN Externalidades ambientales (MM $)	$ 634.038	$ 579.642
VPN Beneficio (MM $)		$ 54.396
Ahorro externalidad por taxi		$57.281.480
Costo Fiscal (MM $)		$ 32.480
VPN Costo Fiscal (MM$)		$ 23.740
Relación B/C		2,29

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

Ilustración 30. Relación Beneficio/Costo vs Vida Útil Barranquilla



Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores

Bucaramanga

Suponiendo un incentivo de 25 millones, se tiene:

Tabla 32. Flujo de ahorro y costo fiscal escenario Bucaramanga (MM de pesos constantes de 2024).

Año	Valor de las externalidades evitadas	Desembolsos Fiscales
2024	$211	$914
2025	$485	$1.156
2026	$785	$1.259
2027	$1.107	$1.339
2028	$1.398	$1.223
2029	$1.398	0
2030	$1.398	0
2031	$1.398	0
2032	$1.398	0
2033	$1.398	0
2034	$1.398	0
2035	$1.398	0
2036	$1.398	0
2037	$1.398	0
2038	$1.398	0
2039	$1.187	0
2040	$913	0
Total	$20.063	$5.890

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

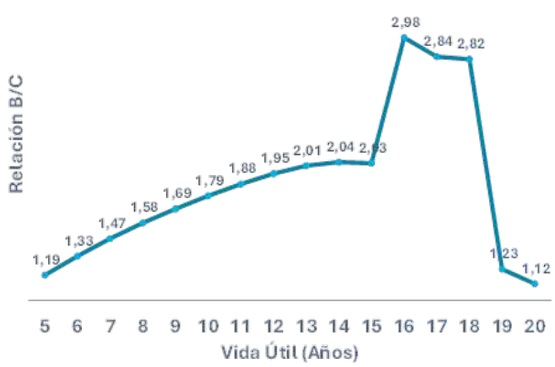
Tabla 33. Resumen resultados programa Bucaramanga.

	Contrafactual	Escenario Política
# Taxis	1.518	1.519
Número de taxis		236
Número de taxis eléctricos	34	30

Toneladas PM2.5	392.226	344.210
Toneladas CO2e	85.693	76.452
VPN Externalidades ambientales (MM $)		$9.240
VPN Beneficio (MM $)		$51.036.385
Ahorro externalidad por taxi		5.890
Costo Fiscal (MM $)		$4.526
VPN Costo Fiscal (MM$)		$2,04

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

Ilustración31. Relación Beneficio/Costo vs Vida Útil Bucaramanga35.



Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

6.1 Resumen resultados

Considerando conjuntamente las cinco ciudades modeladas, el programa de incentivos para la penetración de vehículos eléctricos tendría un costo fiscal de COP 288.000 e implicaría el escalamiento tecnológico de 11.521 taxis. Con esta meta, se alcanzaría una reducción de 2,35 millones de toneladas de CO2e y 194 ton de material particulado fino. La relación Beneficio Costo para el programa en su conjunto es de 2.15 lo que se puede interpretar que, en valor presente, por cada peso invertido se obtiene $ 2.15 pesos en beneficios económicos asociados con la reducción de la contaminación. El impacto tan positivo del programa se explica por el alto recorrido anual que registran los taxis y por la vetustez del parque en el país.

35 El perfil de Bucaramanga es diferente al de las demás ciudades, porque tiene una menor cantidad de taxis y una distribución heterogénea de edades del parque.

Tabla 34. Resumen resultados.

	Bogotá	Medellín	Cali	Barranquilla	Bucaramanga	Total/ Promedio
Número de taxis eléctricos	5.771	2.429	1.787	1.299	236	11.521
Toneladas PM2.5 evitadas	98	41	30	22	4	194
Toneladas CO2e evitadas	1.190.658	483.320	364.562	269.533	48.016	2.356.090
Ahorro externalidad por taxi	$55.925.688	$50.370.607	$54.668.621	$57.281.480	$51.036.385	$53.856.556
Costo Fiscal (MM $)	$144.285	$60.715	$44.665	$32.480	$5.890	$288.035
Relación B/C	2,24	2,01	2,19	2,29	2,04	2,15

Fuente: Parámetros ambientales, RUNT y cálculo autores.

