

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

---



# 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 por:

Steer  
Carrera 7 No.71-52 Torre A  
Oficina 904  
Edificio Carrera Séptima  
Bogotá D.C. Colombia

+57 1 322 1470  
www.steergroup.com

Preparado para:

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME  
Calle 26 #69D-91, Torre 1 Piso 9, Bogotá D.C.  
Colombia

Cliente ref Contrato de consultoría 041 de 2020  
Nuestra ref: 23918101

Este documento fue preparado por Steer para Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. La información contenida en este documento debe considerarse confidencial, cada destinatario reconoce la confidencialidad de la información aquí incluida y se compromete a no divulgarla de ninguna manera. Cualquier persona o institución que utilice cualquier parte de este documento sin el consentimiento expreso por escrito de Steer, se considerará que otorga su conformidad a indemnizar a Steer por todas las pérdidas o daños que resulten de dicha utilización. Steer ha llevado a cabo su propio análisis utilizando toda la información disponible en el momento de elaboración del presente documento y señala que la llegada de nuevos datos e información podría alterar la validez de los resultados y conclusiones que aquí se presentan. Por lo tanto, Steer no se responsabiliza de los cambios en la validez de los resultados y conclusiones debido a eventos y circunstancias actualmente imprevisibles.

## Contenido

<b>Abreviaturas .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción .....</b>	<b>3</b>
Compromisos y metas nacionales .....	4
Clasificación vehicular .....	12
Aproximación metodológica al análisis de motores de cambio (condicionantes del ascenso tecnológico) .....	13
<b>2 Inventario de las clases de vehículos y modalidades de transporte a nivel nacional .....</b>	<b>17</b>
Proceso de limpieza de la base del RUNT .....	18
Caracterización general del parque automotor del país .....	19
Motocicletas .....	25
Vehículos livianos .....	31
Vehículos de pasajeros .....	41
Vehículos de carga .....	52
<b>3 Inventario de tecnologías vehiculares actualmente disponibles a nivel nacional e internacional .....</b>	<b>62</b>
Vehículos con motor de combustión interna .....	64
Vehículos con motor eléctrico .....	70
Vehículos híbridos .....	78
<b>4 Perspectivas de la oferta de tecnologías de cero y bajas emisiones en el mediano plazo .</b>	<b>84</b>
Panorama general del sector automotriz .....	84
Análisis de disponibilidad tecnológica .....	87
Vehículos con motor de combustión interna .....	95
Vehículos con motor eléctrico y vehículos híbridos .....	100
Uso de hidrógeno en el transporte carretero .....	102
<b>5 Análisis de patrones de crecimiento para casos internacionales .....</b>	<b>106</b>
China .....	107
Unión Europea .....	109
Estados Unidos .....	113

	Costa Rica .....	117
	Chile .....	120
	Facilitadores y barreras de casos de estudio .....	123
<b>6</b>	<b>Análisis de motores de cambio .....</b>	<b>127</b>
	Dimensión socioeconómica.....	128
	Dimensión financiera.....	129
	Dimensión tecnológica .....	130
	Dimensión de movilidad.....	131
<b>7</b>	<b>Construcción de escenarios .....</b>	<b>132</b>
	Estimación del crecimiento del parque automotor .....	139
	Estimación de cambio tecnológico .....	150
<b>8</b>	<b>Evaluación de escenarios.....</b>	<b>181</b>
	Estimación de uso.....	181
	Consumo de energéticos.....	182
	Emisiones generadas.....	187
	Inversión para adquisición de vehículos .....	189
<b>9</b>	<b>Priorización de escenarios .....</b>	<b>193</b>
	Análisis costo beneficio .....	193
	Resultados del análisis.....	201
<b>10</b>	<b>Prospectivas del ascenso tecnológico de la flota vehicular del país y sus impactos .....</b>	<b>206</b>
	Panorama general del desarrollo y disponibilidad de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones en Colombia .....	206
	Demanda potencial de vehículos de bajas y cero emisiones en Colombia.....	212
	Impactos del ascenso tecnológico.....	229
<b>11</b>	<b>Análisis de priorización de clases de vehículos y modalidades de transporte.....</b>	<b>232</b>
	Metodología .....	233
	Resultados .....	235
<b>12</b>	<b>Barreras y recomendaciones para el ascenso tecnológico de la flota vehicular del país .</b>	<b>238</b>

Barreras .....	238
Recomendaciones para cada segmento vehicular .....	242
Recomendaciones generales .....	252
<b>13 Referencias .....</b>	<b>254</b>

## Figuras

Figura 1.1: Aproximación metodológica.....	14
Figura 2.1: Distribución por clase vehicular.....	20
Figura 2.2: Distribución por tipo de servicio y clase para el total del parque automotor del país ..	21
Figura 2.3: Distribución por tipo de combustible para el total del parque automotor.....	22
Figura 2.4: Cantidad de vehículos acumulados del parque automotor total por tipo de combustible y año* .....	22
Figura 2.5: Modelo por clase de vehículo para el total del parque automotor .....	23
Figura 2.6: Modelo acumulado por clase de vehículo para el total del parque automotor.....	24
Figura 2.7: Edad promedio del parque automotor por clase de vehículo.....	24
Figura 2.8: Número de vehículos por municipio de registro en organismo de tránsito.....	25
Figura 2.9: Características del motor de motocarros .....	26
Figura 2.10: Número de motocarros por modelo .....	27
Figura 2.11: Número de motocarros por municipio del organismo de tránsito asociado .....	28
Figura 2.12: Características del motor de motocicletas .....	29
Figura 2.13: Edad de motocicletas.....	30
Figura 2.14: Número de motocicletas por municipio del organismo de tránsito asociado .....	31
Figura 2.15: Partición por clase vehicular para los vehículos livianos del parque automotor .....	31
Figura 2.16: Composición de los tipos de servicio prestados por vehículos livianos .....	32
Figura 2.17: Cantidad de vehículos livianos por clase vehicular y tipo de servicio .....	33
Figura 2.18: Cantidad de vehículos livianos de servicio oficial por clase y rango de cilindraje.....	36
Figura 2.19: Cantidad de vehículos livianos de servicio particular por clase y rango de cilindraje..	37
Figura 2.20: Cantidad de vehículos livianos de servicio público por clase y rango de cilindraje .....	37
Figura 2.21: Cantidad acumulada de vehículos livianos de servicio oficial por año* .....	38
Figura 2.22: Cantidad acumulada de vehículos livianos de servicio particular por año* .....	39

Figura 2.23: Cantidad acumulada de vehículos livianos de servicio público por año* .....	40
Figura 2.24: Número de vehículos livianos registrados por municipios por tipo de servicio.....	40
Figura 2.25: Partición por tipologías de buses del transporte de pasajeros. ....	42
Figura 2.26: Proporción del tipo de servicio prestado para cada tipología de vehículos de pasajeros .....	43
Figura 2.27: Tipos de combustible por tipología de vehículo de pasajeros de servicio público .....	44
Figura 2.28: Tipos de combustible por tipología de vehículo de pasajeros de servicio particular...	44
Figura 2.29: Vehículos de pasajeros de servicio público por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones .....	45
Figura 2.30: Vehículos de pasajeros de servicio público por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones y tipo de bus.....	46
Figura 2.31: Vehículos de pasajeros de servicio particular por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones y tipo de bus .....	46
Figura 2.32: Cantidad de vehículos por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones por año* .....	47
Figura 2.33: Cantidad de vehículos de pasajeros de servicio público por rango de cilindraje.....	48
Figura 2.34: Cantidad de vehículos de pasajeros de servicio particular por rango de cilindraje .....	48
Figura 2.35: Número acumulado de vehículos de pasajeros de servicio público por año* .....	49
Figura 2.36: Número acumulado de vehículos de pasajeros de servicio particular por año* .....	50
Figura 2.37: Número acumulado de articulados y biarticulados por año* .....	50
Figura 2.38: Cantidad de vehículos de pasajeros de servicio por municipio* .....	51
Figura 2.39: Composición del Parque automotor de carga nacional .....	52
Figura 2.40: Tipo de servicio del Parque automotor de carga.....	53
Figura 2.41: Cilindraje del Parque automotor de carga - Camiones.....	54
Figura 2.42: Cilindraje del Parque automotor de carga – Tractocamión .....	55
Figura 2.43: Cilindraje del Parque automotor de carga – Volquetas .....	55
Figura 2.44: Tipo de combustibles en el Parque automotor de carga .....	56
Figura 2.45: Normativa de emisiones en el parque automotor de carga.....	56
Figura 2.46: Rangos de modelos del parque automotor de carga .....	57
Figura 2.47: Crecimiento acumulado aproximado del Parque automotor de carga .....	58
Figura 2.48: Ubicación del parque automotor de carga - Camiones .....	59
Figura 2.49: Ubicación del parque automotor de carga – Tractocamiones .....	59

Figura 2.50: Ubicación del parque automotor de carga – Volquetas.....	60
Figura 2.51: Niveles de capacidad de carga en el Parque automotor de carga .....	61
Figura 3.1: Evolución anual del sector automotriz en ventas de vehículos (sin motos) en Colombia .....	67
Figura 3.2: Evolución anual del sector automotriz (sin motocicletas) en Colombia .....	67
Figura 3.3: Ventas de vehículos eléctricos en el mundo. 2010 – 2017.....	73
Figura 3.4: Resultados de la clasificación McKinsey del mercado de vehículos eléctricos en el mundo.....	74
Figura 3.5: Pronóstico ventas de vehículos eléctricos hasta el 2040 .....	75
Figura 3.6: Pronóstico precio de baterías para vehículos eléctricos. 2010 – 2030 .....	75
Figura 3.7: Participación anual en ventas de EV (sin motos).....	77
Figura 3.8: Participación anual en ventas de vehículos de HEV y PHEV.....	81
Figura 3.9: Ventas anuales totales de vehículos eléctricos (BEV) e híbridos (HEV y PHEV) .....	82
Figura 3.10: Comparación porcentual ventas anuales totales de vehículos eléctricos (BEV) e híbridos (HEV y PHEV).....	82
Figura 4.1: Emisiones globales de CO <sub>2</sub> en el sector transporte por modo en el Escenario de Desarrollo Sostenible.....	86
Figura 4.2: Escala de nivel de madurez tecnológica .....	88
Figura 4.3: Consumo de energía por combustible en el sector transporte a nivel mundial I en el escenario de desarrollo sostenible .....	96
Figura 5.1: Diagrama de organización de los actores involucrados en la PPP.....	121
Figura 7.1: Tasa de crecimiento anual del PIB en dos escenarios basados en los efectos de la pandemia por COVID-19.....	140
Figura 7.2: Curvas de motorización estimadas para vehículos livianos de uso particular en escenario con PIB optimista .....	141
Figura 7.3: Curvas de motorización estimadas para vehículos livianos de uso particular en escenario con PIB pesimista .....	141
Figura 7.4: Vehículos livianos particulares nuevos por año en escenario con PIB optimista.....	142
Figura 7.5: Vehículos livianos particulares nuevos por año en escenario con PIB pesimista.....	142
Figura 7.6: Curva de motorización estimada para motocicletas .....	143
Figura 7.7: Curva de motorización estimada para motocicletas .....	143
Figura 7.8: Motocicletas nuevas por año en ambos escenarios de PIB.....	144
Figura 7.9: Proyección de vehículos livianos de servicio público por año en Colombia.....	145

Figura 7.10: Vehículos livianos de servicio público nuevos por año .....	145
Figura 7.11: Sustitución de flota de buses para ciudades con SITM y SETP con política de vida útil de máximo 12 años.....	147
Figura 7.12: Sustitución de flota de buses para ciudades con SITM y SETP con vida útil de máximo 15 años.....	148
Figura 7.13: Curva de motorización estimada para vehículos de carga .....	149
Figura 7.14: Cantidad anual de vehículos de carga nuevos estimados a partir del modelo de motorización.....	150
Figura 7.15: Cantidad anual de vehículos de carga nuevos estimados a partir del modelo de motorización y política de sustitución vehicular. ....	150
Figura 7.16: Pregunta filtro de grupo de población objetivo .....	152
Figura 7.17: Ejemplo de pregunta de caracterización de vehículo actual.....	153
Figura 7.18: Pantalla de descripción de las tecnologías de bajas y cero emisiones vehiculares....	154
Figura 7.19: Árbol de diseños de ejercicios de elección – vehículos livianos.....	155
Figura 7.20: Árbol de diseños de ejercicios de elección – motocicletas .....	156
Figura 7.21: Ejemplo de las tarjetas de los ejercicios de elección.....	157
Figura 7.22: Ejercicio de jerarquización.....	158
Figura 7.23: Porcentaje de personas encuestadas por género según el estrato de su vivienda....	159
Figura 7.24: Relación entre el estrato de la vivienda y la clase vehicular .....	160
Figura 7.25: Relación entre la edad de la persona encuestada y la clase vehicular.....	160
Figura 7.26: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de automóviles considerando el género.....	164
Figura 7.27: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de automóviles considerando el nivel socioeconómico .....	165
Figura 7.28: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de camionetas y camperos considerando el género .....	165
Figura 7.29: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de camionetas y camperos considerando el nivel socioeconómico.....	166
Figura 7.30: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de motocicletas considerando el género.....	167
Figura 7.31: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de motocicletas considerando el nivel socioeconómico .....	167
Figura 7.32: Escenario 1 de cambio tecnológico – Camionetas y camperos.....	173

Figura 7.33: Cambio tecnológico para trayectoria 1 – vehículos livianos de servicio público .....	175
Figura 7.34: Cambio tecnológico para trayectoria 2 – vehículos livianos de servicio público .....	175
Figura 7.35: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de pasajeros de transporte público – Trayectoria 1 .....	176
Figura 7.36: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de pasajeros de transporte público – Trayectoria 2 .....	177
Figura 7.37: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de carga – Trayectoria 1 .....	179
Figura 7.38: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de carga – Trayectoria 2 .....	180
Figura 8.1: Consumo de energéticos – E1. 2021 – 2050.....	184
Figura 8.2: Emisiones contaminantes – E1. 2021 – 2050 .....	188
Figura 8.3: Número de vehículos nuevos por tecnología vehicular – E1. 2021 – 2050.....	190
Figura 9.1: Comparación B/C entre escenarios de análisis. E1 – E16.....	203
Figura 9.2: Comparación B/C entre escenarios de análisis. E17 – E32.....	204
Figura 10.1: Rango de crecimiento de motocicletas eléctricas en Colombia.....	213
Figura 10.2: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para automóviles, camiones y camperos en Colombia .....	214
Figura 10.3: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para vehículos livianos de servicio público en Colombia.....	217
Figura 10.4: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para biarticulados y articulados en Colombia.....	220
Figura 10.5: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para padrones en Colombia.....	221
Figura 10.6: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para busetas, busetones y microbuses en Colombia.....	223
Figura 10.7: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones camiones y volquetas en Colombia .....	226
Figura 10.8: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones tractocamiones en Colombia.....	228
Figura 11.1: Esquema metodológico de priorización .....	233
Figura 12.1: Nube de palabras de comentarios.....	243
Figura 12.2: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico.....	244
Figura 12.3: Sensibilidad del escenario 1 de cambio tecnológico de vehículos de uso privado según variación del % de personas que conocen y consideran tecnologías vehiculares de bajas y cero emisiones.....	245

Figura 12.4: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de camionetas y camperos discriminando lugar de residencia ..... 247

## Tablas

Tabla 1.1: Indicadores de resultado CONPES 3943 .....	8
Tabla 1.2: Mapa de ruta para la transición hacia vehículos de bajas y cero emisiones .....	9
Tabla 1.3: Clasificación vehicular .....	13
Tabla 2.1: Clasificación de tipologías vehiculares a partir del RUNT .....	17
Tabla 2.2: Tabla resumen del proceso de limpieza de la base de datos del RUNT .....	18
Tabla 2.3: Cilindraje máximo y mínimo aceptable por clase vehicular de acuerdo a la distribución de cilindrajes por clase. ....	19
Tabla 2.4: Porcentaje de vehículos por tipo de combustible y tipo de servicio .....	34
Tabla 2.5: Cantidad de vehículos con combustibles de cero y bajas emisiones en categoría “Otros” .....	35
Tabla 2.6: Partición por tipologías de buses del transporte de pasajeros para cada tipo de servicio. ....	42
Tabla 2.7: Caracterización del Parque automotor de carga por cantidad de ejes .....	53
Tabla 3.1: Clasificación por tecnologías vehiculares .....	63
Tabla 3.2: Vehículos de combustión más vendidos en el 2020 por marca y combustible en Colombia.....	68
Tabla 3.3: Rendimientos en consumo energético vehículos con motores a combustión interna ...	69
Tabla 3.4: Top empresas en mercado de vehículos eléctricos .....	76
Tabla 3.5: Principales empresas de vehículos eléctricos por categoría vehicular en 2019.....	76
Tabla 3.6: Vehículos eléctricos más vendidos por marca en Colombia.....	78
Tabla 3.7: Rendimientos en consumo energético vehículos eléctricos.....	78
Tabla 3.8: Vehículos híbridos más vendidos por marca en Colombia .....	83
Tabla 4.1: Nivel de madurez de tecnologías vehiculares.....	89
Tabla 4.2: Nivel de madurez de infraestructura de carga .....	92
Tabla 4.3: Nuevos modelos de vehículos livianos eléctricos anunciados por fabricantes .....	100
Tabla 5.1: Objetivos nacionales para vehículos de cero y bajas emisiones en países europeos ...	109
Tabla 5.2: Políticas relacionadas con vehículos eléctricos Estados Unidos.....	115

Tabla 5.3: Resumen de las políticas de EV y EVSE en los Estados Unidos, 2018/19.....	116
Tabla 5.4: Resumen de estrategias y facilitadores de casos de estudio.....	123
Tabla 6.1: Motores de cambio para el análisis de escenarios .....	128
Tabla 6.2: Componentes de la estructura del precio de la gasolina y el ACPM .....	129
Tabla 7.1: Trayectoria de motores de cambio .....	132
Tabla 7.2: Escenarios de evaluación .....	134
Tabla 7.3: Funciones de motorización para automóviles, camionetas y camperos particulares...	140
Tabla 7.4: Funciones de motorización .....	148
Tabla 7.5: Descripción de los atributos de las alternativas de los ejercicios de elección.....	156
Tabla 7.6: Modelo multinomial para la compra de automóviles de uso privado.....	162
Tabla 7.7: Modelo multinomial para la compra de camionetas de uso privado .....	162
Tabla 7.8: Modelo multinomial para la compra de motocicletas de uso privado .....	163
Tabla 7.9: 16 escenarios para estimación de cambio tecnológico para los 3 segmentos vehiculares de uso privado .....	170
Tabla 7.10: Porcentaje de vehículos según tecnología vehicular en los 16 escenarios evaluados - Automóviles.....	171
Tabla 7.11: Porcentaje de vehículos según tecnología vehicular en los 16 escenarios evaluados – Camionetas y camperos.....	172
Tabla 7.12: Porcentaje de vehículos según tecnología vehicular en los 16 escenarios evaluados – Motocicletas .....	173
Tabla 7.13: Supuestos para estimación de cambio tecnológico de vehículos livianos de servicio público .....	174
Tabla 8.1: Indicador de uso por tipo de vehículo .....	182
Tabla 8.2: Consumo energéticos – E1.....	183
Tabla 8.3: Consumo de energéticos por escenario. 2021 - 2050 .....	185
Tabla 8.4: Emisiones contaminantes – E1 .....	188
Tabla 8.5: Emisiones generadas por CO2eq y PM. 2021 - 2050 .....	188
Tabla 8.6: Costo de inversión para adquisición de vehículos a 2021. 2021 – 2050. ....	191
Tabla 9.1: Estructura del Modelo de Costo – Beneficio .....	195
Tabla 9.2: Valor del Impuesto al Carbono para la vigencia 2020 .....	196
Tabla 9.3: Enfermedades asociadas.....	198
Tabla 9.4: enfermedades GBD2019 .....	199

Tabla 9.5: Resultados del análisis costo beneficio.....	202
Tabla 10.1: Disponibilidad a corto plazo de tecnología por segmento vehicular en Colombia .....	207
Tabla 10.2: Disponibilidad a mediano plazo de tecnología por segmento vehicular en Colombia	211
Tabla 10.3: Disponibilidad a largo plazo de tecnología por segmento vehicular en Colombia.....	211
Tabla 11.1: Equivalencia entre segmento vehicular y clases de vehículos y modalidades de transporte .....	232
Tabla 11.2: Asignación de puntajes por segmento para criterio de facilidad de implementación	234
Tabla 11.3: Resultados de la priorización .....	235
Tabla 11.4: Análisis de sensibilidad – Ponderación en impactos de salud pública .....	235
Tabla 11.5: Análisis de sensibilidad – Ponderación en costos de energéticos .....	235
Tabla 11.6: Análisis de sensibilidad – Ponderación en impactos ambientales.....	236
Tabla 11.7: Análisis de sensibilidad – Ponderación en facilidad de implementación .....	236

## Anexos

- A Fichas técnicas de vehículos
- B Consultas RUNT

## Abreviaturas

- ACB: Análisis Costo-Beneficio
- BEV: Vehículo eléctrico de batería
- BNEF: Bloomberg New Energy Finance
- CC: Centímetros cúbicos
- CMNUC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
- CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono
- CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas
- DNP: Departamento Nacional de Planeación
- E-REV: Vehículo eléctrico de autonomía extendida
- EM: Motor eléctrico
- ENME: Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica
- EPA: Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos
- FCV: Vehículo de celda de combustible
- FCVE: Vehículo eléctrico de pila de combustible
- GEI: Gases de Efecto Invernadero
- GNC: Gas Natural Comprimido
- GNL: Gas Natural Licuado
- GNV: Gas Natural Vehicular
- GLP: Gas Licuado de Petróleo
- HEV: Vehículo híbrido eléctrico
- HRS: Estación de reabastecimiento de hidrógeno
- ICE: Vehículo de Combustión Interna
- iNDC: Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional
- LCV: Vehículo comercial ligero
- MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- MHEV: Vehículo microhíbrido eléctrico
- MIP: Membrana de Intercambio de Protones
- MPa: Mega pascales
- NOx: Óxidos de Nitrógeno
- ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
- ONU: Organización de Naciones Unidas
- PAS: Planes de Acción Sectorial
- PEN: Plan Energético Nacional
- PEM: Membrana de Electrolito Polimérico
- PNCC: Política Nacional de Cambio Climático
- PHEV: Vehículo híbrido eléctricos enchufable
- PM: Material Particulado
- PPM: Partes por Millón
- PROURE: Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía
- REDD+: Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques
- RUNT: Registro Único Nacional de Tránsito

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 | Productos 1 al 6

- SETP: Sistema Estratégico de Transporte Público
- SITM: Sistema Integrado de Transporte Masivo
- SOAT: Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito
- TRL: Nivel De Madurez Tecnológica
- UAV: Vehículos Aéreos No Tripulados
- ULEV: Vehículo de ultra bajas emisiones
- UPME: Unidad de Planeación Minero-Energética
- VE/EV: Vehículo eléctrico
- ZEV: Vehículo de cero emisiones

# 1 Introducción

- 1.1 El presente documento corresponde al entregable consolidado de todos los productos del contrato de consultoría C - 041 - 2020, suscrito entre la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME y Steer, con el objeto de "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".
- 1.2 El desarrollo de las actividades del presente estudio está organizado en tres etapas. La primera, incluye lo concerniente a la línea base, la cual genera los insumos necesarios para el desarrollo de las siguientes etapas. En la etapa 2, se identifican los motores de cambio (drivers) que condicionan la adopción de tecnologías de bajas y cero emisiones, se cuantifican los costos y beneficios, y se priorizan los vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar ascenso tecnológico. Finalmente, en la tercera etapa se realiza la formulación de estrategias para desarrollar el proceso de renovación, se identifican las barreras asociadas y se recomiendan acciones para una adecuada transición tecnológica.
- 1.3 Las conclusiones y recomendaciones presentados en este documento se realizaron a partir del análisis de los resultados de las etapas anteriores del proyecto y de entrevistas realizadas a actores clave para el ascenso tecnológico. Es importante aclarar que los resultados y análisis presentados en este documento no intentan predecir el futuro, ni ofrecer una visión política de lo que el futuro de la movilidad debería ser. Por el contrario, la información y análisis presentados se basan en tendencias históricas y modelos basados en datos para explorar la evolución tecnológica y sus condicionantes.
- 1.4 En este entregable se incluyen los siguientes productos:
- Producto 1: Inventario de las clases de vehículos y modalidades de transporte a nivel nacional con sus respectivos consumos energéticos.
  - Producto 2: Inventario de tecnologías de cero y bajas emisiones actualmente disponibles a nivel nacional e internacional.
  - Producto 3: Inventario de tecnologías de cero y bajas emisiones que podrían estar disponibles en el mediano plazo distinguiendo los periodos de tiempo en los que estarían disponibles, identificadas mediante estudios realizados o en desarrollo (posibles desarrollos).
  - Producto 4: Resultados del análisis de los motores de cambio que pueden condicionar la adopción de tecnologías de cero y bajas emisiones.
  - Producto 5: Metodología de priorización y sus resultados.
  - Producto 6: Análisis realizados respecto a las clases de vehículos y modalidades de transporte priorizadas, las principales barreras y recomendaciones.
- 1.5 El documento esta dividido de la siguiente forma:

- Etapa I
  - Capítulo 1: Introducción
  - Capítulo 2: Inventario de las clases de vehículos y modalidades de transporte a nivel nacional
  - Capítulo 3: Inventario de tecnologías vehiculares actualmente disponibles a nivel nacional e internacional
  - Capítulo 4: Perspectivas de la oferta de tecnologías de cero y bajas emisiones en el mediano plazo
  - Capítulo 5: Análisis de patrones de crecimiento para casos internacionales
- Etapa II
  - Capítulo 6: Análisis de motores de cambio
  - Capítulo 7: Construcción de escenarios
  - Capítulo 8: Evaluación de escenarios
  - Capítulo 9: Priorización de escenarios
- Etapa III
  - Capítulo 10: Prospectivas del ascenso tecnológico de la flota vehicular del país y sus impactos
  - Capítulo 11: Análisis de priorización de clases de vehículos y modalidades de transporte
  - Capítulo 12: Barreras y recomendaciones para el ascenso tecnológico de la flota vehicular del país
- Capítulo 13: Referencias

1.6 A continuación, se presenta un recuento de los compromisos y metas nacionales que tiene un impacto en el desarrollo del estudio.