7

LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA EL ESCALAMIENTO TECNOLÓGICO EN TAXIS

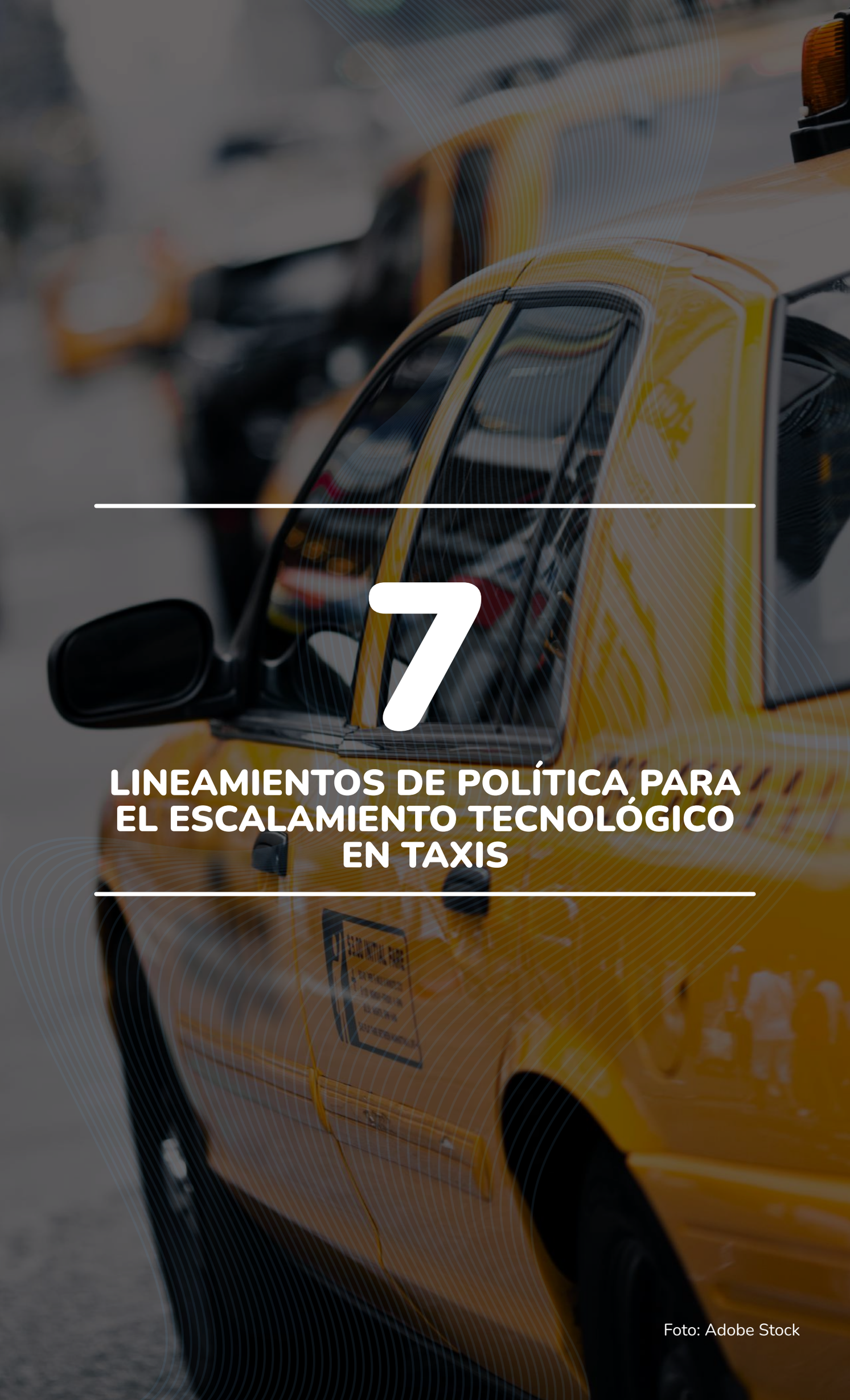


Foto: Adobe Stock

LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA EL ESCALAMIENTO TECNOLÓGICO EN TAXIS

En esta sección se discuten brevemente algunos de los componentes que podrían integrar la política de escalamiento tecnológico.

7.1 Fijar la vida útil máxima

Fijar normativamente la vida útil de los taxis tiene aspectos a favor y en contra.

Pros:

- Acelera la renovación del parque (menor contaminación y gasto en combustible).
- Facilita la penetración de eléctricos.
- Flota nueva y mejores tecnologías implica mejor servicio y seguridad.

Contras:

- Enfrenta oposición política de los propietarios.
- Puede implicar una distorsión que ocasione un gasto privado en vehículos por encima del óptimo social.

¿Si se decide fijar la vida útil máxima normativa cual sería el umbral óptimo? De acuerdo con el modelo, el nivel que maximiza el B/C de la política es de 14 años. Este nivel es cercano al que darían dos ciclos de vida de una batería en los taxis eléctricos[36]. Con este umbral, además, el costo de propiedad de un taxi eléctrico es menor que el de uno a gasolina.

No obstante, para determinar la vida útil normativa es necesario conocer el comportamiento del gasto de mantenimiento en función del kilometraje recorrido por el taxi. En principio cada propietario repone su taxi cuando considera que el flujo de CAPEX y OPEX en valor presente es menor con un taxi nuevo que con un taxi usado. De acuerdo con lo anterior, fijar la vida útil normativa es innecesario porque los propietarios tienen los incentivos para renovar el vehículo cuando minimizan el flujo de gastos. No obstante, en Colombia se presenta un fenómeno generalizado de reparación del motor y cambio de autopartes que postergan la decisión de reposición y pueden generar efectos perversos sobre el ambiente, la seguridad vial y la calidad del servicio.

¿Conviene fijar una vida útil diferencial para taxis eléctricos y taxis de combustión interna?

Pros

- Favorece el reemplazo y la penetración de eléctricos.
- Permitiría completar la amortización de uno o dos ciclos de la batería.

Contra:

- Puede enfrentar oposición de los propietarios.
- Puede ser difícil de soportar en el plano técnico – económico y ambiental.

36 Se considera adecuado para el caso de los eléctricos, tener presente la duración de las baterías cercana a los 7-8 años. Este es el periodo de garantía que otorgan actualmente la mayoría de los fabricantes. Aunque en la práctica la vida útil de las baterías depende de múltiples factores, incluyendo las tecnologías de las baterías y las condiciones de uso que se les dé, entre otros. Utilizar este tiempo de vida útil puede ser conservador teniendo en cuenta estudios prospectivos que muestran que a mediano plazo se espera que se incremente la vida útil de las baterías (ICCT, 2022).

7.2 Aumento en la cuota transportadora (cupo)

La política podría contemplar el aumento en la cuota transportadora de tal forma que los incrementos en el parque que habilita esta expansión se suplan únicamente con vehículos eléctricos. Esta medida es muy positiva desde la perspectiva del programa porque acelera la penetración de esta tecnología.

No obstante, incluir esta medida como un componente del programa podría generar reacción adversa por parte de los propietarios que ya enfrentan altos niveles de competencia con los servicios provistos a través de plataformas. En efecto, un aumento de la cuota podría exacerbar el fenómeno de baja utilización del parque. Conviene mencionar que en Medellín los propietarios no se motivaron a adquirir taxis eléctricos a pesar de la bondad en el cupo (mantener los dos taxis en operación con un solo cupo durante 3 años y solo el cupo eléctrico pasado este período).