### Compromisos y metas nacionales

- 1.7 En 2014, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible lideró el proceso de preparación y discusión sobre las Contribuciones Nacionales Determinadas (iNDC, por su sigla en inglés), la cual fue presentada oficialmente ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en septiembre de 2015 (COP21). Los compromisos de Colombia fueron ratificados mediante la Ley 1844 de 2017 "Por medio de la cual se aprueba el "Acuerdo de París", adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia".
- 1.8 La contribución de Colombia se orientó hacia los siguientes objetivos (García Arbeláez, 2015):
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del país 20% con relación a las emisiones proyectadas a 2030.
  - Aumentar la resiliencia y la capacidad adaptativa del país, a través de 10 acciones sectoriales y territoriales priorizadas a 2030.
  - Fomentar el intercambio de conocimiento, tecnología y financiamiento para acelerar las contribuciones planteadas en materia de adaptación y mitigación de gases de efecto invernadero.
- 1.9 Para la construcción de la contribución, en términos de adaptación se establecieron seis sectores prioritarios, uno de los cuales es el sector transporte, estos sectores deben implementar acciones de adaptación innovadoras.

- 1.10 En términos de mitigación se plantearon, entre otras cosas, ocho Planes de Acción Sectorial (PAS), uno de estos es el del sector transporte, el cual fue elaborado y aprobado por el Ministerio de Transporte. El PAS contiene un conjunto de políticas, programas y acciones que impulsan el desarrollo del sector, el cumplimiento de sus objetivos y la contribución a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero – GEI. Los objetivos establecidos en el PAS del sector transporte son los siguientes (Ministerio de Transporte, 2015):
- Contar con un sistema logístico nacional de carga que integre las cadenas de abastecimiento y que promueva la intermodalidad.
  - Apoyar la implementación de sistemas de transporte público integrados que mejoren la movilidad en las ciudades.
  - Fortalecer sistemas de recolección de información para agilizar trámites y procesos en materia de tránsito y transporte.
  - Apoyar y promover la renovación/desintegración del parque automotor de carga.
  - Reducir el número de fatalidades anuales causadas por accidentes de tránsito.
  - Promover proyectos de transporte sostenible mediante la incorporación y fortalecimiento de componentes ambientales en los proyectos.
  - Aumentar la competitividad de las ciudades mediante estrategias integrales de movilidad, que promuevan soluciones eficientes, y sostenibles.
- 1.11 Dentro de las medidas de mitigación incluidas dentro del PAS se resalta el aumento en la participación de vehículos eléctricos e híbridos en la flota de transporte privado de pasajeros, estándares de rendimiento más exigentes, buses eléctricos en la flota de transporte público de las ciudades principales, taxis eléctricos e híbridos en la flota de transporte público urbano, renovación del parque automotor de carga, sustitución de camiones por vehículos GNL y aumento de la participación de GNC. Todas estas medidas estaban encaminadas a promover un ascenso tecnológico de la flota vehicular del país.
- 1.12 A partir de los compromisos nacionales de reducción de emisiones de GEI se han planteado diversas estrategias y acciones enmarcadas en documentos de política pública y leyes orientadas a la promoción de la movilidad eléctrica, mejoramiento de los estándares nacionales para tecnologías vehiculares y energéticas y a la reducción de emisiones. A continuación, se presentan los aspectos relacionados con el presente estudio:
- Ley 1931 de 2018**
- 1.13 Por la cual se establecen las directrices para la gestión del cambio climático. En esta Ley se “establecen las directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de las personas públicas y privadas, la concurrencia de la Nación, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas Metropolitanas y Autoridades Ambientales principalmente en las acciones de adaptación al cambio climático, así como en mitigación de gases efecto invernadero, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas del país frente a los efectos del mismo y promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono” (Artículo 1, Ley 1931 de 2018).
- 1.14 En esta Ley se establecen los instrumentos para la planificación de la gestión del cambio climático, los cuales son:

1. “Las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés) comprometidas ante la CMNUCC.
2. La Política Nacional de Cambio Climático.
3. Los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Sectoriales y los Territoriales.
4. Los planes de desarrollo de las entidades territoriales y los planes de ordenamiento territorial.
5. Las Comunicaciones Nacionales, los Inventarios Nacionales de GEI, los reportes bienales de actualización (BUR) y los demás reportes e informes que los sustituyan, modifiquen o reemplacen.” (Artículo 14, Ley 1931 de 2018).

#### **Política Nacional de Cambio Climático – PNCC**

- 1.15 “La Política Nacional de Cambio Climático inició su formulación en el año 2014 y desde entonces se propuso articular todos los esfuerzos que el país viene desarrollando desde hace varios años, y principalmente desde el 2011, a través de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono –ECDBC-, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático –PNACC-, y la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques - REDD+, entre otras iniciativas, y adiciona elementos novedosos para orientar estratégicamente todos los esfuerzos hacia el cumplimiento del compromiso adquirido en el marco del Acuerdo de París” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).
- 1.16 Dentro de su línea estratégica de desarrollo urbano bajo en carbono y resiliente al clima, establece como líneas de acción, entre otras, brindar alternativas de transporte público eficientes e integrada baja en carbono y resilientes al clima; e incentivos para vehículos de bajas emisiones y la implementación de modos no motorizados. Así mismo, dentro de la línea estratégica de desarrollo de infraestructura estratégica baja en carbono y resiliente al clima establece dentro de sus líneas de acción promover el enfoque evitar-cambiar-mejorar el cual implica: i) evitar viajes innecesarios a través de la gestión de la demanda; ii) cambiar, fortaleciendo la intermodalidad de la carga y pasajeros en articulación con modos más eficientes (en términos de generación de emisiones por unidad de carga o pasajero, reduciendo además la vulnerabilidad del sistema), iii) mejorar, incrementando la eficiencia energética de vehículos o a través de estrategias de gestión para evitar viajes en vacío.

#### **Documento CONPES 3934. Política de crecimiento verde**

- 1.17 Este documento CONPES, aprobado en julio de 2018, tiene como propósito “impulsar a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima, en un periodo de implementación de 13 años entre el 2018 y 2030. En el marco de esta política el crecimiento verde establecerá trayectorias de crecimiento que garantizan en el largo plazo el desarrollo económico, la conservación del capital natural, el bienestar social y la seguridad climática.” (CONPES 3934, 2018).
- 1.18 Específicamente para el sector transporte, se estableció la estrategia para promover condiciones que favorezcan la adopción de tecnologías para la gestión eficiente de la energía y la movilidad sostenible en donde se definen las siguientes acciones:
- Formular el programa de movilidad eléctrica en Colombia.

- Formular las bases para un programa de reemplazo tecnológico en la flota oficial del país, fomentando la adquisición de vehículos eléctricos e híbridos para las entidades públicas
- Elaboración de una propuesta de ajuste y creación de incentivos a la penetración de vehículos eléctricos en el transporte de carga, público de pasajeros y privado.
- Desarrollar una propuesta de estrategia para la migración hacia taxis eléctricos para presentar a las ciudades
- Establecer lineamientos de política para el desarrollo de la infraestructura, comercialización y operación de la movilidad eléctrica
- Definir los parámetros mínimos de seguridad, homologación y condiciones de operación (revisión técnico-mecánica) de los vehículos eléctricos para los procesos de ensamble e importación
- Acompañar el proceso de evaluación de alternativas para la integración de material rodante eléctrico en los Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) y en los Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP).
- Concertar en los CONPES de cofinanciación de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) y en los Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP) los criterios ambientales para infraestructura y operación,

1.19 Dentro de los indicadores de resultado propuestos en el documento CONPES se estableció un indicador de seguimiento asociado con las acciones anterior. Este indicador es el número de vehículos eléctricos, y tiene como meta para el año 2030 tener 600.000 vehículos eléctricos registrados en el RUNT. Este aumento en número de vehículos eléctricos representaría una reducción de 3,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente a 2030.

#### **Documento CONPES 3943. Política para el mejoramiento de la calidad del aire**

1.20 El documento CONPES 3941, aprobado en julio de 2018 establece la política para el mejoramiento de la calidad de aire. Propone acciones para reducir las concentraciones de contaminantes en el aire a través de la renovación y modernización del parque automotor, la reducción del contenido de azufre en los combustibles, la implementación de mejores técnicas y prácticas en la industria, la optimización de la gestión de información, el desarrollo de investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire (CONPES 3943, 2018).

1.21 Uno de los objetivos específicos de esta política es reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles. Este objetivo tiene las siguientes líneas de acción: 1) Renovación y modernización del parque automotor; 2) Actualización de parámetros de calidad de los combustibles y biocombustibles; y 3) Seguimiento y control. Las acciones establecidas para el cumplimiento de este objetivo son:

- Implementar una estrategia nacional para la renovación y modernización del parque automotor priorizando las categorías altamente contaminantes.
- Revisar y ajustar el tiempo de uso del parque automotor del país en función de las emisiones contaminantes generadas.
- Elaborar una propuesta de modificación a ley que establece el impuesto sobre los vehículos.
- Adoptar una estrategia nacional para aumentar la incorporación de tecnologías de cero y bajas emisiones.

- Actualizar la reglamentación para reducir el contenido de azufre en los combustibles que se distribuyen en el parque automotor.
- Implementar un programa de aseguramiento de la calidad de los combustibles a lo largo de la cadena de distribución.
- Actualizar los métodos de medición de emisiones contaminantes en vehículos nuevos y en uso con el fin de mejorar el seguimiento y control realizado a las emisiones provenientes del parque automotor.
- Implementar medidas para reducir y eliminar de la evasión de la revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes.
- Implementar una etiqueta ambiental para los vehículos en función de las emisiones contaminantes con el fin de orientar medidas de movilidad que desincentiven al uso de vehículos contaminantes.
- Elaborar una propuesta de modificación al Código Nacional de Transito en lo relacionado con el seguimiento y control a las fuentes móviles. Definir e implementar alternativas para la reducción y el control de las emisiones de los vehículos en circulación.

1.22 Los indicadores de resultado asociados al seguimiento de este objetivo son:

Tabla 1.1: Indicadores de resultado CONPES 3943

Nombre del indicador	Objetivo	Línea base		Meta 2024	Meta 2028
		Valor	Año		
Vehículos de cero y bajas emisiones que ingresan al parque automotor	Aumentar el ingreso de tecnologías limpias al parque automotor como vehículos eléctricos, dedicados a gas natural, híbridos, diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre, entre otras tecnologías, de acuerdo con la clasificación establecida en la normativa vigente	0%	2016	2%	3%
Sistemas de transporte masivo operando con vehículos eléctricos y dedicados a gas natural	Aumentar la incorporación de sistemas de transporte público cuyas flotas incluyen vehículos eléctricos y dedicados a gas natural, en especial sistemas de transportes masivos que son actualmente 7 en el país	29%	2018	43%	100%
Vehículos diésel cumpliendo el estándar Euro VI	Aumentar el número de vehículos que cumplen con el estándar de emisión Euro VI, para lo cual se requiere que su tecnología sea Euro VI y el combustible que se distribuya para la operación del parque automotor cumpla con los parámetros de calidad Euro VI	0%	2016	11%	22%
Reducción de la evasión de la revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes	Reducir y eliminar la evasión de la revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes que se realiza en los Centros de Diagnóstico Automotor	54%	2017	30%	20%

Fuente: CONPES 3943, 2018.

## Mapa de ruta para la transición hacia los vehículos de bajas y cero emisiones

- 1.23 En 2017, la UPME estructuró el mapa de ruta para la transición hacia vehículos de bajas y cero emisiones en el país. En la siguiente tabla se presentan las estrategias y acciones planteadas para lograr la materialización de los objetivos del Plan Energético Nacional y la transición tecnológica.

Tabla 1.2: Mapa de ruta para la transición hacia vehículos de bajas y cero emisiones

Modo de transporte	Corto plazo (2018-2022)	Mediano plazo (2023-2030)	Largo plazo (2031-2050)
Camiones	Formalización de los agentes Liberar precios de mercado Incorporación de sistema de telemetría Ajuste política de chatarrización Política suministro GLP-desarrollo de la industria	Propagación GNL como Combustible de transición Cambio tecnológico y control de emisiones Restricciones de acceso en zonas urbanas Sector de carga multimodal	
Buses	Incentivo renovación flota Política nacional para electrificación del transporte público Reciclaje de equipos Incentivos híbridos/eléctricos		Exigencia tecnologías bajas emisiones (ciudades)
Vehículo privado (automóviles, camionetas, motocicletas)	Exención de IVA/aranceles Descuento impuesto de renta Calidad de la gasolina Política suministro GLP-desarrollo de la industria		
Taxis	Intervención para la reposición de taxis Política suministro GLP-desarrollo de la industria		Consolidación de redes inteligentes
Bicicleta	Normas señalización Propagación de modelos exitosos Códigos de ciclovías Líneas de crédito Normas de infraestructura	Planeación con enfoque: peatón y ciclistas	Exigencia de tecnologías de bajas emisiones (ciudades)
Camiones, buses, vehículo privado y taxis	Reforma tributaria: impuestos rodamiento, sobre tasa a otros combustibles Modificación- Proceso de revisión técnico-mecánica (Normal Nacional) Política clara consumo	Programa de Etiquetado de Vehículos	Programa de Etiquetado de Vehículos

Modo de transporte	Corto plazo (2018-2022)	Mediano plazo (2023-2030)	Largo plazo (2031-2050)
	biocombustible Programa de Etiquetado de Vehículos		
Para todos los modos	Coordinación Institucional - Misión de Crecimiento Verde (DNP y Gestor de Información) Documento CONPES Sistematización de las bases de datos existentes- seguimiento y control Directrices de política nacional para el desarrollo de la infraestructura Normativa de Eficiencia Energética- Límite de emisiones de CO <sub>2</sub>	Normativa de Eficiencia Energética- Límite de emisiones de CO <sub>2</sub>	Normativa de Eficiencia Energética- Límite de emisiones de CO <sub>2</sub>

Fuente: Mapa de ruta transición hacia vehículos de bajas y cero emisiones, UPME, EY, 2017

### Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica – ENME

- 1.24 La ENME, formulada en 2019 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Transporte y la Unidad de Planeación Minero Energética busca acelerar la penetración de vehículos eléctricos en Colombia para que permita, de manera proactiva, reducir emisiones en el sector transporte y usar de una forma eficiente y racional la energía, en beneficio de una mejor calidad de vida de los colombianos (ENME, 2019).
- 1.25 El objetivo general de la Estrategia es definir las acciones que permitan acelerar la transición hacia la movilidad eléctrica, teniendo como meta la incorporación de 600,000 vehículos eléctricos a 2030. Para alcanzar esta meta, la Estrategia propone instrumentos regulatorios y de política, instrumentos económicos y de mercado, instrumentos técnicos y tecnológicos, e instrumentos para el desarrollo de las condiciones de infraestructura y ordenamiento territorial

#### Ley 1964 de 2019

- 1.26 La Ley 1964 de 2019 tiene por objeto generar esquemas de promoción al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones, con el fin de contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. La Ley decreta lo siguiente:
- Para los vehículos eléctricos el Impuesto sobre Vehículos Automotores no podrá superar el 1% del valor comercial del vehículo.
  - Descuento sobre la revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes

- Descuento del 10% en las primas de los seguros SOAT (Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito)
- Incentivos al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones otorgados por parte de las entidades territoriales.
- Los vehículos eléctricos y de cero emisiones quedan exentos de las medidas de restricción a la circulación vehicular
- Las entidades públicas y los establecimientos comerciales que ofrezcan al público sitios de parqueo, en los municipios de categoría especial y los de primera y segunda categoría de acuerdo con lo establecido en la Ley 617 de 2000, deberán destinar un porcentaje mínimo del dos por ciento (2%) del total de plazas de parqueo habilitados, para el uso preferencial de vehículos eléctricos.
- Dentro de los seis (6) años a la entrada en vigencia de la ley, el Gobierno Nacional en su conjunto y los municipios de categoría 1 y Especial exceptuando: los de Tumaco y Buenaventura y los prestadores del servicio público de transporte deberán cumplir con una cuota mínima del 30% de vehículos eléctricos en los vehículos que anualmente sean comprados o contratados para su uso.
- Las ciudades que cuenten con Sistemas de Transporte Masivo deberán implementar políticas públicas y acciones tendientes a garantizar que un porcentaje de los vehículos utilizados para la operación de las flotas, sean eléctricos o de cero emisiones contaminantes cuando se pretenda aumentar la capacidad transportadora de los sistemas, cuando se requiera reemplazar un vehículo por destrucción total o parcial que imposibilite su utilización o reparación y cuando finalice su vida útil y requiera reemplazarse, de acuerdo con el siguiente cronograma:
  - A partir de 2025, mínimo el 10% de los vehículos adquiridos.
  - A partir de 2027, mínimo el 20% de los vehículos adquiridos.
  - A partir de 2029, mínimo el 40% de los vehículos adquiridos.
  - A partir de 2031, mínimo el 60% de los vehículos adquiridos.
  - A partir de 2033, mínimo el 80% de los vehículos adquiridos.
  - A partir de 2035, mínimo el 100% de los vehículos adquiridos.
- Dentro de los tres años siguientes a la entrada en vigencia de la ley, los municipios de categoría especial, excluyendo de estos a Buenaventura y Tumaco, podrán garantizar que existan en su territorio, como mínimo, cinco estaciones de carga rápida en condiciones funcionales. En el mismo período de tiempo, Bogotá, D. C., deberá garantizar que existan como mínimo, 20 estaciones de carga rápida en condiciones funcionales.
- Las autoridades de planeación de los distritos y municipios de categoría especial, 0, 1, 2 y 3 junto con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, reglamentarán los lineamientos técnicos necesarios para garantizar que los edificios de uso residencial y comercial, cuya licencia de construcción se radique en legal y debida forma, a partir de la entrada en vigencia de la Ley, cuenten con una acometida de electricidad para carga o el repostaje de vehículos eléctricos.
- Todas las empresas importadoras de vehículos eléctricos o híbridos deben garantizar el importe de autopartes y repuestos para los vehículos de estas características.

### **Resolución 40177 de 2020. Definición de tecnologías de cero y bajas emisiones**

1.27 La Resolución 40177 de 2020 expedida por el Ministerio de Minas y Energía y por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define los energéticos de bajas o cero emisiones teniendo como criterio fundamental su contenido de componentes nocivos para la salud y el medio ambiente. Se consideran combustibles limpios los energéticos de cero o bajas emisiones en el transporte terrestre para municipios, distritos y áreas metropolitanas, los siguientes:

- Energéticos de cero emisiones:
  - Hidrógeno
- Energéticos de bajas emisiones:
  - Gas natural
  - Gas licuado de petróleo
  - Gasolina, alcohol carburante y sus mezclas, con contenido de azufre máximo de 50 ppm teniendo en cuenta lo siguiente:
    - Hasta el 30 de diciembre del año 2030, el contenido de azufre será de máximo 50 ppm;
    - Desde el 31 de diciembre del año 2030 en adelante, el contenido de azufre será de máximo 10 ppm.
  - Diésel, biodiésel sus mezclas con contenido de azufre máximo de 50 ppm., teniendo en cuenta lo siguiente:
    - Hasta el 30 de diciembre de 2020, el contenido de azufre será de máximo 50 ppm;
    - Desde el 31 de diciembre de 2020 y hasta el 31 de diciembre de 2022, el contenido de azufre será de máximo 20 ppm;
    - Desde el 1 de enero de 2023, y hasta el 30 de noviembre de 2025, el contenido de azufre será de máximo 15 ppm;
    - Desde el 1 de diciembre de 2025 en adelante, el contenido de azufre será de máximo 10 ppm.

1.28 También se entiende como energético de cero emisiones la energía eléctrica para la movilización de vehículos.

### **Resolución 40178 de 2020**

1.29 La Resolución 40178 de 2020, expedida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece las disposiciones en materia de realización de programas piloto de mezclas superiores de biocombustibles para su uso exclusivo en vehículos automotores o fuentes móviles terrestres.

1.30 El programa piloto de mezclas superiores se desarrollará únicamente para uso de biodiesel y diésel, y se deberá levantar una línea base de emisiones contaminantes de todos los vehículos inscritos en el programa, de forma que esta información pueda ser comparada con las emisiones generadas por los vehículos durante el desarrollo del programa.

### **Clasificación vehicular**

1.31 Para el análisis del parque automotor se realizó una tipificación simplificada de las clases de vehículo y modalidades de transporte que conforman la flota vehicular del país. De esta forma, se

tienen los cinco segmentos vehiculares, cada uno de los cuales contiene diferentes clasificaciones vehiculares:

**Tabla 1.3: Clasificación vehicular**

Segmento vehicular	Clase de vehículo	Modalidad de transporte	Tipo de servicio
Vehículos livianos de uso particular	Automóvil	Pasajeros	Particular
	Camioneta	Pasajeros	Particular
	Campero	Pasajeros	Particular
Motocicletas	Motocicleta	Pasajeros	Particular
Vehículos livianos de transporte público	Automóvil	Pasajeros	Público
	Camioneta	Pasajeros	Público
	Campero	Pasajeros	Público
Vehículos de pasajeros	Biarticulado y articulado	Pasajeros	Público
	Padrones	Pasajeros	Público
	Bus, buseta, busetón, microbús	Pasajeros	Público
Vehículos de carga	Camión	Carga	Público y privado
	Volqueta	Carga	Público y privado
	Tractocamión	Carga	Público y privado

Fuente: Steer, 2020.

- 1.32 Esta segmentación se realizó a partir del análisis de las características propias de los vehículos tales como factores de consumo y emisiones, capacidad de carga o de pasajeros y potencia. Este análisis también incluyó factores operacionales como intensidad de uso (kilómetros recorridos), tipo de servicio y determinantes de uso urbano o interurbano.
- 1.33 Para cada uno de estos segmentos vehiculares se asignó el vehículo moda de la base de datos del RUNT, en el caso de vehículos existentes actualmente en el mercado colombiano, para vehículos futuros se realizó un análisis de mercado internacional para determinar el vehículo moda. Como anexo de este documento se presentan las fichas técnicas de los vehículos realizadas por el equipo consultor a partir de información secundaria disponible.

### **Aproximación metodológica al análisis de motores de cambio (condicionantes del ascenso tecnológico)**

- 1.34 El análisis de motores de cambio (*drivers* que condicionan la transición tecnológica) y priorización de las clases y modalidad de transporte parte de los resultados obtenidos en la Etapa 1 del proyecto, es decir, del inventario de tecnologías actualmente disponibles a nivel nacional e internacional y de las perspectivas de la oferta de tecnologías de cero y bajas emisiones en el mediano plazo.

- 1.35 El enfoque metodológico tiene como base la aplicación de la planificación por escenarios, la cual explica cómo diversos factores pueden afectar el ascenso tecnológico cuando se combinan de diferentes maneras. Los escenarios establecen el camino que conduce a la situación deseada. Esto significa que desde el principio se puede prever más de un camino factible hacia el futuro, por lo que resulta apropiado construir escenarios alternativos. En la siguiente figura se presenta el proceso lógico del enfoque de planificación por escenarios.

**Figura 1.1: Aproximación metodológica**



Fuente: Steer, 2020.

- 1.36 El primer paso es la definición y análisis de motores de cambio. Como se mencionó, esta definición parte del análisis realizado en la etapa previa del estudio y considera los factores que han afectado la introducción de nuevas tecnologías vehiculares tanto en Colombia como a nivel mundial.
- 1.37 Luego de la definición de los motores de cambio se construyen los escenarios. Los escenarios son producto de la construcción colaborativa del equipo consultor involucrando visiones desde distintas perspectivas y considerando el contexto histórico de Colombia y el mundo. Los escenarios representan perspectivas respecto al contexto en el cual se desarrollará el ascenso tecnologías de cero y bajas emisiones en el parque automotor del país.
- 1.38 Una vez se definen los escenarios, es necesario estimar el crecimiento del parque automotor para los segmentos vehiculares previamente definidos y estimar el cambio tecnológico de cada uno. El resultado esperado de esta actividad es la distribución por tecnología vehicular para cada clase y modalidad de transporte en el mediano y largo plazo, bajo unos supuestos determinados, que serán explicados posteriormente.
- 1.39 Estos escenarios son evaluados a partir de medidas cuantitativas enfocadas en evaluar el desempeño de cada uno. Estas medidas permiten realizar la evaluación costo beneficio por medio de la cual se realiza la priorización de las clases de vehículos y modalidades de transporte.

#### **Horizonte temporal**

- 1.40 Las proyecciones y estimaciones presentadas en este documento se realizan hasta el año 2050, que en línea con el Plan Energético Nacional – PEN “tiene como propósito principal definir un modelo energético sostenible al 2050, que impulse la transformación energética para lograr el progreso económico, el mejoramiento de la calidad de vida y el respeto al medio ambiente” (UPME, 2019). Así mismo, se realiza un corte temporal en el año 2030, año en el cual se deben

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 | Productos 1 al 6

evaluar los compromisos nacionales de la COP 21 y el aporte a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Dado lo anterior, el año base para las proyecciones y modelos es 2020, y los horizontes de análisis serán los siguientes cortes temporales:

- Mediano plazo: 2030
- Largo plazo: 2050

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 | Productos 1 al 6

## Etapa I

## 2 Inventario de las clases de vehículos y modalidades de transporte a nivel nacional

2.1 En este capítulo se presenta la caracterización del parque automotor de Colombia realizada a partir de la base de datos del Registro Único Nacional de Tránsito – RUNT con corte de agosto de 2020. Las clases vehiculares fueron subdivididas en las categorías que se consideran de relevancia para este proyecto. Tal clasificación puede encontrarse en la siguiente tabla:

**Tabla 2.1: Clasificación de tipologías vehiculares a partir del RUNT**

Clasificación RUNT	Modalidad	Categoría vehicular	
Camión	Carga	Camión de 2 ejes	
		Camión de 3 ejes	
		Camión de 4 ejes	
Tractocamión*		Tractocamión de 2 ejes	
		Tractocamión de 2 ejes	
		Tractocamión de 2 ejes	
Bus, Microbús, Buseta**		Pasajeros	Microbús
			Buseta
			Bus
	Busetón		
	Padrón		
	Articulado		
	Biarticulado		
Motocicleta	Motocicleta	Motocicleta	
Motocarro		Motocarro	
Automóvil, Campero, Camioneta	Vehículos livianos	Automóvil particular	
		Automóvil público	
		Automóvil oficial	
		Campero particular	
		Campero público	
		Campero oficial	

Clasificación RUNT	Modalidad	Categoría vehicular
		Camioneta particular
		Camioneta pública
		Camioneta oficial

Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, agosto 2020.

## Proceso de limpieza de la base del RUNT

- 2.2 Con el fin de consolidar una base de datos cuyos atributos fueran consistentes y mitigar el efecto de datos atípicos en los análisis, se llevó a cabo un proceso de limpieza dividido en dos partes: i) la eliminación de registros cuyos atributos imposibilitan una clasificación acertada y ii) la filtración del atributo de cilindraje acorde a la distribución del mismo dentro de cada clase vehicular.

### Limpieza basada en atributos de la base

- 2.3 En este proceso de limpieza se eliminaron los datos que contenían atributos atípicos y que imposibilitaban una adecuada clasificación vehicular o que generaban dispersión considerable para el cálculo de indicadores de relevancia en el proyecto. La tabla a continuación resume la cantidad de datos eliminados en cada etapa del proceso de limpieza, el atributo que se tuvo en cuenta y el criterio utilizado.

**Tabla 2.2: Tabla resumen del proceso de limpieza de la base de datos del RUNT**

Registros	Registros eliminados	Atributo de filtrado	Criterio
16,190,882			Registros originales
15,589,526	601,356	ESTADO_VEHICULO	Se dejan únicamente los vehículos activos
15,589,311	215	MODELO	Modelo mayor a 1900 y menor o igual a 2021
15,589,240	71	CLASE	Se dejan únicamente los vehículos con una clase asignada
15,589,167	73	SERVICIO	Se eliminan vehículos sin servicio asignado o con servicio="otros"
15,588,441	726	COMBUSTIBLE	Se eliminan vehículos que no especifican combustible
15,579,761	8,680	EJES	Se eliminan camiones con uno o más de 4 ejes

Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, agosto 2020.

### Filtro para cilindrajes por clase

- 2.4 Dado que el cilindraje es un insumo relevante dentro del proyecto, fue necesario establecer rangos de cilindrajes a ser tenidos en cuenta para cada clase vehicular con el fin de eliminar valores atípicos que pudiesen afectar en el futuro el cálculo de indicadores o factores de consumo. Para esto, se obtuvo la distribución de cilindrajes de cada clase vehicular y se estableció un máximo y un mínimo acorde a lo que se considera un valor aceptable teniendo en cuenta el rango intercuartílico de cada distribución. Dichos máximos y mínimos aceptables por clase vehicular pueden ser consultados en la siguiente tabla:

**Tabla 2.3: Cilindraje máximo y mínimo aceptable por clase vehicular de acuerdo a la distribución de cilindrajes por clase.**

Clase	Cilindraje mínimo	Cilindraje máximo	% Veh. Que cumple el criterio
MOTOCICLETA	45	2,400	98.76%
AUTOMOVIL	400	7,000	99.03%
CAMIONETA	600	8,000	98.70%
CAMPERO	300	7,600	97.77%
CAMION	2,000	17,000	96.62%
MICROBUS	1,000	6,000	96.36%
BUS	2,000	16,000	95.98%
MOTOCARRO	80	1,600	99.64%
TRACTOCAMION	5,700	20,000	99.00%
VOLQUETA	1,000	15,000	97.09%
BUSETA	2,000	8,000	97.13%
CUATRIMOTO	40	1,300	99.38%
CICLOMOTOR	40	2,000	2.52%
MOTOTRICICLO	30	1,400	97.72%
CUADRICICLO	40	700	4.29%
TRICIMOTO	40	200	10.91%

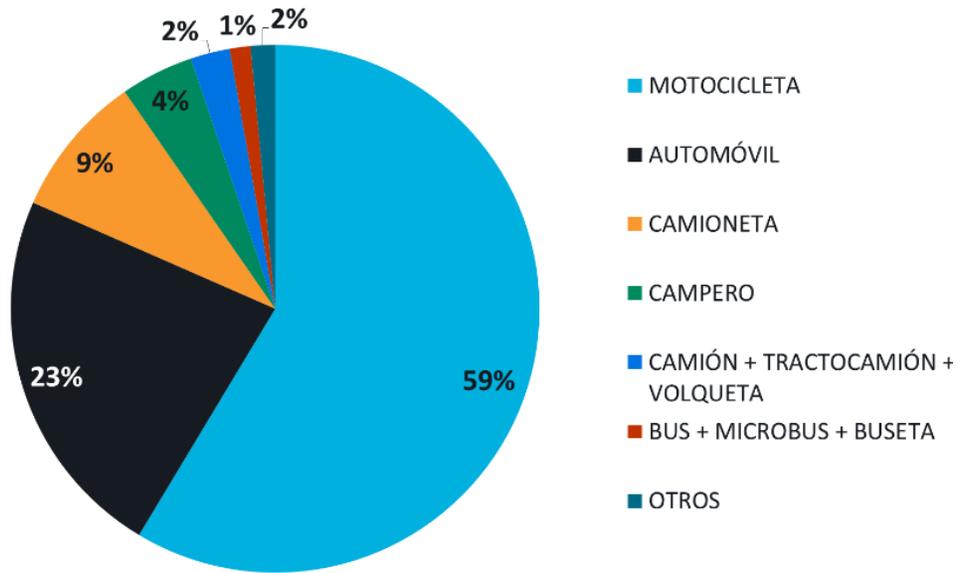
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

- 2.5 Vale la pena aclarar, que los valores que no se encuentran dentro del rango aceptable no fueron eliminados de la base, pero no se tuvieron en cuenta para el cálculo de indicadores relacionados con cilindraje.

### Caracterización general del parque automotor del país

- 2.6 Una vez depurada la base de datos del RUNT, se procedió a calcular indicadores generales del parque automotor del país con corte a agosto de 2020. A continuación, se presentan los resultados de dicho análisis.
- 2.7 En total, hay 15,579,761 vehículos registrados en Colombia. De estos, más del 90% corresponden a vehículos de pasajeros. El 59% son motocicletas, siendo esta clase de vehículo la más común en el país, seguido por automóviles con un 23% del total del parque automotor. En la siguiente figura se presenta la distribución para todas las clases de vehículos con motor en el país.

Figura 2.1: Distribución por clase vehicular



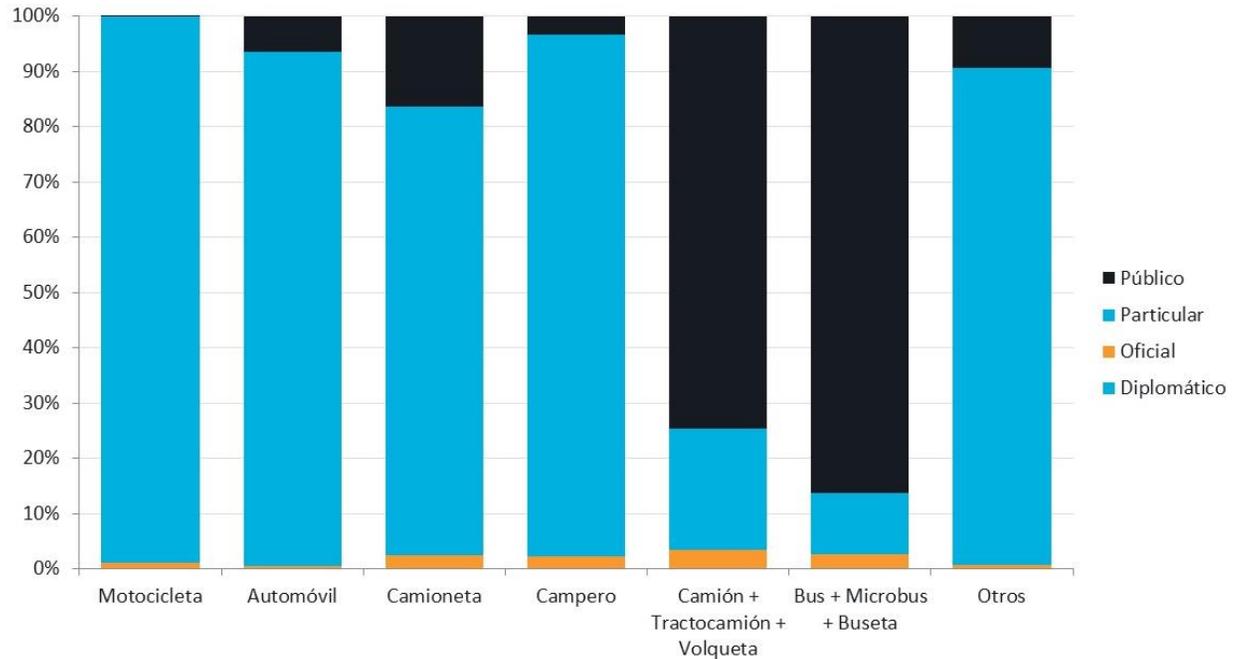
\* La categoría Otros corresponde a la clasificación según el RUNT a motocarro, cuatrimoto, ciclomotor, mototriciclo, cuadríciclo, y tricimoto

Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

### Tipo de servicio

- 2.8 En cuanto al tipo de servicio el 92.8% del parque automotor presta servicio particular, mientras que el 6.1% presta servicio público, el 1.1% restante corresponde a vehículos oficiales diplomáticos.
- 2.9 En general, los camiones y buses presentan son los vehículos que presentan un porcentaje mayor de uso público, mientras que las motocicletas, automóviles y camperos son en su mayoría de servicio particular. En la siguiente figura se observa la distribución del tipo de servicio para cada una de las clases vehiculares.
- 2.10 En total hay 3,404 vehículos de servicio diplomático, siendo este el servicio menos común en los vehículos, de estos el 74% corresponden a motocicletas. En el caso de los vehículos oficiales, hay en total 173,283 vehículos que prestan este tipo de servicio, de estos el 52% corresponde a motocicletas, seguido en orden de magnitud por vehículos tipo camioneta con un 19% de participación en este tipo de servicio.

**Figura 2.2: Distribución por tipo de servicio y clase para el total del parque automotor del país**



\* La categoría Otros corresponde a la clasificación según el RUNT a motocarro, cuatrimoto, ciclomotor, mototriciclo, cuadríciclo, y tricimotociclo.

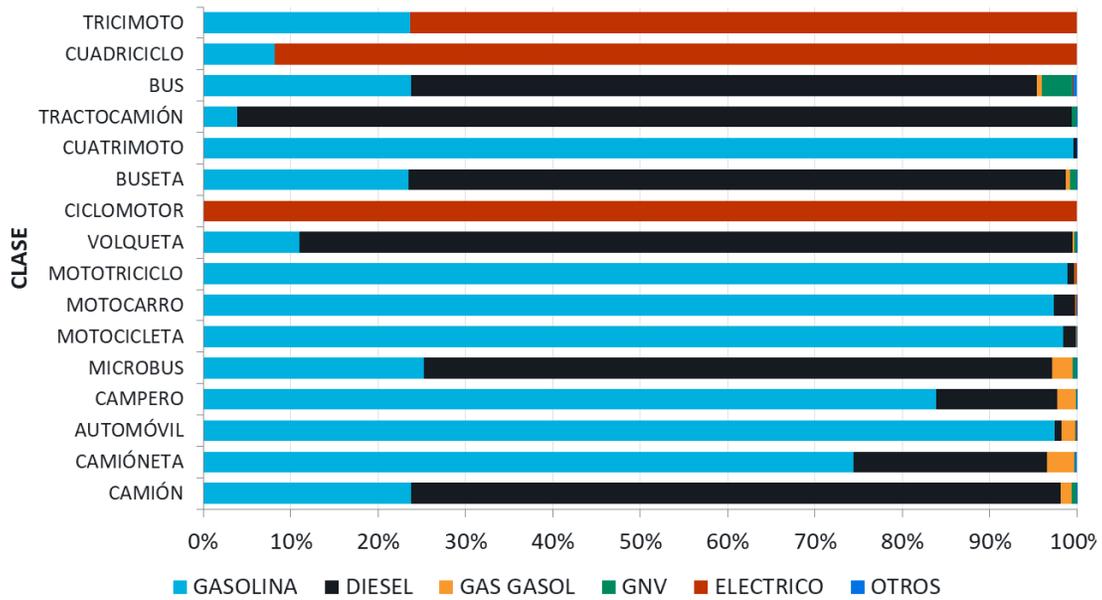
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

### Tipo de combustible

2.11 La gasolina es el combustible predominante en el parque automotor del país, dado que el 92.5% de los vehículos registrados utilizan este tipo de combustible, seguido en orden de magnitud por el diésel con un 6.5% del total del parque automotor utilizando este energético. Esto significa que el 99% de la flota del país utiliza gasolina o diésel. El restante 1% se distribuye entre gas-gasolina, GNV y eléctrico, siendo este último utilizado por el 0.1% del parque automotor del país, es decir 9,059 vehículos. Otros combustibles con una participación muy baja son vehículos híbridos (gasolina-eléctrico, diésel-eléctrico), biodiésel, GLP, etanol e hidrógeno. En la siguiente figura se observa la distribución por tipo de combustible para cada una de las clases vehiculares.

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 | Productos 1 al 6

**Figura 2.3: Distribución por tipo de combustible para el total del parque automotor**

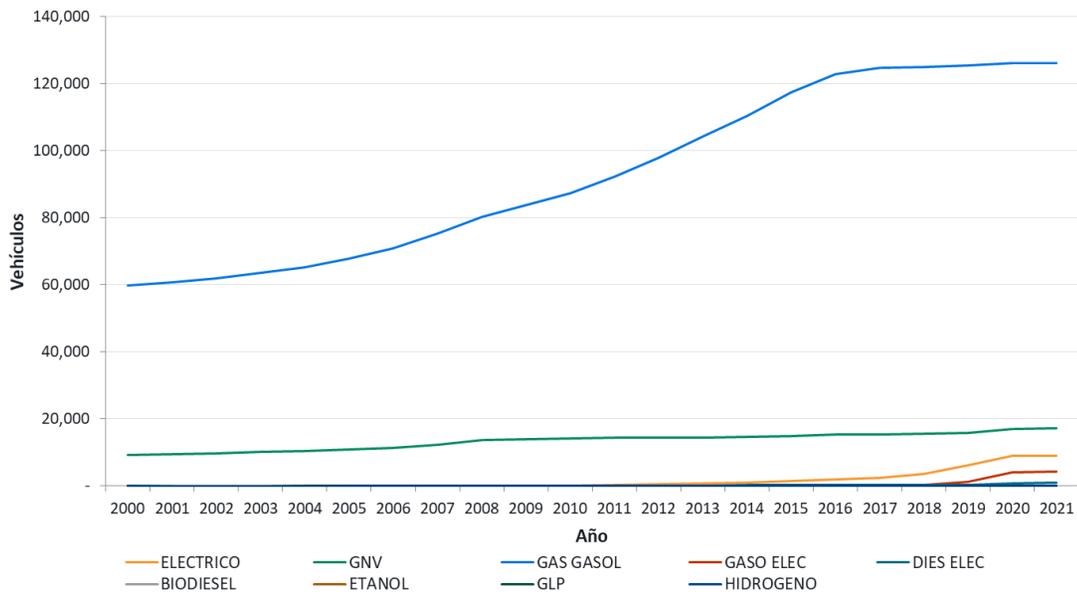


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.12 Vale la pena resaltar que para clases de vehículos que son predominantemente impulsados por diésel, energéticos como el GNV o la electricidad empiezan a participar en este mercado, por ejemplo, hay 2,837 buses a GNV y 109 eléctricos.

2.13 Con el fin de examinar en detalle la cantidad de vehículos de cero y bajas emisiones y su evolución a lo largo de los años, se presenta la siguiente figura.

**Figura 2.4: Cantidad de vehículos acumulados del parque automotor total por tipo de combustible y año\***



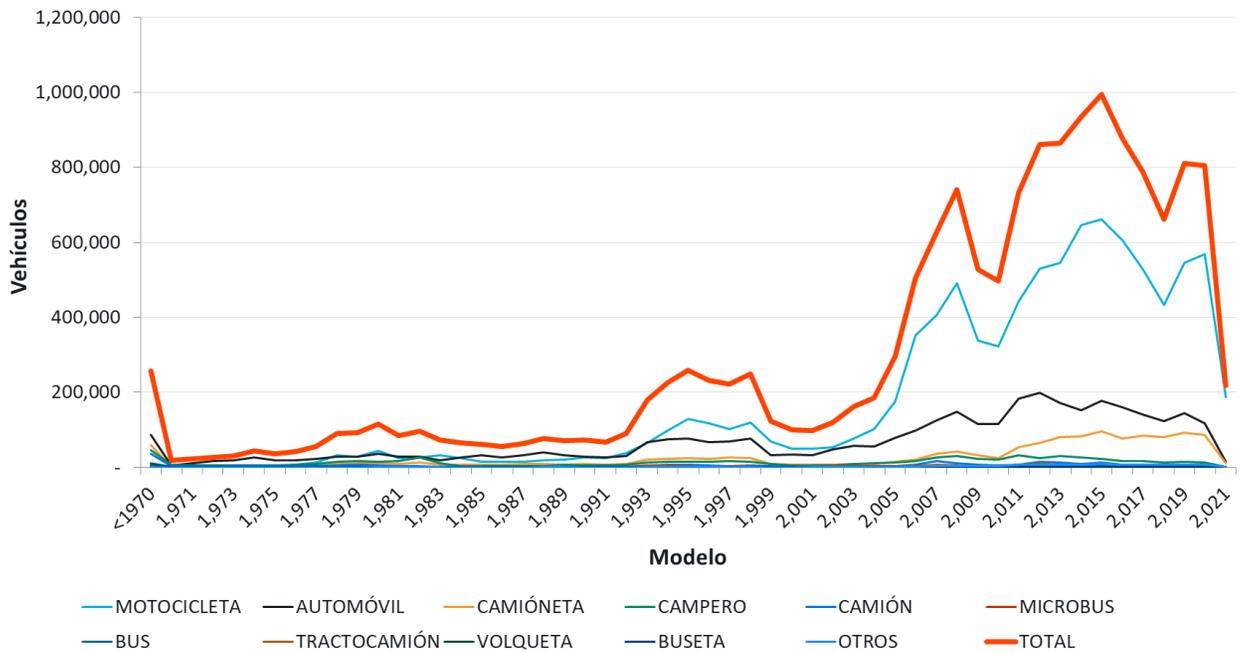
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020  
El año fue estimado a partir del modelo

2.14 En la figura anterior, se puede observar que los vehículos híbridos a gasolina y gas son los más representativos, aunque presentan una desaceleración notable en su crecimiento en el año 2016. El segundo tipo de combustible más común dentro de aquellos de cero y bajas emisiones es el GNV, que presenta un crecimiento lento pero continuo en el transcurso de los años. Finalmente, se destaca el crecimiento que comienza a tener la cantidad de vehículos eléctricos a partir del año 2018.