Por otra parte, se debe analizar si un aumento en el cupo requiere una modificación legal en aquellas ciudades en donde no se cumpla con un 80% en el índice de ocupación. En el marco de la normativa actual, se podría definir que cuando se supere el umbral de 80% las ampliaciones de la cuota solo se puedan suplir con eléctricos. Una norma en esta dirección, presumiblemente, no sería de buena aceptación por parte de propietarios y fabricantes y sería necesario soportarla en el plano técnico-económico y ambiental. En cualquier caso, la imposición de esta condición debe estar acompañada de un mecanismo de asignación de cupos que cumpla la neutralidad impuesta por la ley.

Alternativamente se podría exigir que un porcentaje de las reposiciones se supla con taxis eléctrico. Esta medida también permite abrir un espacio para promover los taxis eléctricos sin afectar el tamaño del parque ni el balance de oferta – demanda en este mercado. Sin embargo, la medida también podría enfrentar oposición política de los propietarios y fabricantes. Por otra parte, una norma de este tipo debería definir un mecanismo para establecer quien debe reponer con eléctrico y quien no y soportar el porcentaje de reposiciones con eléctricos.

En lugar de imponer la cuota de reposición con eléctricos se pueden implementar incentivos tales como un bono a CAPEX por la adquisición de un vehículo eléctrico, diferenciales en las restricciones de movilidad en zonas congestionadas y con alta concentración de contaminantes y evaluar la conveniencia de otorgar el derecho temporal a conservar cupo de gasolina cuando se ingresa un eléctrico tal y como se formuló en el programa piloto de Medellín.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda mantener la expansión del parque de taxis del 1% por una sola vez para ser

suplida exclusivamente con vehículos eléctricos tal y como lo contempla el borrador de política del gobierno[37].

7.3 Monto del bono al CAPEX

Como se mencionó, el monto del incentivo se localiza entre dos valores:

Valor de salvamento: Constituye un monto mínimo si se busca que el vehículo sea chatarrizado porque refleja su costo de oportunidad en el mercado secundario. En un escenario con umbral de elegibilidad de 14 años se estima el valor de salvamento en COP 2,2 MM38.

Ahorro en externalidades: Constituye un máximo desde la perspectiva del gobierno. Con este nivel de incentivo la relación B/C se iguala a 1. Cualquier incentivo mayor implica una política con TIR por debajo de la tasa de descuento social. Para el caso de Bogotá, en un escenario con el umbral de elegibilidad en 14 años el VPN de los beneficios por vehículo asciende a COP 51 MM.

En el análisis se contemplaron otros posibles criterios como:

Diferencial de CAPEX con eléctrico: Es un incentivo fuerte porque deja indistinto al propietario entre las dos tecnologías en lo referente al monto de la inversión, pero le permite capturar los ahorros del taxi eléctrico durante la etapa de operación. En las condiciones actuales del mercado en Colombia este monto podría superar el techo mencionado atrás. En el modelo de CTP el diferencial del costo de adquisición entre un taxi a gasolina y un eléctrico se estimó en COP 83 MM, que supera el máximo definido en ahorro de externalidades ambientales.

Diferencial de CTP: Deja indiferente al propietario en cuanto al retorno de los flujos generados bajo las dos tecnologías. No parece viable en la medida en que el CTP del eléctrico es menor que el de gasolina, lo que implicaría un incentivo negativo.

En las simulaciones de la política se utilizó un incentivo de COP 25 MM otorgado por cada vehículo que se acoja al programa. Si se reduce el incentivo sin sobrepasar el límite mínimo, aumenta la relación B/C y la tasa de retorno del programa. Si se eleva hasta el máximo definido, se reduce la relación B/C hasta converger a 1, donde, el programa apenas cubre el costo de oportunidad de los fondos públicos. Para establecer el nivel adecuado convendría llevar a cabo un ejercicio de valoración contingente que determine estadísticamente la disponibilidad a aceptar acogerse al programa entre los propietarios de taxis. Este análisis trasciende el alcance de la presente consultoría.

37 De acuerdo con el estudio UPME – Steer (2021), se trata de una modificación del capítulo 3 del Título 1 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1079 de 2015.

38 Se construyó una base de datos con los valores de taxis del mercado secundario, sobre la que se realizó un análisis econométrico que permitió calcular la tasa de depreciación. Este análisis se presenta en el Entregable 2.