**Edad del parque automotor**

2.15 El crecimiento del parque automotor en Colombia ha presentado un incremento importante desde el año 2003 para todas las clases de vehículos alcanzando el máximo número de vehículos registrados en un año en el 2015, con un total de 993,440 vehículos registrados en ese año. En general, el crecimiento del parque automotor sigue la tendencia de crecimiento de las motocicletas. En el 2020, se presenta una disminución importante en el número de nuevos vehículos registrados, esto es debido a la situación global generada por la pandemia del Covid-19. En la siguiente figura se observa el comportamiento de los vehículos registrados anualmente para cada clase.

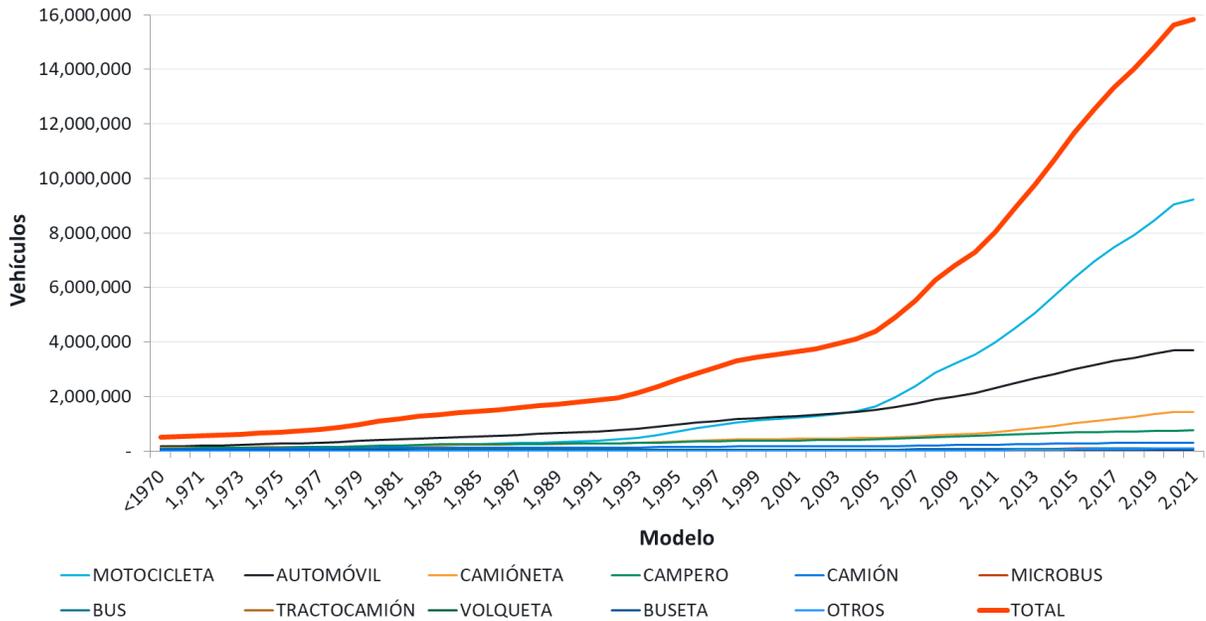
**Figura 2.5: Modelo por clase de vehículo para el total del parque automotor**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.16 Al analizar el número acumulado de vehículos registrados se observa una tasa de crecimiento mayor desde el año 2005, especialmente para motocicletas. En cambio, para automóviles, se observa un crecimiento constante.

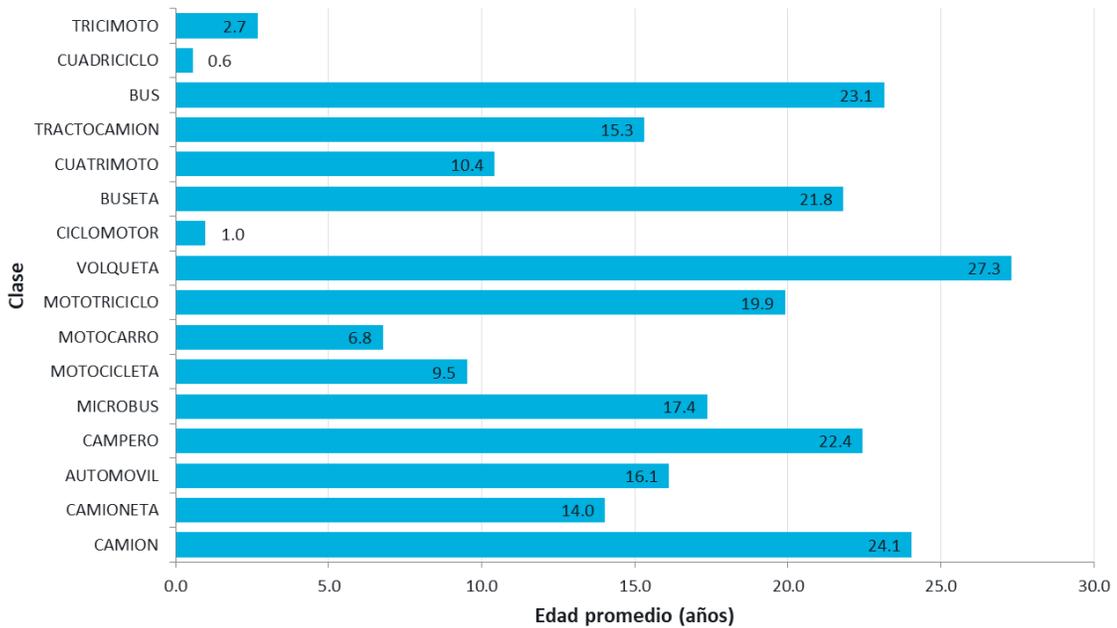
**Figura 2.6: Modelo acumulado por clase de vehículo para el total del parque automotor**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.17 En general, la edad promedio del parque automotor del país es de 12.5 años. Sin embargo, para vehículos como los mototriciclos, busetas, volquetas y camperos se observa una edad promedio mayor de 16 años.

**Figura 2.7: Edad promedio del parque automotor por clase de vehículo**



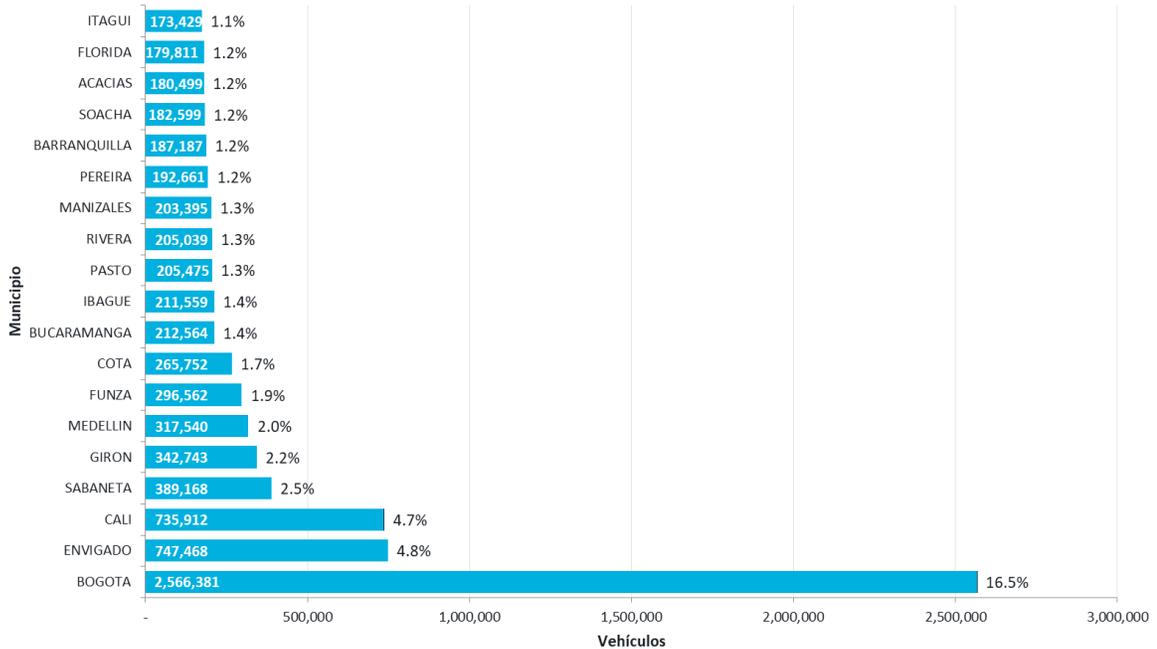
Para la estimación de este indicador se halló la diferencia entre el modelo del auto y el año actual (2020)

Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

## Ubicación

2.18 En la siguiente figura, se presentan los principales municipios de registro del parque automotor del país.

Figura 2.8: Número de vehículos por municipio de registro en organismo de tránsito



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.19 Los 19 municipios de la gráfica anterior representan el 50% del parque automotor total del país. Bogotá tiene la mayor cantidad de vehículos registrados con un 16.5% que es mayor a la suma de los siguientes cinco municipios en orden de número de registros. Vale la pena destacar el hecho de que Envigado y Sabaneta presentan cada uno una cantidad de vehículos mayor que Medellín, siendo Envigado el segundo municipio en la lista con 4.8% del total solo superado por Bogotá.

## Motocicletas

2.20 En esta sección, se presentan la caracterización de las motocicletas y motocarros que están registrados actualmente en el país. En total, con corte en agosto de 2020, hay registradas 9,284,118 motocicletas y motocarros en el país, de las cuales el 99% corresponde a motocicletas.

2.21 Los motocarros, de acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, se definen como: vehículo automotor de tres ruedas con estabilidad propia con componentes mecánicos de motocicleta, para el transporte de personas o mercancías con capacidad útil hasta 770 kilogramos, estos vehículos pueden prestar servicios de transporte público de pasajeros o transporte de carga según lo establecido en la Resolución 2181 de 2009 del Ministerio de Transporte. Así mismo, el Código Nacional de Tránsito (Ley 769 del 2002), define las motocicletas como un vehículo automotor de dos ruedas en línea, con capacidad para el conductor y un acompañante.

2.22 Estas dos clases de vehículos se clasifican dentro del mismo grupo debido a que la tendencia que se presenta a nivel mundial es la electrificación de este segmento (vehículos de dos y tres ruedas). Actualmente, el mayor número de vehículos eléctricos que existen en el mundo, corresponden a estas tipologías (IEA, 2020). A continuación, se realiza el análisis para cada una de estas clases de vehículos.

**Motocarro**

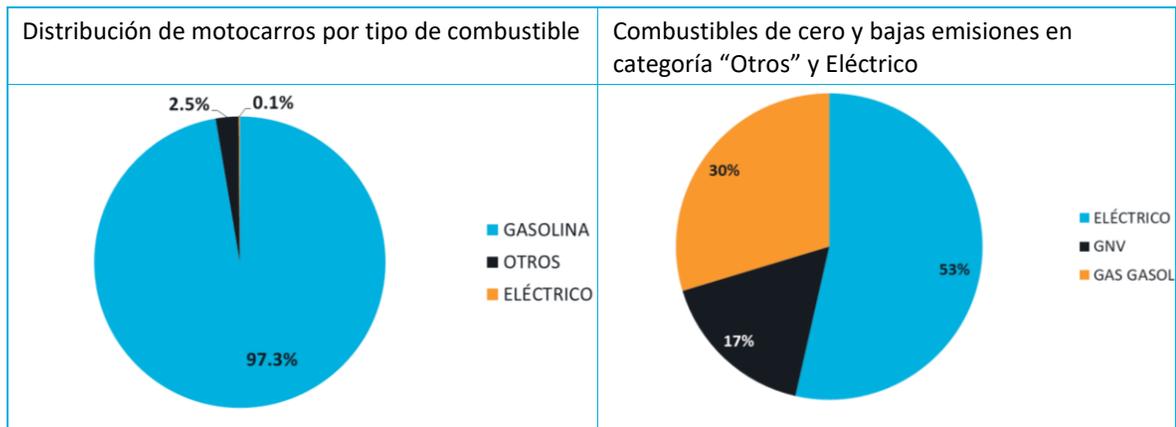
*Tipo de servicio*

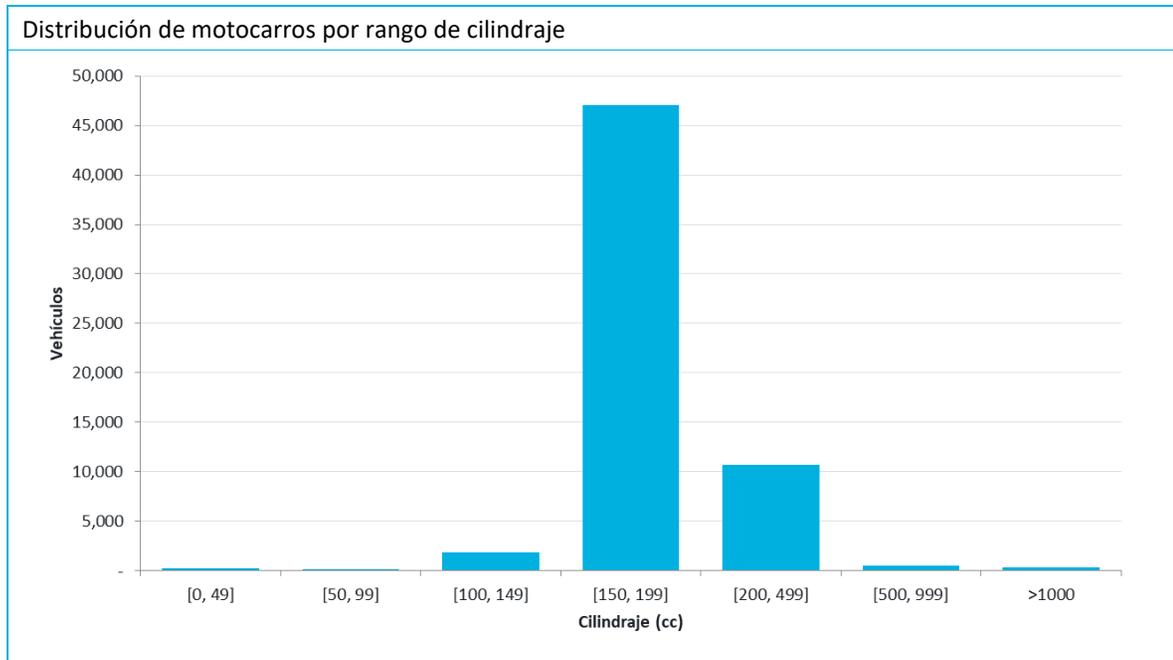
2.23 En total, hay registrados 68,021 motocarros en el país. El 87% de estos prestan servicio particular y, el 13% restante son de servicio público.

*Características del motor*

2.24 La mayoría de los motocarros registrados en el país funcionan con gasolina (66,207), sin embargo, hay 83 motocarros eléctricos. En cuanto al cilindraje de los motocarros, se observa que el 78% se encuentra en el rango de 150 a 199 centímetros cúbicos, mientras que 321 motocarros tienen un cilindraje mayor a 1,000 centímetros cúbicos. En la siguiente figura se observan la distribución de las características del motor para los motocarros registrados en el país.

**Figura 2.9: Características del motor de motocarros**



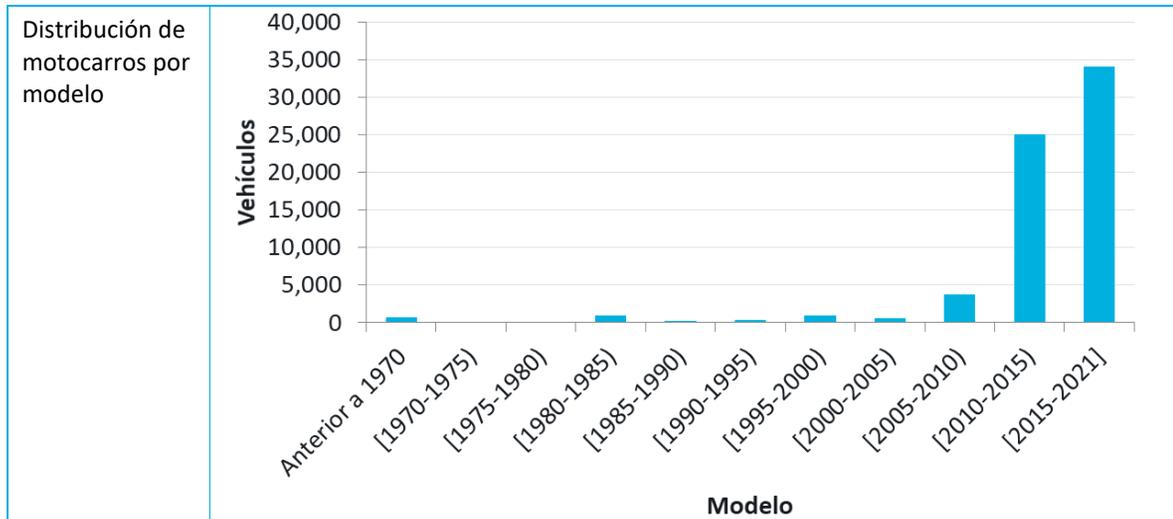


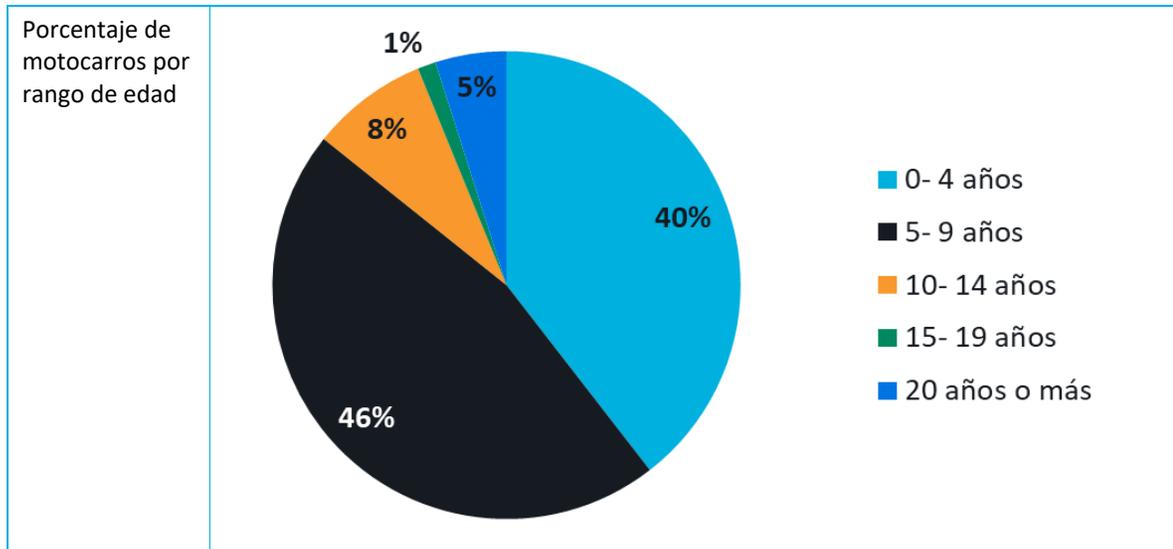
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

### Edad del parque automotor

2.25 En cuanto los modelos registrados para los motocarros, se observa que el 89% del total de motocarros se han registrado del 2010 al 2020. La edad promedio de este tipo de vehículos es de 6.2 años.

**Figura 2.10: Número de motocarros por modelo**



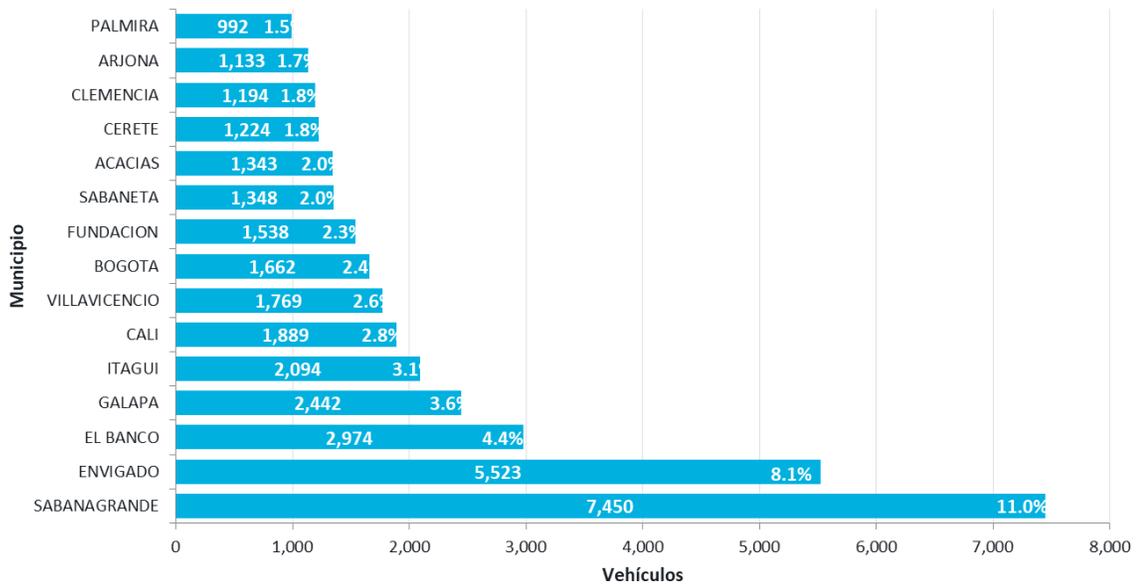


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

### Ubicación

- 2.26 El municipio de Sabanagrande (Atlántico) cuenta con 7,450 motocarros, lo cual representa el 11% del total de motocarros en el país, siendo este municipio el que más vehículos de este tipo tiene registrados en todo el país. Seguido de Sabanagrande se encuentra el municipio de Envigado, con el 8.1% de motocarros respecto al total del país. De manera general, los motocarros se presentan en mayores cantidades en municipios en lugar de ciudades grandes (salvo Bogotá), tal y como lo muestra la siguiente figura.

Figura 2.11: Número de motocarros por municipio del organismo de tránsito asociado



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020

## Motocicletas

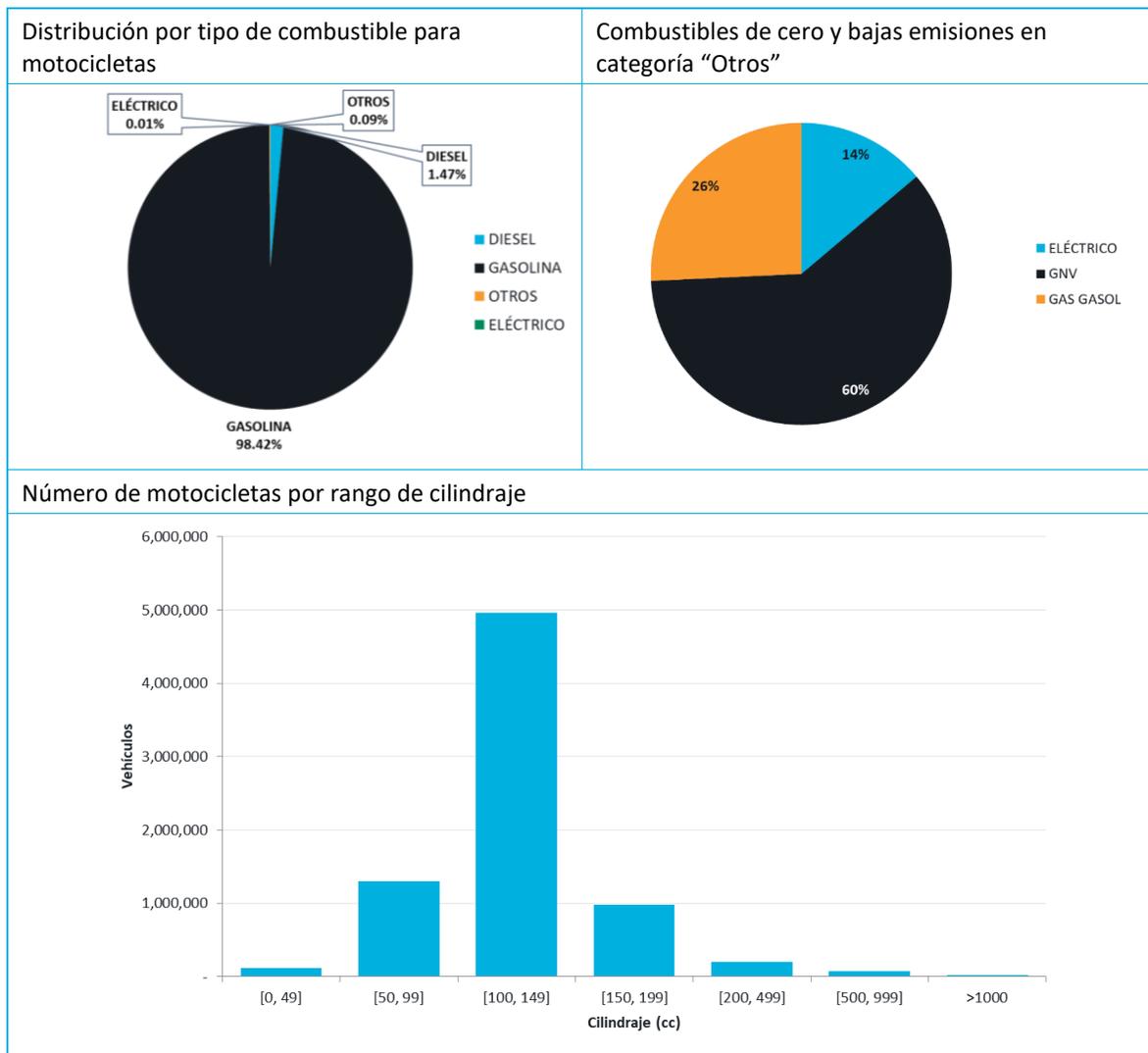
### Tipo de servicio

- 2.27 En total hay 9,216,097 motocicletas registradas en el país. El 98% de estas son de servicio particular, el 2% corresponde motocicletas de servicio oficial, diplomático y otros.

### Características del motor

- 2.28 El 98% de las motocicletas funcionan con motor de gasolina, con el cilindraje más común en el rango de 100 a 149 centímetros cúbicos. Es importante mencionar que hay más de 130,000 motocicletas diésel. En cuanto a las tecnologías de cero y bajas emisiones, actualmente hay 9,792 motocicletas que se pueden clasificar en estas tecnologías con 1,345 motocicletas eléctricas registradas en el país. En las siguientes figuras se observa la distribución por tipo de combustible y cilindraje para las motocicletas.

Figura 2.12: Características del motor de motocicletas

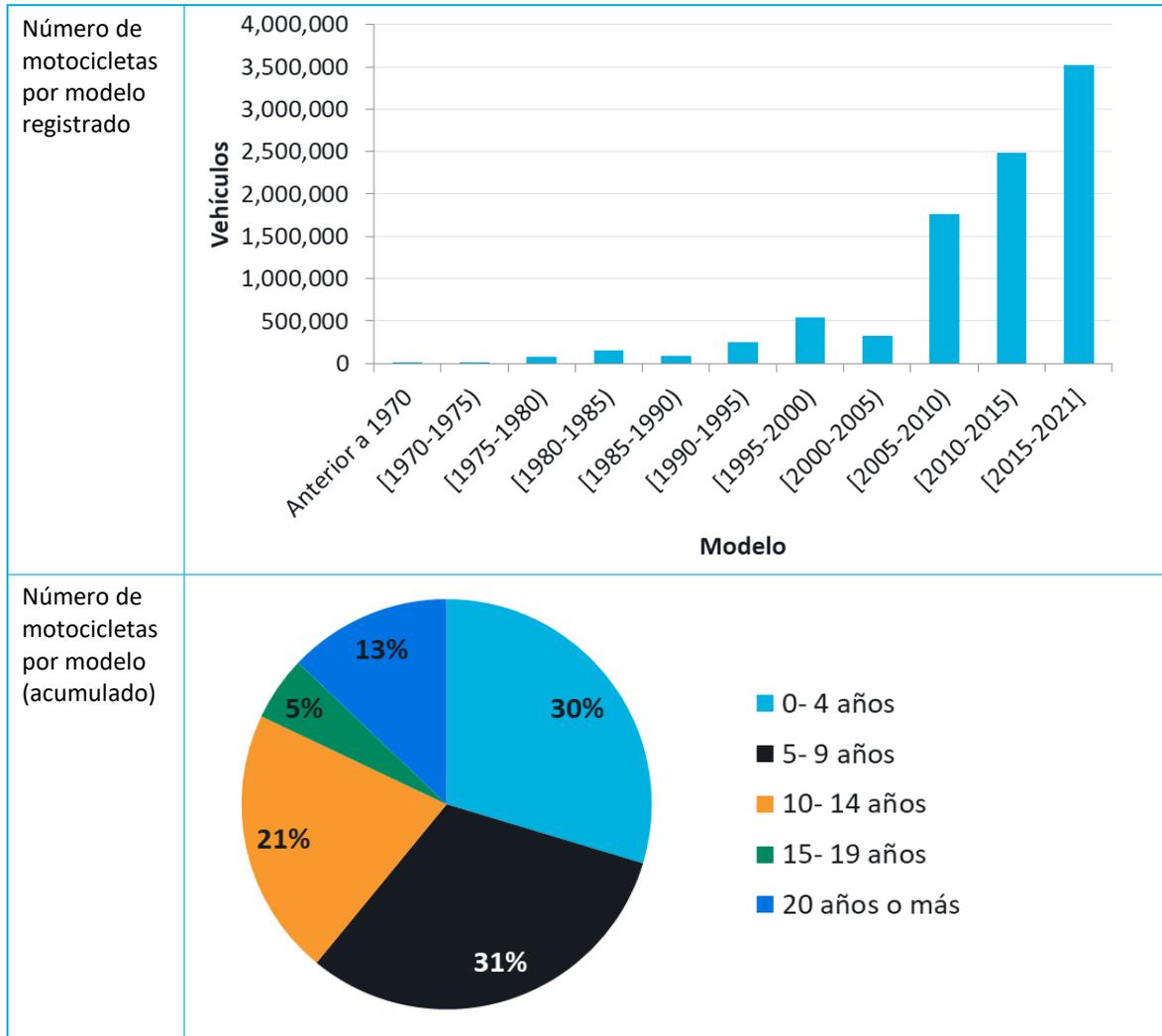


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

*Edad del parque automotor*

2.29 La edad promedio de las motocicletas en el país es de 9.5 años. Como se comentó previamente, desde el 2005 la tasa de crecimiento del número de motocicletas registradas en el país presenta un incremento importante. Como se puede apreciar en las siguientes figuras, en general, la flota de motocicletas del país es moderna

**Figura 2.13: Edad de motocicletas**

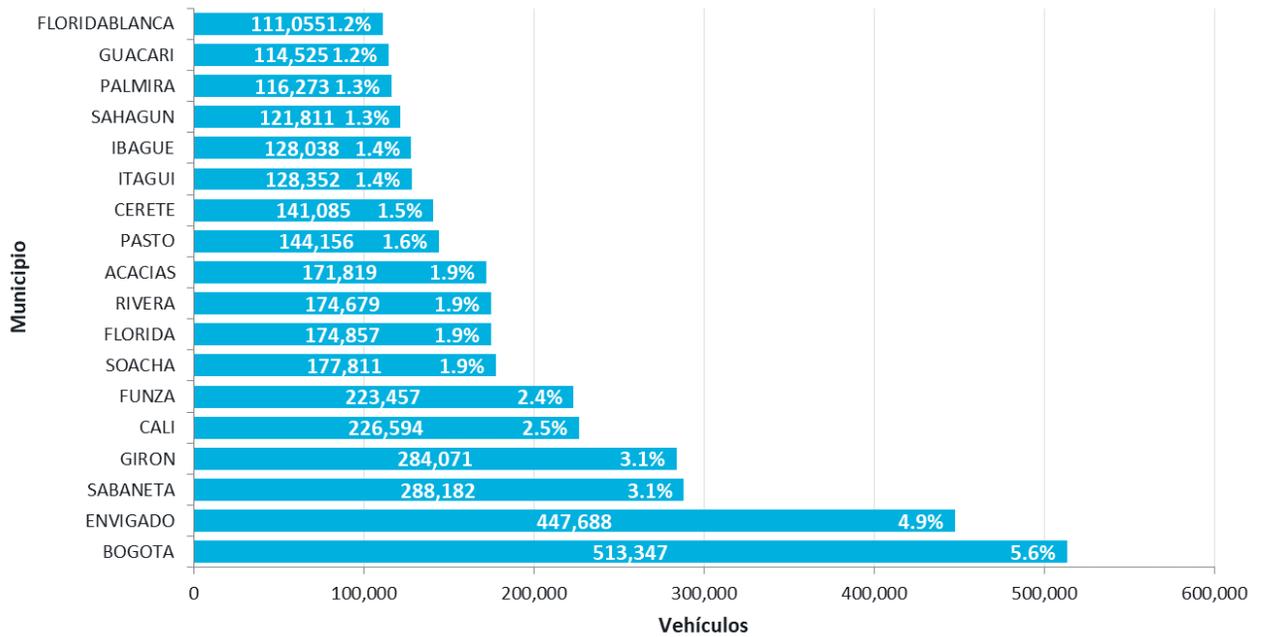


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

*Ubicación*

2.30 Bogotá, con 513,347, tiene el 5.6% del total de motocicletas registradas en el país. Muy de cerca, sigue el municipio de Envigado con el 4.9%, con un total de 447,688 motocicletas. Las motocicletas por municipio se distribuyen de manera menos centralizada en comparación con el total de vehículos en el país (donde se vio que Bogotá cuenta con el 16.5%). La siguiente figura ilustra la cantidad de motocicletas por municipio para los 18 municipios que contienen el 40% de motocicletas registradas en el país.

**Figura 2.14: Número de motocicletas por municipio del organismo de tránsito asociado**

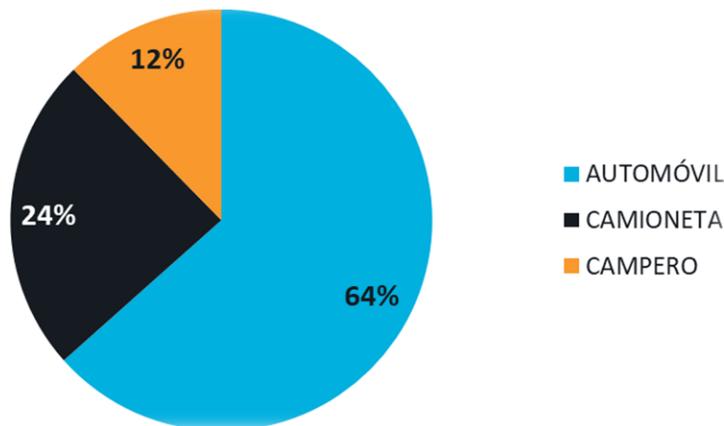


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

## Vehículos livianos

2.31 Los vehículos livianos representan, con un total de 5'695,522, el 37% del parque automotor del país. Estos se encuentran compuestos por automóviles, camionetas y camperos, donde los automóviles son la clase vehicular más representativa con el 64% (3'612,362 vehículos) de participación seguidos por las camionetas con el 24% (1'380,520 vehículos) y los camperos con el 12% (702,640 vehículos).

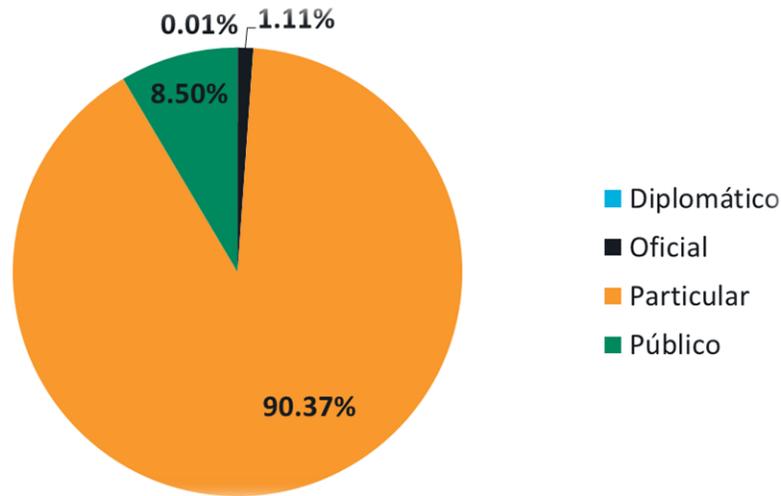
**Figura 2.15: Partición por clase vehicular para los vehículos livianos del parque automotor**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.32 Dentro de los tipos de servicio que prestan los vehículos livianos, se encuentra que el particular es el predominante con un 90.37% de los vehículos, mientras que el 8.5% de estos presta servicio público, 1.11% prestan un servicio de carácter oficial y únicamente el 0.01% están relacionados con el servicio diplomático.

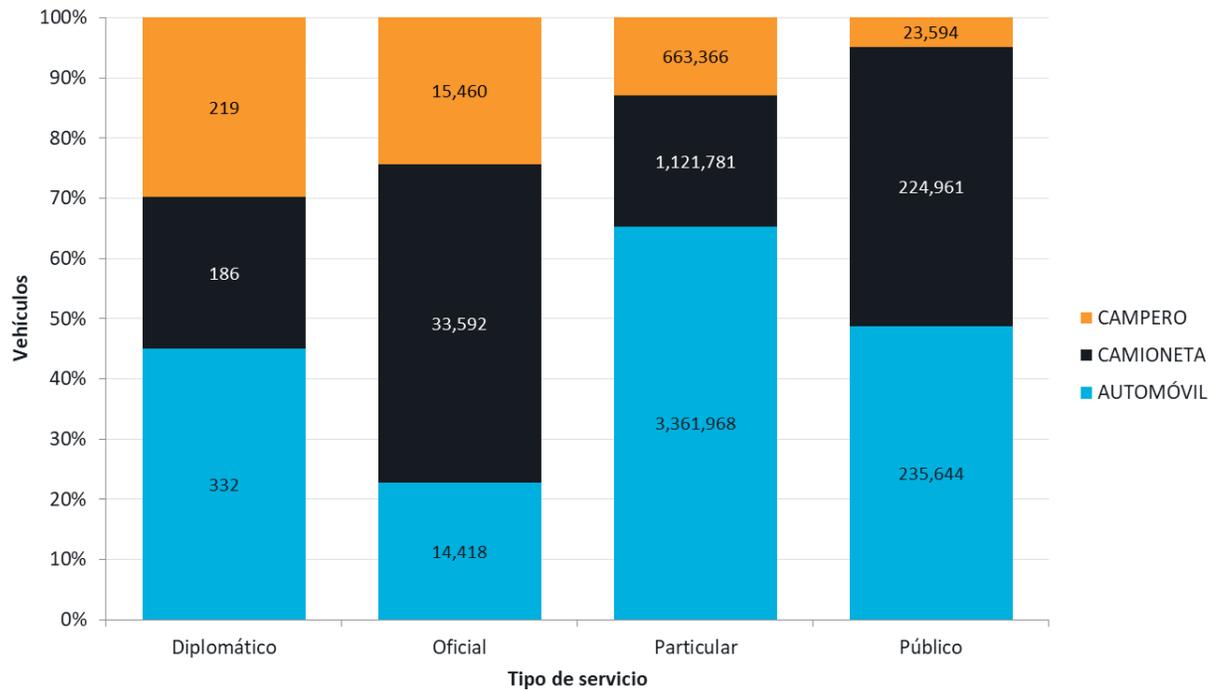
Figura 2.16: Composición de los tipos de servicio prestados por vehículos livianos



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.33 Se realizó un desglose de las clases de vehículos livianos para cada tipo de servicio, el cuál puede apreciarse en la siguiente figura. En esta, se puede observar que los automóviles conforman la mayoría de los vehículos de servicio particular con cerca el 65%, seguidos por las camionetas y finalmente los camperos. Por otro lado, en el caso de los vehículos de servicio oficial las camionetas representan la mayoría de los vehículos, mientras que los automóviles y los camperos se distribuyen de manera casi equitativa en esta categoría. Se destaca además el hecho de que los vehículos de servicio público presentan la menor proporción de camperos y en contraste con esto, el servicio diplomático presenta la mayor proporción de esta categoría vehicular.

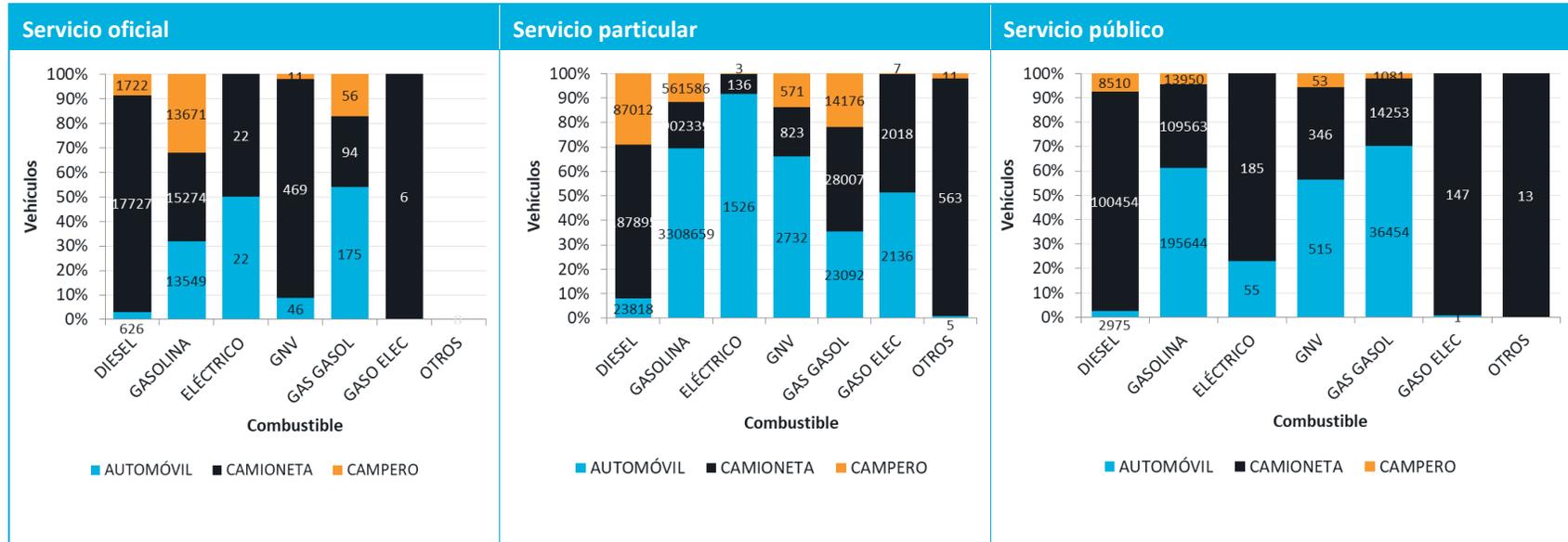
**Figura 2.17: Cantidad de vehículos livianos por clase vehicular y tipo de servicio**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 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 | Productos 1 al 6

Tabla 2.4: Porcentaje de vehículos por tipo de combustible y tipo de servicio

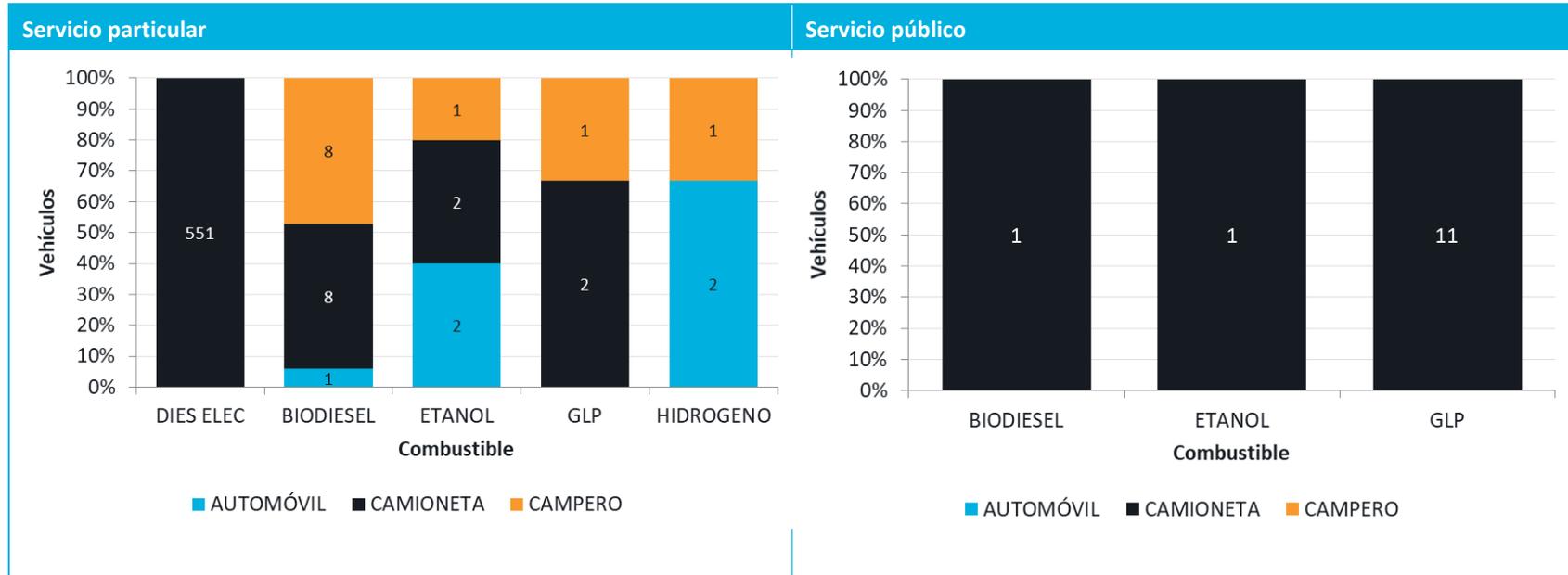


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

### Características del motor

2.34 La tabla anterior ilustra la proporción de vehículos por cada tipo de combustible reportado en el RUNT para cada tipo de servicio. Dentro de los aspectos a destacar, se encuentra la cantidad de automóviles eléctricos dentro de los vehículos de servicio particular, pues representan más del 90% de vehículos con este combustible. Dentro de los vehículos diésel se puede observar una fuerte predominancia de las camionetas para todos los tipos de servicio, con una participación un poco más relevante de los camperos dentro de los vehículos de servicio particular.