7.4 Regionalización de la política

Puesto que los problemas de contaminación son más severos en las ciudades grandes, la política tendría un mayor impacto por peso invertido en estas ciudades. Idealmente la financiación del programa se debería apalancar en recursos de los entes territoriales y, en consecuencia, plantear las metas de penetración adecuadas a la capacidad fiscal y los impactos específicos de cada ciudad.

En el nivel nacional el parque de taxis asciende a 220.000 unidades lo que constituye una base importante para lograr las metas de penetración de vehículos que se ha impuesto el gobierno. Si la financiación es mayoritariamente nacional es probable que se deba abrir oportunidad de unirse a la política en todas las ciudades. Se debe recordar que el efecto de los gases efecto invernadero (GEI) no depende del tamaño ni densidad de la ciudad donde se apliquen los incentivos.

7.5 Metas de penetración

En la formulación preliminar del programa, dirigida a retirar de circulación los vehículos con más de 14 años y reemplazar un 20% de este monto con vehículos eléctricos, se estaría alcanzando el escalamiento tecnológico de 11.500 taxis. Con el programa se lograría que algo más de un 5% de la flota de taxis migre a la tecnología eléctrica, que supera la meta nacional impuesta en los documentos de política del 3% de la flota de taxis[39] al 2030.
La orientación de incentivos a más de 10.000 taxis ya no es un programa piloto. Se trata de una escala importante que podría acelerar la tendencia natural a electrificar la flota de taxis. Se podría plantear implementar un nuevo piloto con el objeto de afinar los incentivos que aumenten la participación de los propietarios que corrija los problemas en los diseños anteriores (ej., Bogotá y Medellín). No obstante, dado el estado actual de la tecnología eléctrica (autonomía y precio) se debe esperar un aumento en la participación de los taxis eléctricos. Desde esta perspectiva el programa debe acelerar el proceso natural de migración y no desgastarse en nuevos pilotos con un impacto marginal en este proceso.

7.6 Fuentes y mecanismos de financiación

A continuación, se enumeran algunas posibles fuentes para la financiación del programa señalando las fortalezas y debilidades de cada una:

Recursos de presupuesto: En el plano teórico se puede justificar la orientación de recursos del presupuesto nacional a la financiación de un programa que contribuye con la reducción de la contaminación y con ello mitiga los problemas de salud pública y el calentamiento global. El programa, además, genera un retorno económico

39 Ver CONPES 3934 de 2018 y CONPES 3943 de 2018.

superior a la tasa social de descuento que mide el costo de oportunidad por invertir los recursos públicos en otras prioridades. No obstante, en la coyuntura actual se enfrentan restricciones fiscales importantes. Se podría montar una operación con la banca multilateral para financiar el flujo de incentivos. Esta solución relaja las restricciones de caja, pero no necesariamente las de espacio fiscal. En esta dirección se podría intentar incorporar al presupuesto fondos verdes no reembolsables soportados en los impactos B/C de la política. La incorporación de estos recursos evita la presión fiscal y permite financiar un programa con impacto ambiental positivo de gran magnitud.

Creación de rentas de destinación para el programa:

Rentas específicas del nivel nacional: Existe una restricción constitucional a constituir rentas de destinación específica en el nivel nacional para gastos distintos a los sectores sociales.

- Se podría buscar direccionar parte del impuesto al carbono a este tipo de programas, en la medida en que esta renta ya está asignada a gastos con impacto ambiental positivo.
- En principio se debería descartar la imposición de un impuesto a las ventas de taxis (hoy exentos) para alimentar el fondo de escalamiento tal como ha operado en transporte de carga. El problema de este impuesto es que encarece el costo de los vehículos nuevos lo que agrava el bajo ritmo de reposición que se observa en el segmento de taxis.

Rentas específicas del nivel territorial: Los entes territoriales no enfrentan la restricción constitucional de establecer rentas de destinación específica para sectores diferentes a los sociales. Se podría analizar la imposición de un impuesto local que grave la contaminación (la tasa varía en función de edad y tecnología). Esta tasa se podría montar sobre la estructura de liquidación y recaudo del impuesto de circulación).

Cofinanciación con entes territoriales: Plantear un fondo que cofinancie iniciativas de las ciudades para electrificar la flota de taxis puede generar un efecto de arrastre de los recursos limitados del presupuesto nacional.

Líneas de crédito blando: Se podría contemplar la identificación de fuentes de recursos blandos canalizados a través de la banca de fomento para reducir el costo de financiación de los taxis eléctricos. Los créditos blandos podrían acercar al equilibrio el costo de adquisición entre los taxis eléctricos y los de gasolina. Estos créditos se pueden conseguir con líneas verdes dado el impacto ambiental del programa. Los recursos se podrían canalizar a través de la banca de segundo piso (Bancóldex, Findeter, entre otras).

7.7 Infraestructura de carga

Uno de los beneficios de la implementación del programa de escalamiento tecnológico en taxis es que permite asegurar de forma acelerada

una masa crítica de vehículos eléctricos que viabilicen la inversión y operación en estaciones de carga rápida y semi-rápida en localizaciones estratégicas de las grandes ciudades. La puesta en servicio de estas estaciones, por su parte, facilita la operación de los taxistas que migren a vehículos eléctricos porque les permite superar cualquier limitación de autonomía con la recarga en horas de baja demanda de sus taxis. Se crea de esta forma un círculo virtuoso entre el fomento a la penetración de taxis eléctricos y la promoción de las estaciones de carga.

El suelo urbano es escaso y representa uno de los principales componentes del costo en estaciones de carga urbana. En esta dirección es muy positivo fomentar alianzas entre las ciudades promotoras y los establecimientos con capacidad de parqueo tales como centros comerciales, supermercados, estaciones de servicio (EDS). Vale la pena mencionar que para la carga de vehículos eléctricos se requiere menos espacio por vehículo respecto al requerido en estaciones de servicio para vehículos de combustión interna.

Costos de la electricidad: También es importante hacer las modificaciones que sean necesarias en la regulación para permitir que se transfieran los menores costos de la energía en el mercado mayorista a las tarifas que cancelan los usuarios cuando cargan sus vehículos en horas de baja demanda eléctrica. En principio este cambio pasa por la revisión de la regulación del mercado mayorista eléctrico y de comercialización minorista y el despliegue de medidores inteligentes que faciliten el monitoreo de un mayor número de fronteras comerciales y ofrezcan inteligencia al usuario para optimizar los horarios de carga.

Alistamiento de la red eléctrica: Para las estaciones de recarga de vehículos eléctricos se requiere energía disponible en los puntos en que ubican las estaciones. La infraestructura de la red eléctrica debe ser adaptada para cumplir con las condiciones necesarias para la operación de las estaciones de carga. Estos son tiempos que deben considerarse en el diseño del programa. Esquemas de carga: Finalmente, el país debe evaluar la aplicabilidad y conveniencia de concertar con sector privado sistemas de carga fidelizados en los cuales la batería pertenece al operador de red de carga y se pone a disposición del usuario en un esquema semejante a un leasing, con pagos distribuidos a lo largo de la vida útil y realizados en cada carga como una fracción de la tarifa. Este esquema permite reducir el CAPEX inicial del vehículo (excluye el costo de la batería) con lo cual se hace aún más atractivo para los propietarios de taxi el escalamiento hacia la tecnología eléctrica al momento de la reposición de su vehículo.

Estandarización de los cargadores: De acuerdo con entrevistas desarrolladas como parte de este estudio40, un aspecto muy relevante en cuanto a la infraestructura de carga es la estandarización de los cargadores. En Colombia se ha permitido la entrada

40 Entrevista con el Grupo Terpel desarrollada el 3 de octubre 2024. Entrevista a Enel X desarrollada el 24 de septiembre 2024.

de vehículos eléctricos con diferente sistema de carga. Quienes prestan el servicio de carga se han visto obligados a instalar diferentes tipos de cargadores para poder suplir el servicio a una alta proporción de los vehículos eléctricos. El uso de adaptadores no es la solución óptima y aún se enfrenta a restricciones técnicas. La estandarización de los cargadores es un tema que deberá abordarse entre los diferentes actores del sector en el corto plazo.