Tabla 2.5: Cantidad de vehículos con combustibles de cero y bajas emisiones en categoría “Otros”

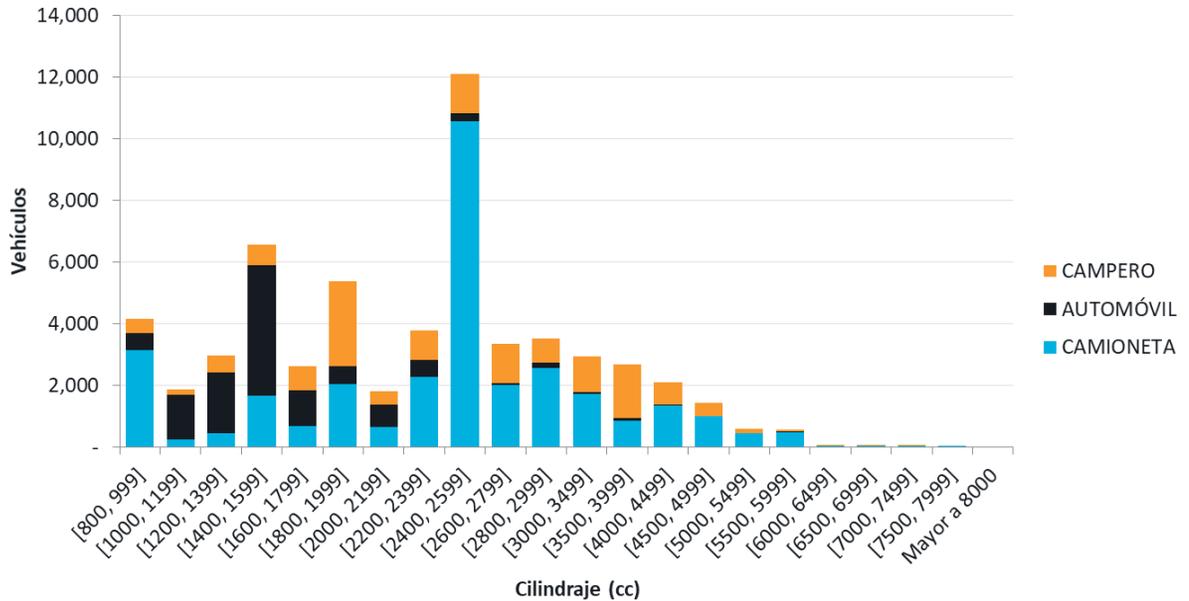


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.35 Con el fin de obtener una mirada más detallada a los combustibles en la categoría “Otros”, se presentan las figuras de la tabla anterior, en las cuales se puede apreciar la cantidad de vehículos y por tipos de combustibles de cero y bajas emisiones. La mayor cantidad de estos vehículos son camionetas híbridas diésel- eléctricas de servicio particular. Las camionetas son, de manera general, el vehículo más representativo dentro de estas categorías de combustibles para los servicios particular y público. Los vehículos oficiales no registran vehículos con estas características.

2.36 Las figuras a continuación muestran la distribución de cada clase vehicular dentro de cada rango de cilindraje y para cada tipo de servicio.

Figura 2.18: Cantidad de vehículos livianos de servicio oficial por clase y rango de cilindraje

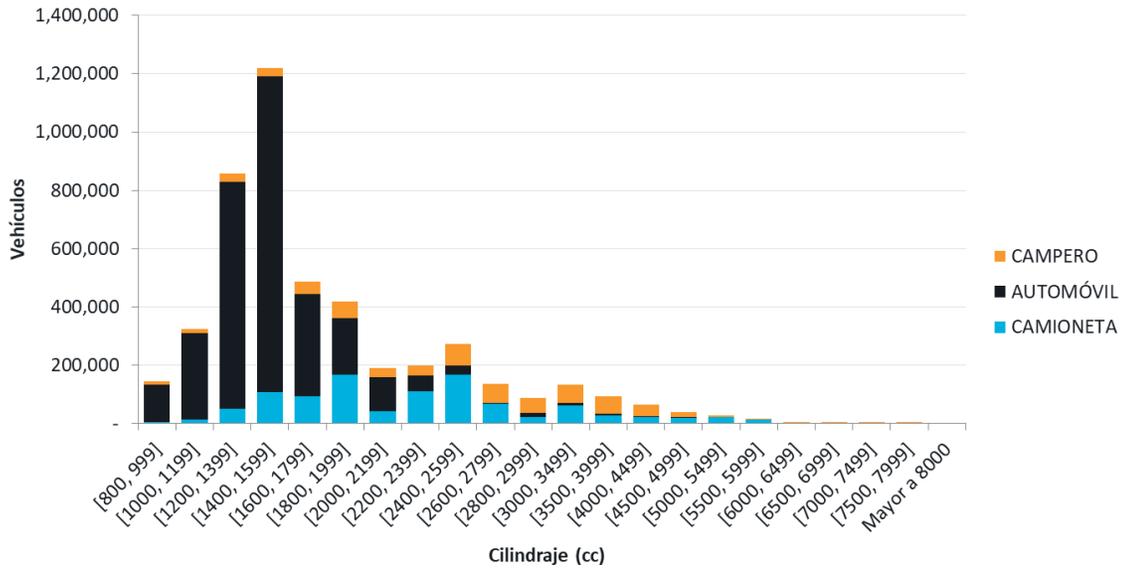


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.37 En la figura anterior se observa que la mayoría de los vehículos son camionetas que se concentran entre los 2,200 y 3,500 centímetros cúbicos de cilindraje. Los automóviles, por su parte, se encuentran en rangos de cilindrajes más bajos, especialmente entre los 1,200 y 1,800 centímetros cúbicos. A pesar de presentar una notable concentración de vehículos en el rango entre los 1,800 y los 2,000 centímetros cúbicos, los camperos se ubican en una gama de cilindrajes más amplia que las otras dos clases vehiculares, pues también existen cantidades importantes de vehículos entre los 2,800 y 4,000 centímetros cúbicos.

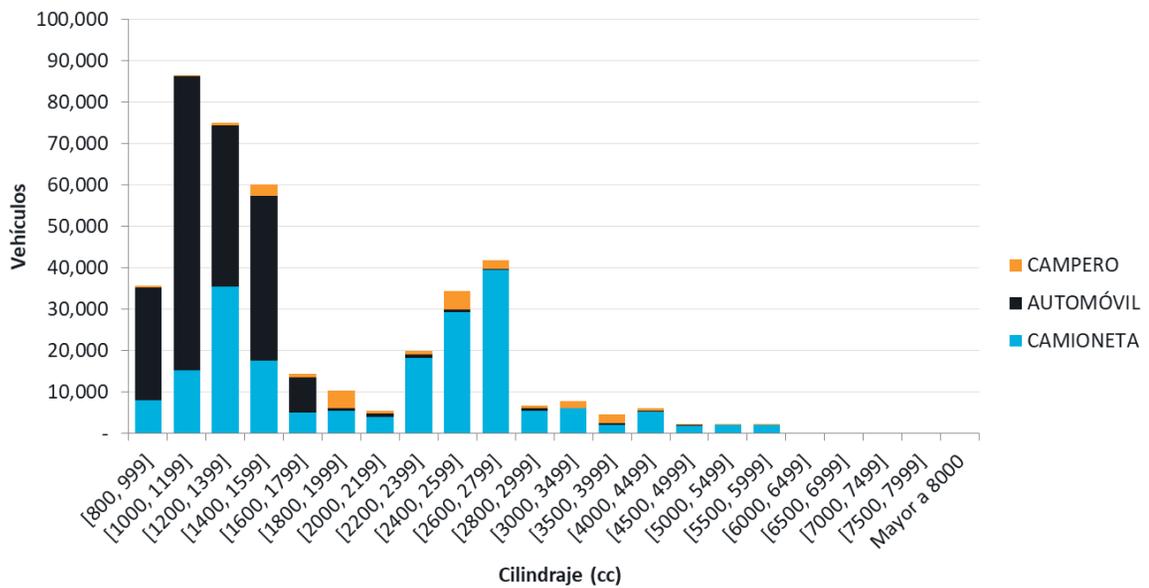
2.38 Las observaciones descritas anteriormente son consistentes con el tamaño y peso típico de cada clase vehicular y son además aplicables a las distribuciones para vehículos livianos de servicio particular y servicio público, como lo muestran las siguientes figuras. Sin embargo, se hace evidente la diferencia entre las proporciones de clases vehiculares, pues como se había discutido con anterioridad, el automóvil es la clase vehicular predominante en los servicios público y particular, mientras que la clase vehicular predominante en el servicio oficial es la camioneta.

**Figura 2.19: Cantidad de vehículos livianos de servicio particular por clase y rango de cilindraje**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

**Figura 2.20: Cantidad de vehículos livianos de servicio público por clase y rango de cilindraje**



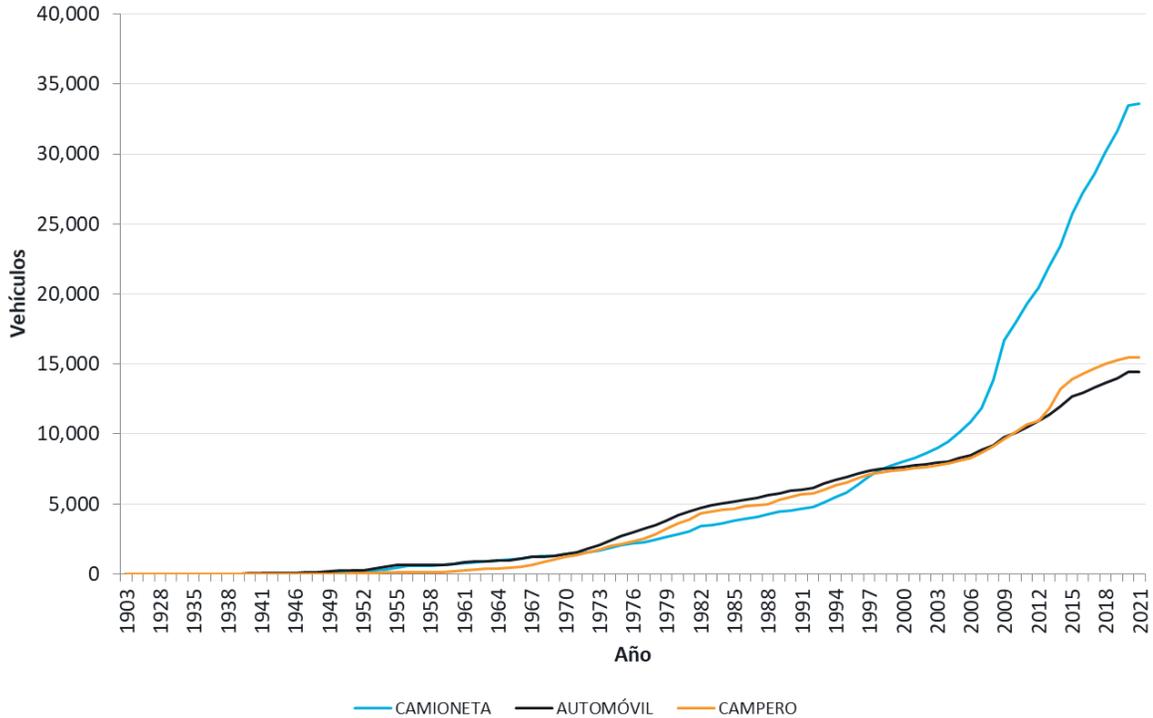
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

### Edad del parque automotor

Dado que la base de datos del RUNT disponible no contaba con un campo que permitiera determinar con exactitud la fecha de matrícula, se empleó el modelo registrado para estimar el año en que comenzó a circular cada vehículo. La Figura 2.21 representa la cantidad de vehículos acumulada por año para cada clase vehicular de servicio oficial. En esta, se logra observar que la

cantidad de automóviles, camionetas y camperos fue aproximadamente igual hasta el final de la década del 90, momento en el cual se evidencia una aceleración en el crecimiento de camionetas, mientras que los automóviles y camperos se mantuvieron creciendo con la misma tendencia.

Figura 2.21: Cantidad acumulada de vehículos livianos de servicio oficial por año\*



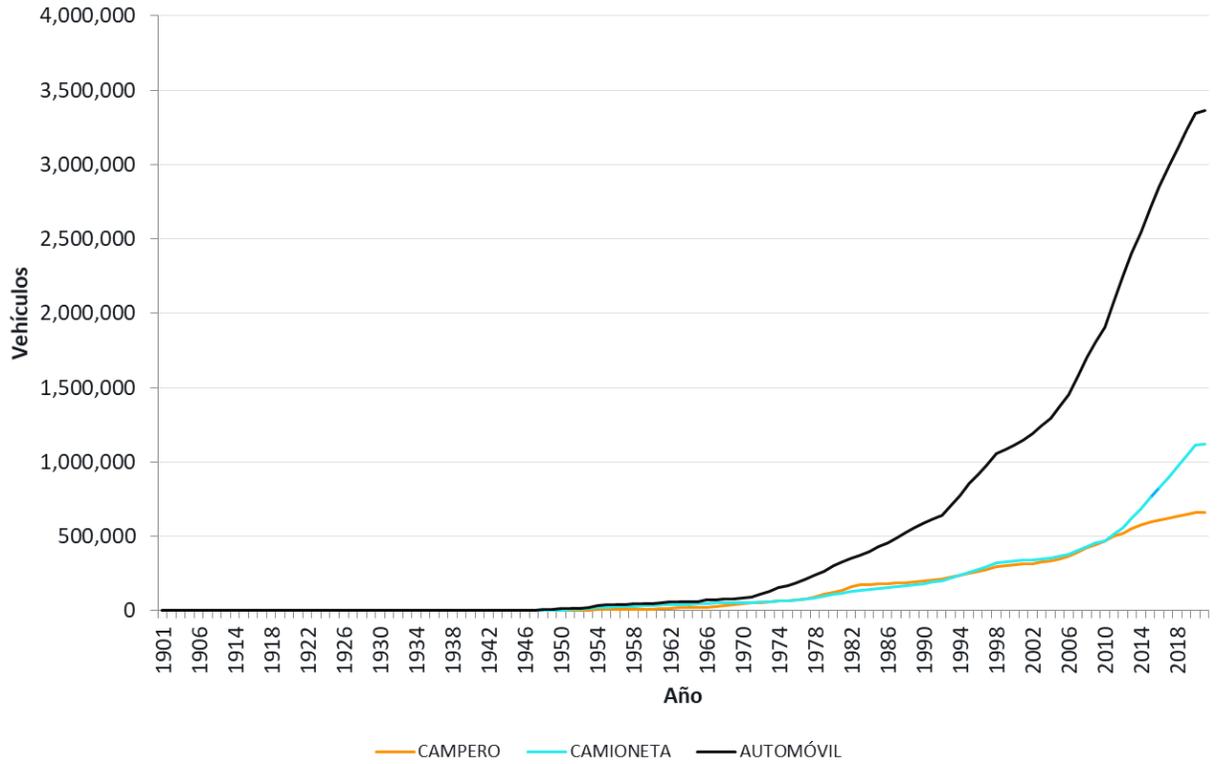
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020

\* El año fue estimado a partir del modelo del vehículo

- 2.39 La siguiente figura ilustra la cantidad de vehículos livianos por año del servicio particular, en la cual se observan dos aspectos destacables: la clara predominancia del automóvil a lo largo de los años y el cambio de la tendencia en la cantidad de camionetas, que aceleraron su crecimiento alrededor del año 2010. Antes de este punto, las camionetas y los camperos presentaban un crecimiento similar.
- 2.40 En el caso de los vehículos de servicio público, se evidencian tendencias de crecimiento muy similares para automóviles y camionetas, mientras que la cantidad de camperos destinados a dicho tipo de servicio parece estancarse a partir de los años 80.

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 | Productos 1 al 6

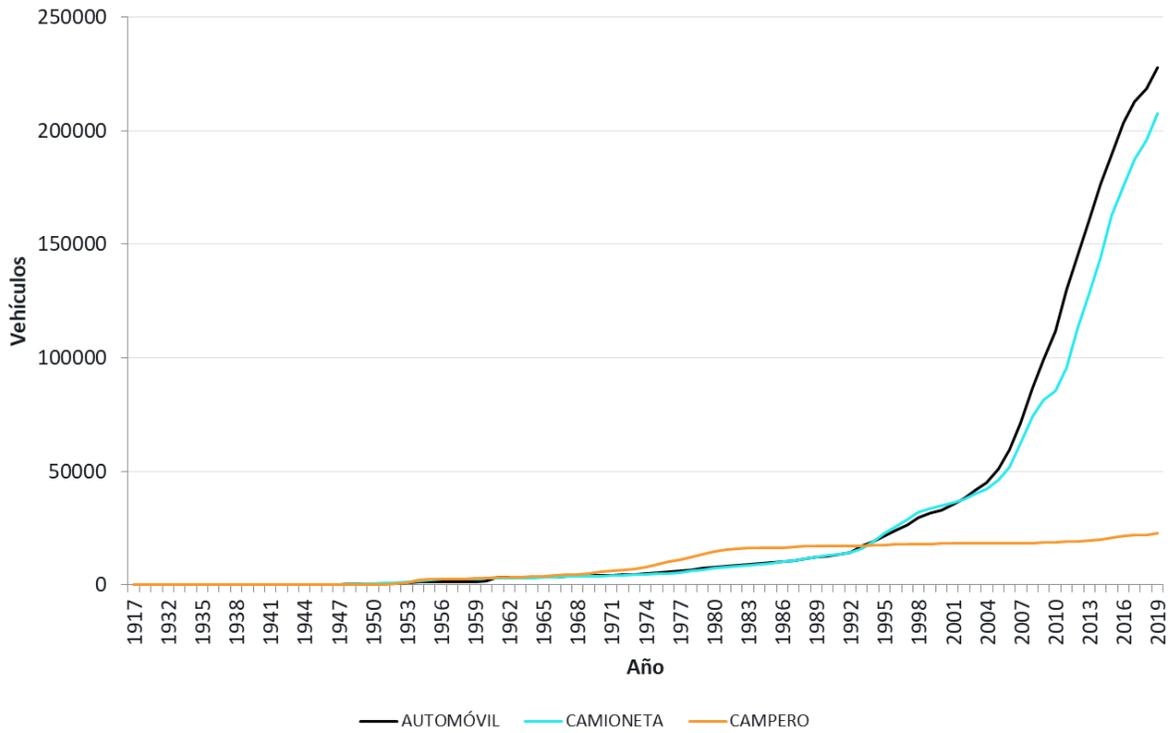
**Figura 2.22: Cantidad acumulada de vehículos livianos de servicio particular por año\***



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020

\* El año fue estimado a partir del modelo del vehículo

**Figura 2.23: Cantidad acumulada de vehículos livianos de servicio público por año\***



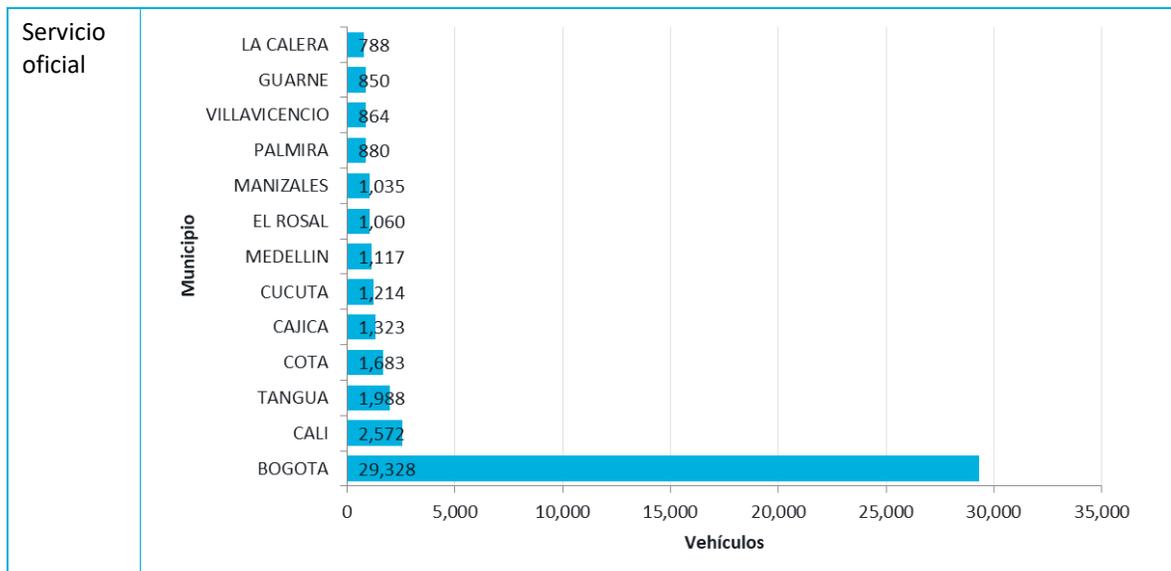
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020

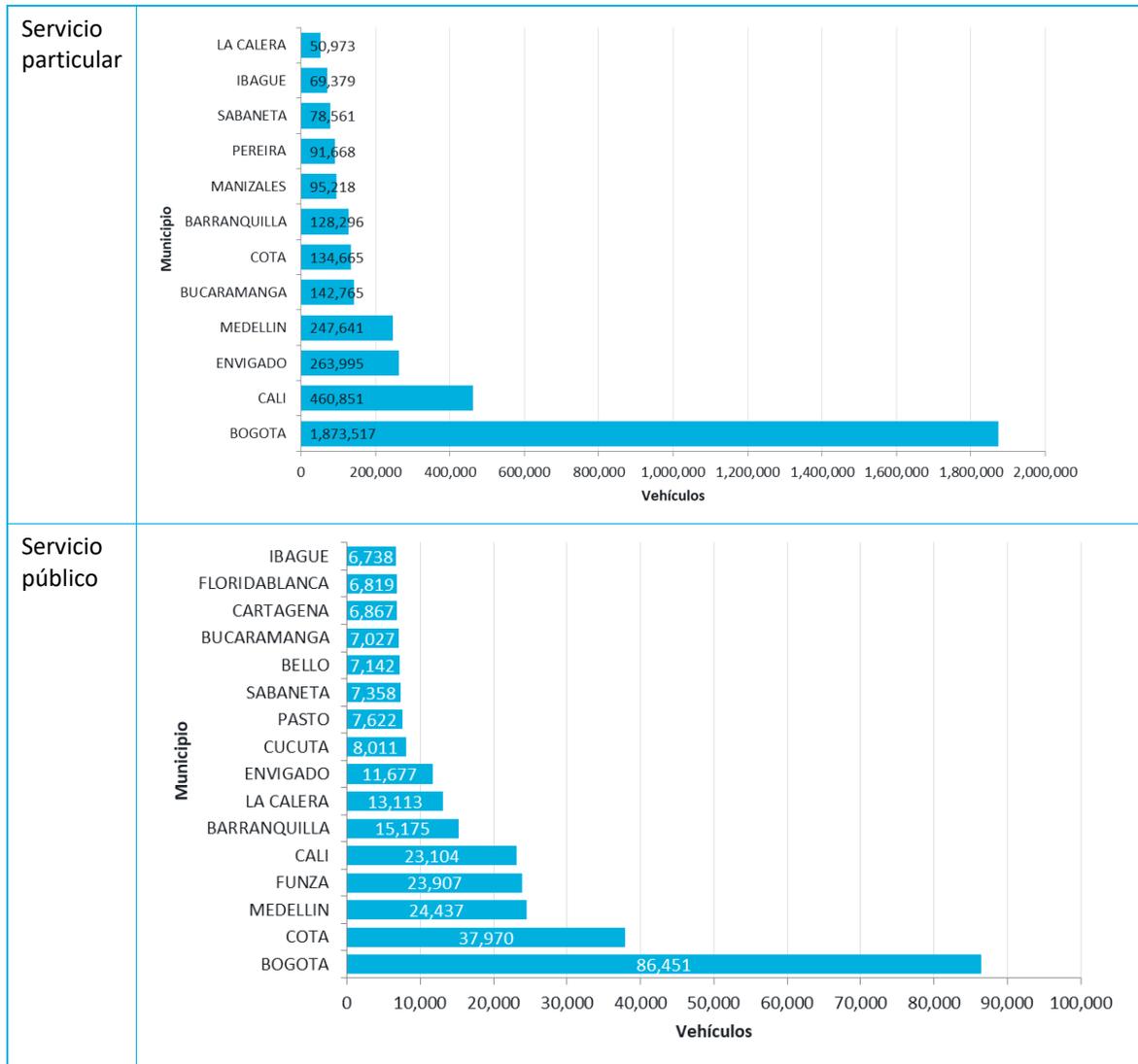
\* El año fue estimado a partir del modelo del vehículo

### Ubicación geográfica

2.41 En las siguientes figuras se presenta la distribución de los registros de vehículos livianos para cada tipo de servicio (oficial, particular y público) por municipios.