Existen más de ocho tipos de cargadores en los principales mercados de vehículos eléctricos a nivel global. Los países han seguidos diferentes estrategias que varían entre permitir todos los tipos de cargadores y definir un único tipo de cargador, entre otras opciones intermedias. La opción que se seleccione tiene consecuencias de mediano y largo plazo. Análisis recientes para contextos similares a los de Colombia (países importadores de vehículos eléctricos, con un mercado relativamente pequeño) recomiendan la adopción de estrategias de interoperabilidad, en donde se permita el uso de diferentes tipos de cargadores (ICCT, 2023).

La estrategia de interoperabilidad requiere acciones coordinadas entre el tipo de cargadores que se permita en los vehículos nuevos y el tipo de sistemas de recarga que se exija para las estaciones públicas de recarga.

Esquemas de recambio de baterías: Aunque el esquema de recambio de baterías es menos común para vehículos livianos que para otros segmentos de movilidad eléctrica como el de motocicletas, existen ejemplos de implementación a gran escala (Lin, 2024). Los vehículos ingresan a la estación y en menos de tres minutos, con el soporte de un robot, se reemplazan las baterías de cada vehículo (ICCT, 2024).

El sistema opera mediante diferentes esquemas de suscripción mensual al servicio de baterías (batteries as service). Algunas de las ventajas para los usuarios son: i) se reduce el costo inicial del vehículo, porque se adquiere sin baterías; ii) la compañía se encarga del mantenimiento de las baterías y le garantiza al usuario baterías de buena calidad; iii) los usuarios pueden seleccionar baterías de última generación; y iv) la compañía se encarga de la gestión de las baterías al final de la vida útil.

El esquema de recambio ha resultado de gran utilidad en segmentos como el de los taxis, porque reduce los tiempos de carga respecto a otras opciones como tener estaciones de carga semi-rápida y rápida. Sin embargo, aún existen retos de logística en la recarga por resolver, siendo uno de los principales la estandarización de las baterías (Lin, 2024).

7.8 Articulación de diferentes acciones para la electrificación de la flota de taxis

Además de la definición de fuentes y esquemas de financiación, la electrificación de los taxis a gran escala en Colombia aún se enfrenta a diferentes tipos de retos, entre otros, solucionar

las necesidades en infraestructura de recarga en diferentes ciudades, resolver temas de reglamentación técnica (estandarización de cargadores) y mejor coordinación entre los diferentes actores (prestadores de servicio de taxi, importadores de flota, empresas del sector eléctrico y de servicios de recarga, entidades financieras, Gobierno Nacional). De acuerdo con las entrevistas desarrolladas en el estudio, una mejor articulación de las iniciativas en electrificación de taxis permitiría resolver con mayor celeridad las principales barreras que se han identificado. La formación de una mesa de trabajo podría ser una alternativa para la articulación de las diferentes iniciativas que se están desarrollando, y que apunten a un programa nacional de electrificación de taxis.

Foto: Adobe Stock

DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS TAXIS Y PROMOCIÓN DE SU ELECTRIFICACIÓN

Esta propuesta de política busca presentar los resultados del análisis de costos y beneficios de la transición a taxis eléctricos en Colombia, resaltando su viabilidad económica, impacto ambiental y recomendaciones para la implementación de políticas públicas que fomenten la modernización de la flota.

Fijar normativamente la vida útil de los taxis tiene aspectos a favor y en contra.

Pros

- Acelera la renovación del parque (menor contaminación y gasto en combustible).
- Facilita la penetración de eléctricos.
- Flota nueva y mejores tecnologías implica mejor servicio y seguridad.

Contra

- Enfrenta oposición política de los propietarios.
- Puede implicar una distorsión que ocasione un gasto privado en vehículos por encima del óptimo social.

Vida útil :

14 años

Caracterización de la Flota de Taxis en Colombia

- 219,460 taxis en operación (2023).
- 83.5% funcionan con gasolina, 15.3% son bi-combustible, <0.01% eléctricos.
- Edad promedio: 13.6 años; 39% tienen entre 10-15 años de antigüedad.
- Bogotá tiene el 26% del parque de taxis en el país.

Impacto Ambiental de los Taxis

Emiten hasta 36,700 toneladas de CO anuales y 60 toneladas de PM2.5.

Contribuyen hasta el 11% en emisiones de VOC y 16% en CO en ciudades colombianas.

Generan entre 60,000 y 190,000 toneladas de CO2 al año.

Costos de Propiedad por Tecnología (COP/km en 2024)

Gasolina:

1,669 COP/km.

Gas Natural:

1,500 COP/km.

Eléctrico:

1,486 COP/km

(11% más barato que gasolina).

Meta de reposición

11.500
Taxis

Monto del incentivo

$25.000.000 COP
como aporte a la financiación de la unidad

Recomendaciones para la Transición

- Incentivar la electrificación con subsidios e incentivos financieros.
- Promover la renovación acelerada de taxis con tecnologías obsoletas.
- Implementar regulaciones más estrictas sobre estándares de emisiones.
- Crear esquemas de financiamiento accesible para la compra de taxis eléctricos.

Beneficio-Costo de los Taxis Eléctricos

A partir de 5 años de operación, los eléctricos son más rentables que los de gasolina.

A los 9 años, igualan costos con los de gas natural.

Con una vida útil de 8 años, la adopción de eléctricos es viable sin reemplazo de batería.

7

BIBLIOGRAFÍA

Foto: Adobe Stock

AMVA. (2023). Inventario de emisiones atosférias del Valle de Aburrá Fuentes Móviles, año 2022.

AMVA & UPB. (2018). Actualización inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburra - año 2016tle.

AMVA & UPB. (2020). Actualización inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá - año 2018.

Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga & Universidad Pontificia Bolivariana. (2022). Plan de Gestión para la Calidad del Aire de la CDMBU.

DEFRA. (2023). Impact pathways approach. Retrieved from Guidance Air quality Appraisal website: https://www.gov.uk/government/publications/assess-the-impact-of-air-quality/air-quality-appraisal-impact-pathways-approach

Galeano, G. P., Cárdenas, M. M., Rangel, E. C., & Chacón, J. R. (2018). Actualización de la tasa de rendimiento del capital en Colombia bajo la metodología de Harberger. Departamento Nacional de Planeación.

ICCT. (2020). Emissions deterioration of U. S. gasoline light-duty vehicles and trucks. (August 2018), 2018–2021. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/US-TRUE-emissions-deterioration-oct2020.pdf

International Sustainable Systems Research Center. (2009). International Vehicle Emissions Model. Retrieved from http://www.issrc.org/ive/

Korzhenevych, A., Dehnen, N., Bröcker, J., Holtkamp, M., Meier, H., Gibson, G., ... Cox, V. (2014). Update of the Handbook on External Costs of Transport. Final Report, (1), 139. https://doi.org/Ref: ED 57769 - Issue Number 1

Méndez. (2018). Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel local en el Distrito de Barranquilla.

Ntziachristos, L., & Leonidas Ntziachristos, Z. S. (2023). EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2023.

Pontificia Universidad Javeriana Cali. (2013). Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas por fuentes móviles.

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2020). Inventario de emisiones de Bogotá, Contaminantes atmosféricos 2018.

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2021). Inventario de emisiones de Bogotá, Contaminantes atmosféricos 2020.

Steer. (2021). Proyecto No 24058101 - Programa de ascenso tecnológico de taxis hacia cero y bajas emisiones. Bogotá D.C.

Valencia, M. C. (2019). Actualización de inventario de emisiones por fuentes móviles y estimación de emisiones atmosféricas por resuspensión y distribución de combustible en la ciudad de Manizales. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/72890/2/1053827658.2019.pdf

GRUPO BANCO MUNDIAL