**Figura 2.24: Número de vehículos livianos registrados por municipios por tipo de servicio**





Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

\* Municipio del organismo de tránsito registrado

De las figuras anteriores se destaca que Bogotá es el municipio con el mayor número de registros en los tres casos. Para los vehículos de servicio oficial esto puede atribuirse al hecho de que Bogotá es la ciudad que concentra un mayor número de entidades públicas de orden nacional. En el caso de los vehículos de servicio particular y público las cinco ciudades más grandes del país (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga) presentan un número importante de registros.

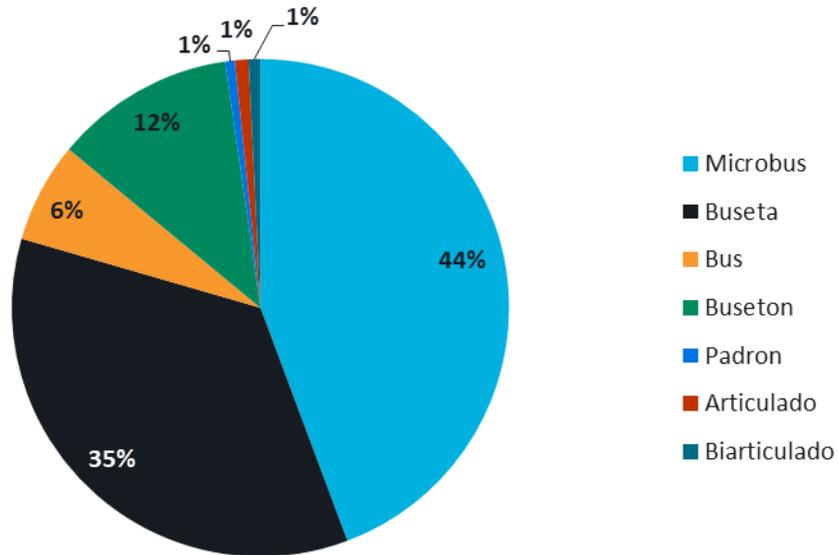
## Vehículos de pasajeros

2.42

En esta sección se presenta la caracterización del parque automotor de vehículos de pasajeros para los tipos de servicio público y particular. Los vehículos de pasajeros conforman, con 199,236 vehículos, el 1.28% del parque automotor total de Colombia. De estos vehículos, el 44% está conformado por buses en la categoría de microbús, 35% en la categoría de busetas, 12% en

busetones, 6% en buses y el 3% restante se encuentra dividido de manera casi equitativa entre padrones, articulados y biarticulados. Lo anterior, se puede encontrar en la siguiente figura:

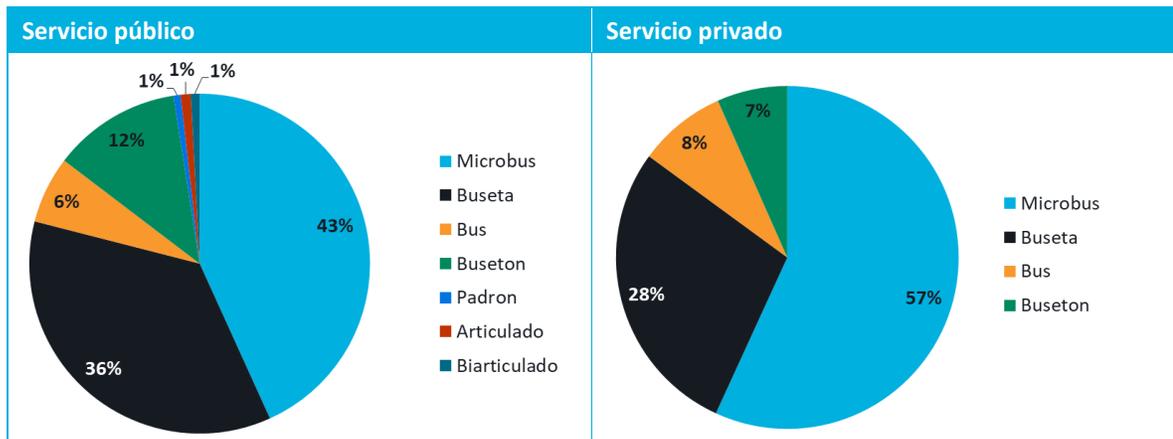
Figura 2.25: Partición por tipologías de buses del transporte de pasajeros.



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.43 Dentro de los vehículos de pasajeros se encuentran dos categorías representativas de tipo de servicio, las cuales son el privado y el público. En ambas categorías los microbuses son la tipología más común, seguidos de las busetas. Sin embargo, los vehículos de servicio público evidencian una mayor proporción de busetones, mientras que en servicio privado se observan en mayor proporción los buses, tal y como se puede apreciar en la siguiente tabla de figuras:

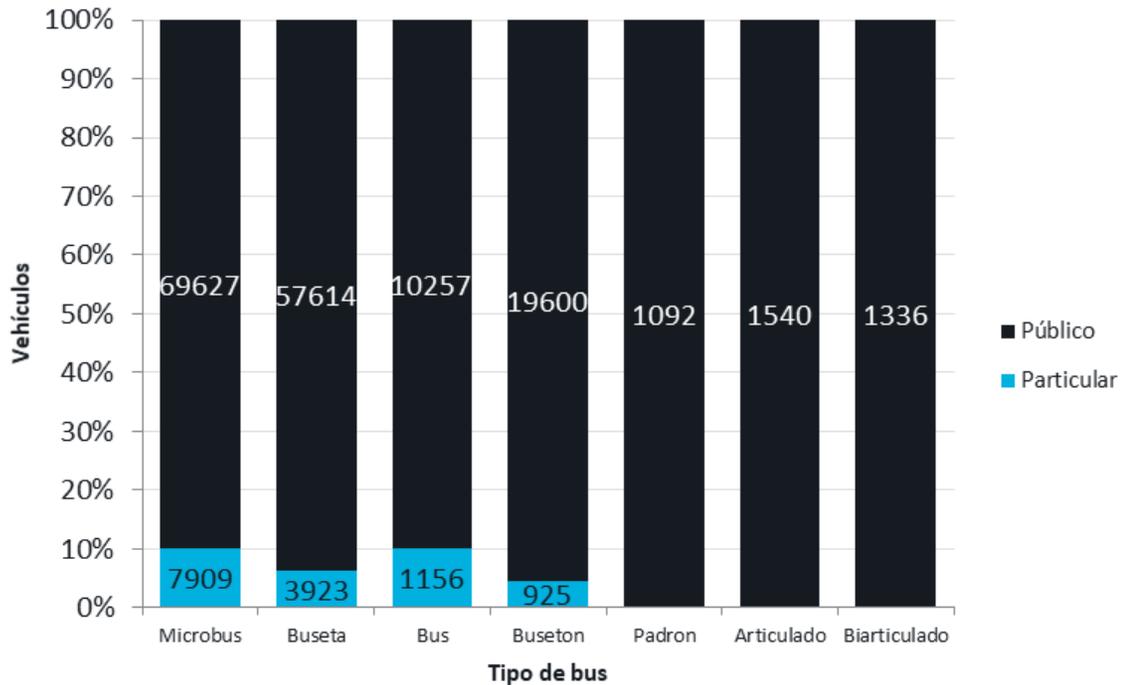
Tabla 2.6: Partición por tipologías de buses del transporte de pasajeros para cada tipo de servicio.



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.44 La siguiente figura ilustra la porción del servicio prestado dentro de cada tipología de bus.

Figura 2.26: Proporción del tipo de servicio prestado para cada tipología de vehículos de pasajeros



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

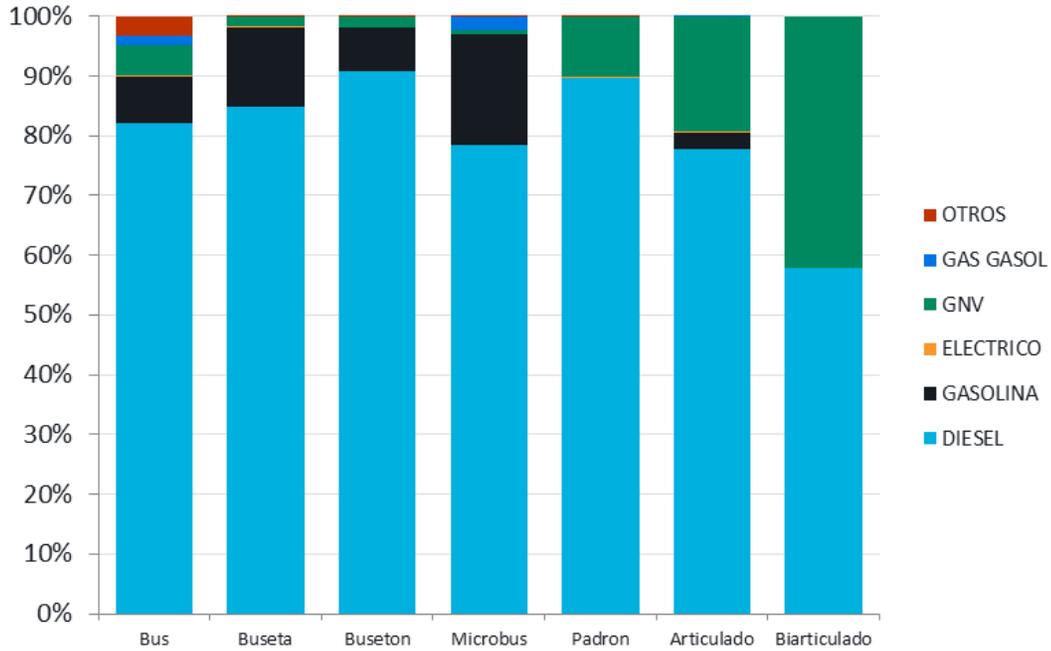
2.45 En la figura anterior, se puede apreciar que los vehículos que prestan el servicio público corresponden a la inmensa mayoría dentro de cada tipo de vehículo de pasajeros, siendo padrones, articulados y biarticulados tipologías exclusivas del servicio público, tal y como había sido ilustrado anteriormente.

#### Características del motor

2.46 A continuación, se observan las proporciones en que se distribuye cada tipo de combustible dentro de cada tipología de vehículo de pasajeros de servicio público y privado.

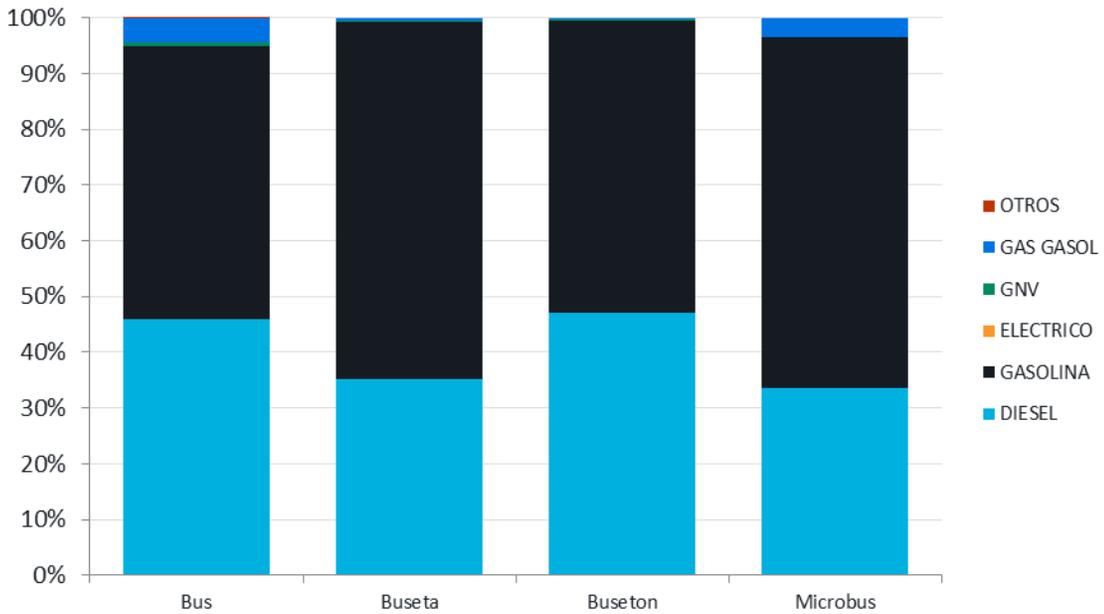
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6

**Figura 2.27: Tipos de combustible por tipología de vehículo de pasajeros de servicio público**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

**Figura 2.28: Tipos de combustible por tipología de vehículo de pasajeros de servicio particular**



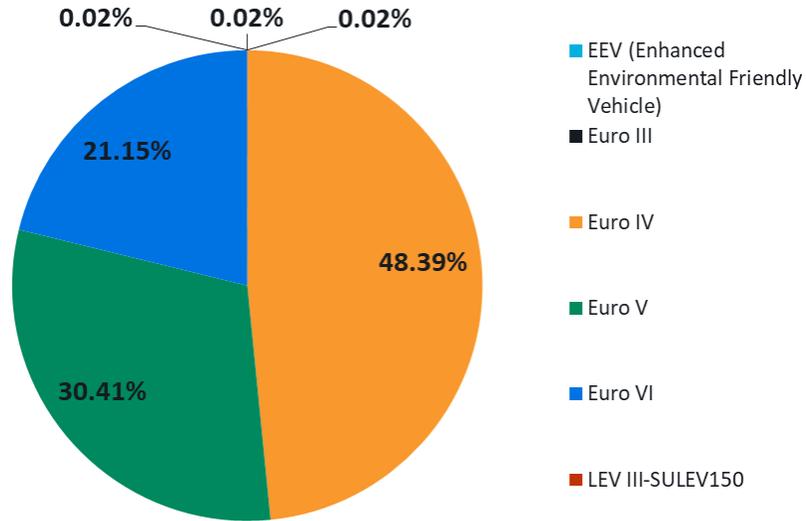
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.47 En las figuras anteriores se puede evidenciar que el diésel es el combustible predominante dentro de los vehículos de pasajeros de servicio público, seguido de una fuerte presencia de vehículos con gas natural vehicular para las tipologías de articulado, biarticulado y padrón, y gasolina para las

demás tipologías. En contraste con esto, se observa que la gasolina es el combustible predominante en los vehículos particulares de pasajeros, seguido de cerca por el diésel y con una presencia cercana al 5% por tipología de híbridos a gas y gasolina, especialmente en buses y microbuses.

2.48 La siguiente figura ilustra la proporción de vehículos de transporte público por cada tecnología de motor asociada a la norma del nivel de emisiones.

**Figura 2.29: Vehículos de pasajeros de servicio público por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones**

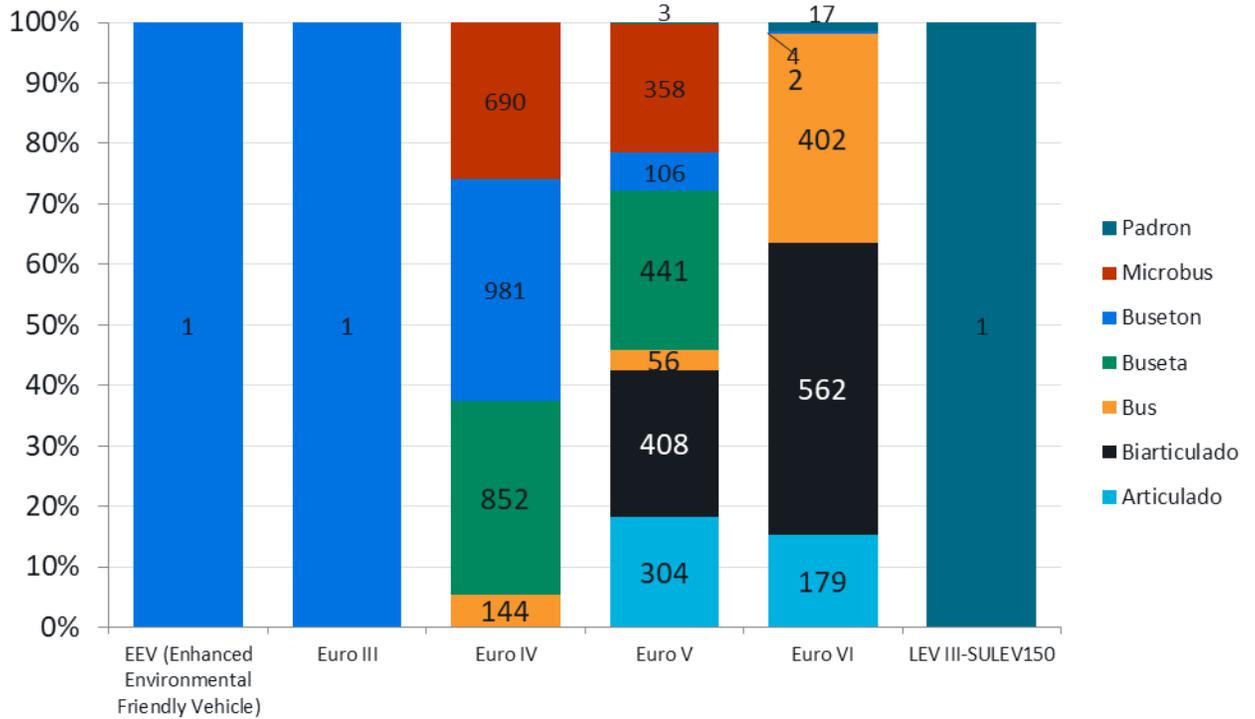


Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.49 En la figura anterior, se puede apreciar que el 48.39% de los vehículos con norma de nivel de emisiones reportada corresponde a Euro IV y el 51.61% restante se compone principalmente de tecnologías Euro V (30.41%) y Euro IV (21.15%). Con el fin de obtener una mirada más detallada de la cantidad de vehículos de pasajeros dentro de cada norma de nivel de emisiones, se presentan las figuras a continuación, en las que se puede encontrar la cantidad de buses por cada tecnología, tipología y tipo de servicio.

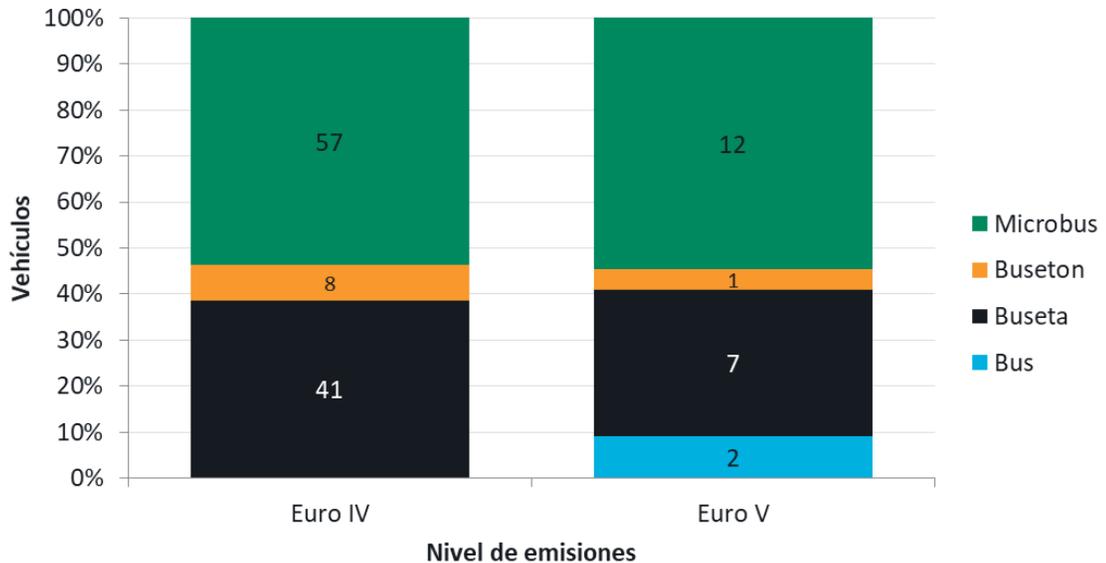
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6

**Figura 2.30: Vehículos de pasajeros de servicio público por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones y tipo de bus**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

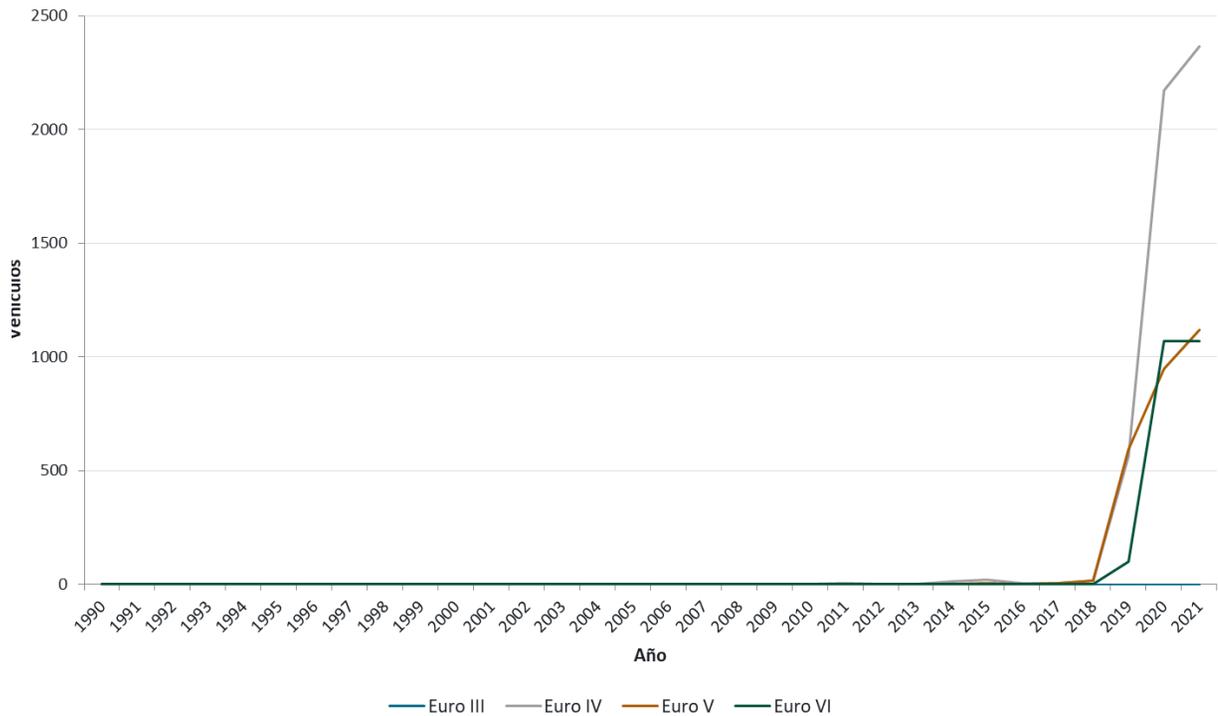
**Figura 2.31: Vehículos de pasajeros de servicio particular por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones y tipo de bus**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.50 Dentro de los aspectos a destacar de las gráficas anteriores, se encuentra el hecho de que la mayoría de los buses con tecnología Euro VI corresponde a articulados y biarticulados, con cerca del 63% de los vehículos dentro de esta categoría. Así mismo, se puede observar que todos los buses con esta tecnología corresponden a vehículos de pasajeros del servicio público, y que dentro de los vehículos de servicio privado se encuentran únicamente tecnologías Euro IV y Euro V. Es necesario aclarar que las anteriores gráficas con información de la norma del nivel de emisiones toman únicamente en cuenta el 3% de los vehículos de pasajeros. Esto, debido a que es una característica reportada únicamente durante los últimos años, como se puede observar en la siguiente figura:

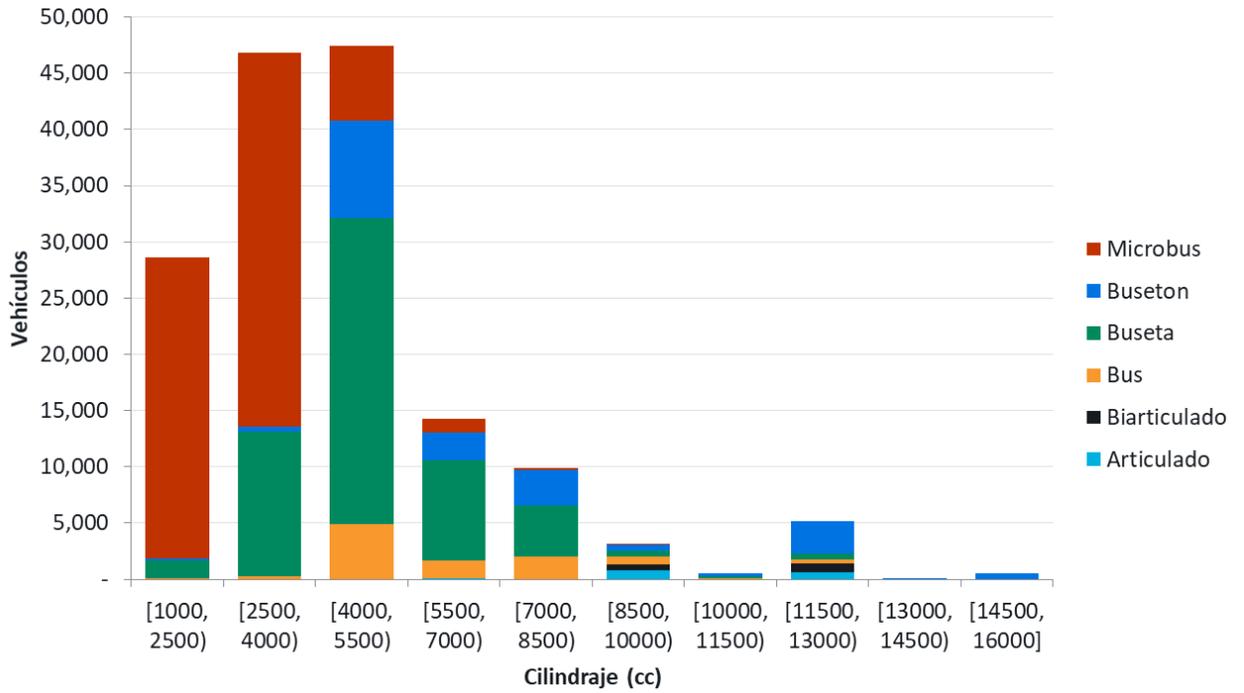
**Figura 2.32: Cantidad de vehículos por tecnología de motor asociado a norma de nivel de emisiones por año\***



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.  
La estimación del año se llevó a cabo a partir del modelo

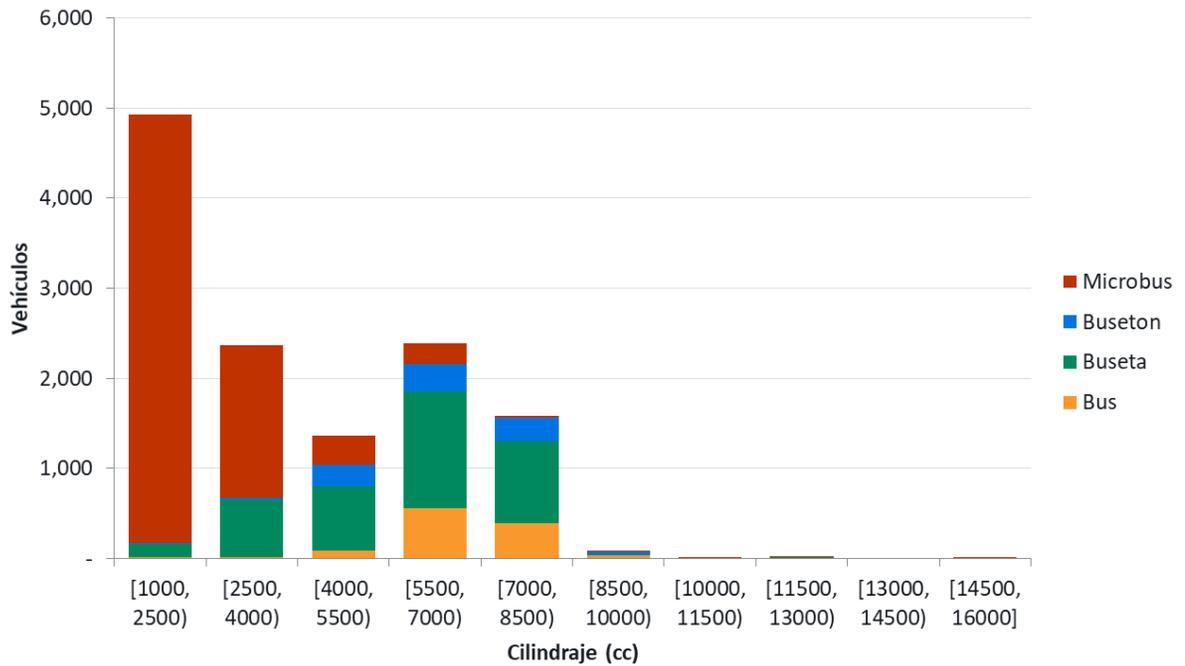
2.51 A continuación, se observan las gráficas que representan la cantidad de vehículos por rango de cilindraje.

**Figura 2.33: Cantidad de vehículos de pasajeros de servicio público por rango de cilindraje**



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

**Figura 2.34: Cantidad de vehículos de pasajeros de servicio particular por rango de cilindraje**



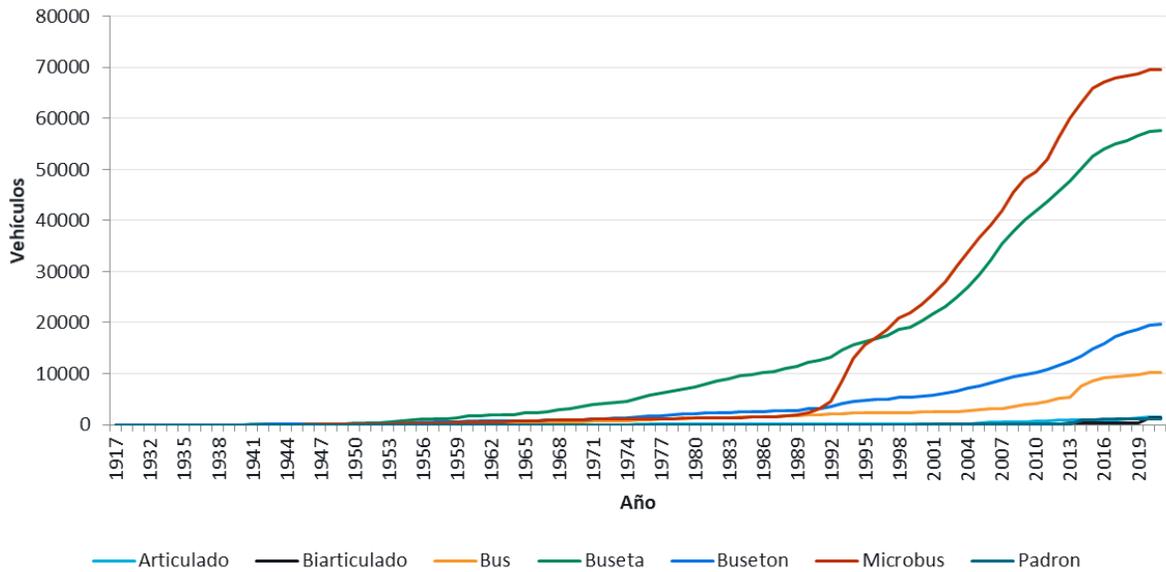
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

2.52 En las gráficas anteriores, se puede observar que la tipología vehicular es consistente con el rango de cilindraje, pues los vehículos con menor capacidad de pasajeros se ubican en los menores rangos de cilindraje, mientras que aquellos con mayor capacidad de transportar pasajeros se encuentran en los rangos de cilindrajes más altos. En particular, se puede apreciar la ubicación de los articulados y biarticulados en los vehículos de servicio público, pues se ubican en los rangos más altos de la gráfica al ser los de mayor capacidad de pasajeros.

### Edad del parque automotor

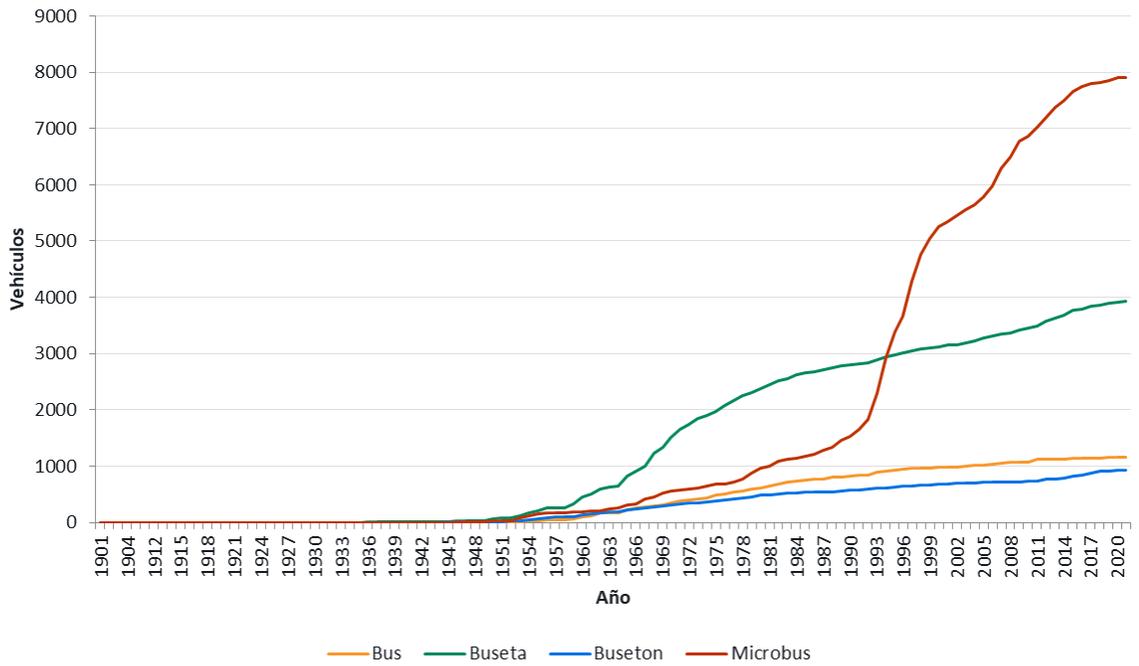
2.53 Tal y como se ha llevado a cabo para otras categorías vehiculares, se construyó la gráfica de vehículos acumulados por tipo de servicio y tipología. En estas se puede observar un rápido crecimiento en la cantidad de microbuses a inicios de la década del 90 tanto en vehículos de servicio particular como vehículos de servicio público. Así mismo, se puede evidenciar una desaceleración en el crecimiento de la cantidad de buses y busetones, que se presenta a partir del 2013 en servicio público y en la década del 90 en servicio particular. Lo anterior, puede apreciarse en las siguientes figuras:

Figura 2.35: Número acumulado de vehículos de pasajeros de servicio público por año\*



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.  
La estimación del año se llevó a cabo a partir del modelo

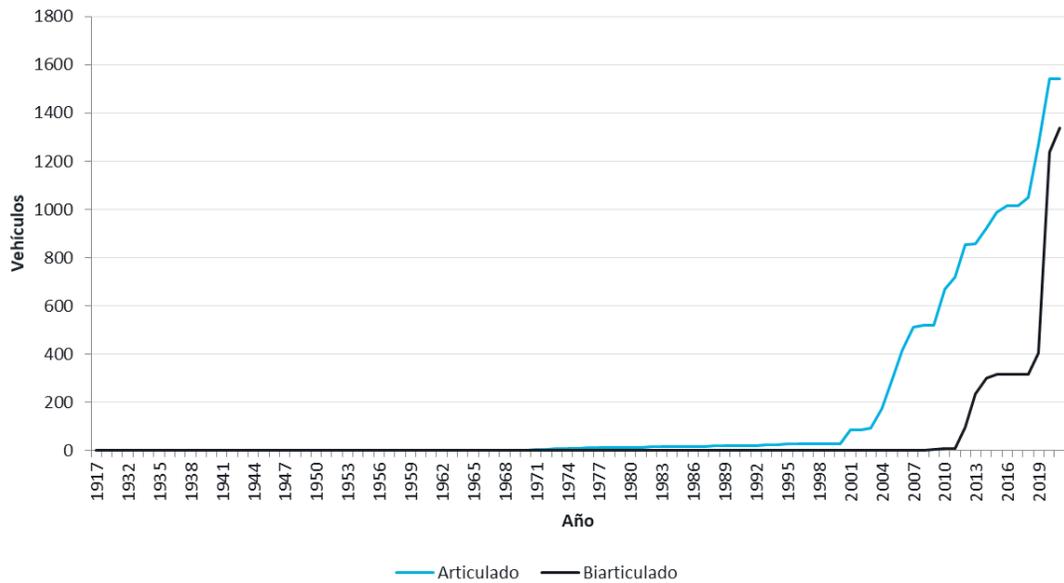
**Figura 2.36: Número acumulado de vehículos de pasajeros de servicio particular por año\***



Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.  
La estimación del año se llevó a cabo a partir del modelo

2.54 Con el fin de obtener una mirada detallada a la evolución de la cantidad de articulados y biarticulados a lo largo de los años, se presenta la siguiente gráfica:

**Figura 2.37: Número acumulado de articulados y biarticulados por año\***



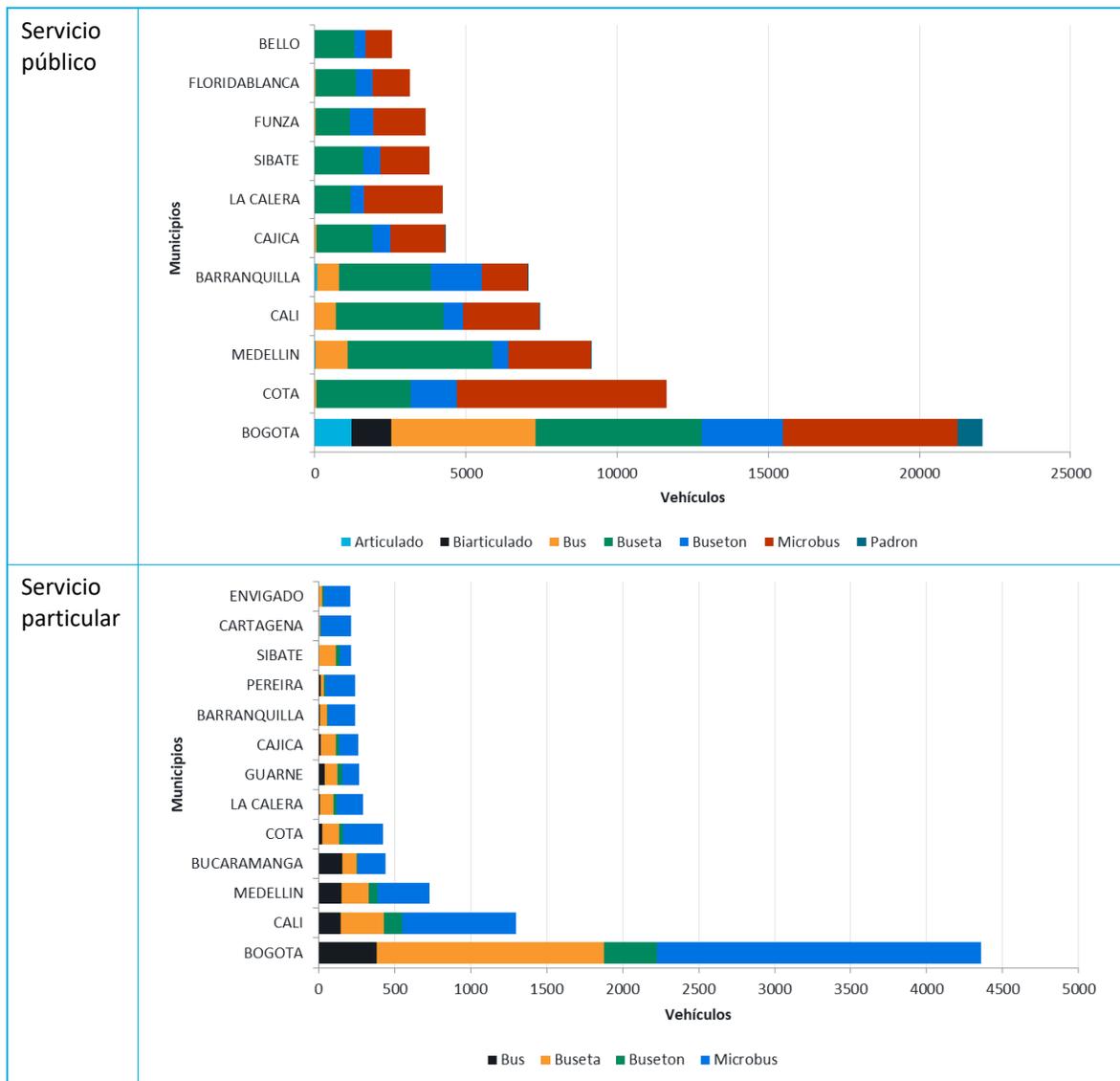
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.  
La estimación del año se llevó a cabo a partir del modelo

2.55 En la figura anterior, se puede observar que la particularidad de estas dos tipologías de buses se encuentra en que su crecimiento no se da de manera paulatina como se observó anteriormente para las demás tipologías, sino que el crecimiento parece darse de manera abrupta, obedeciendo a los momentos de adquisición de flotas para sistemas de transporte masivo a lo largo de los años.

### Ubicación geográfica

2.56 En las siguientes figuras se presenta la distribución de los registros de vehículos de pasajeros en los municipios del país por tipo de servicio y clase del vehículo. En los dos casos Bogotá es el municipio que presenta un mayor número de registros.

Figura 2.38: Cantidad de vehículos de pasajeros de servicio por municipio\*



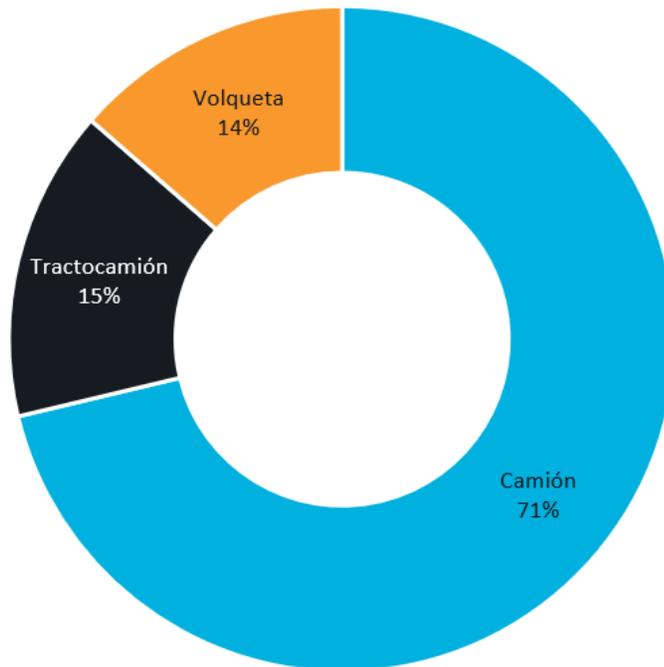
Fuente: Steer a partir de base de datos del RUNT, 2020.

\* Municipio del organismo de tránsito registrado

## Vehículos de carga

- 2.57 El parque automotor de carga en el país se compone por alrededor de 378,592 vehículos, lo cual representa solo el 2% del total de los vehículos registrados. En esta clasificación, como se presentó previamente, se incluyen las siguientes clases de vehículos: camiones, tractocamiones y volquetas.
- 2.58 El vehículo predominante de carga es el camión con un total de 269,825 vehículos registrados en esta categoría, le siguen los tractocamiones con 57,337 vehículos y por último las volquetas con 51,430. La siguiente figura presenta el desglose de la composición del parque automotor de carga en Colombia.

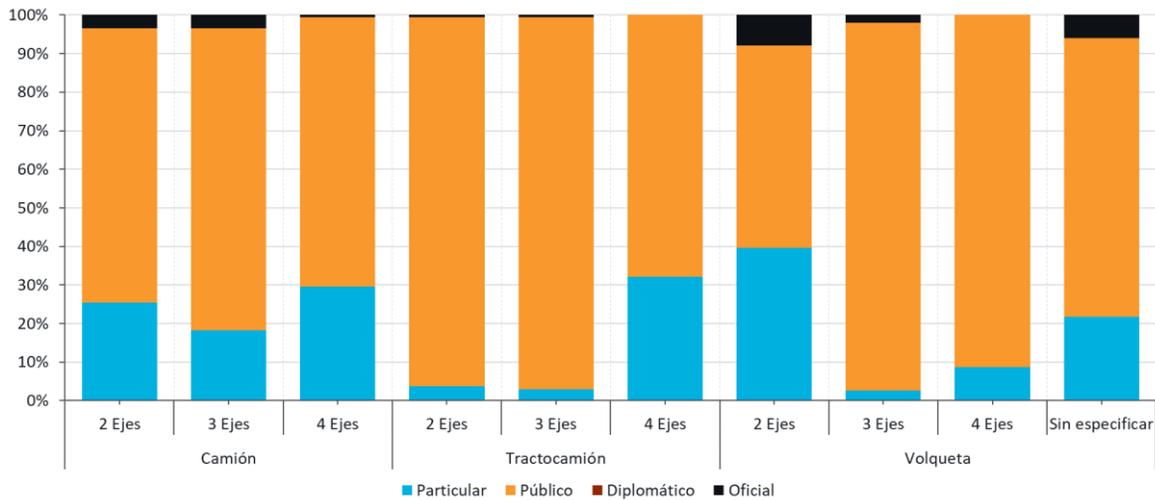
Figura 2.39: Composición del Parque automotor de carga nacional



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

- 2.59 Co respecto al tipo de servicio para los vehículos de carga el servicio predominante es el público en todas las categorías vehiculares, seguido por servicio particular. En la siguiente figura se presenta la caracterización por tipo de servicio discriminada por el tipo de categoría y la cantidad de ejes

**Figura 2.40: Tipo de servicio del Parque automotor de carga**

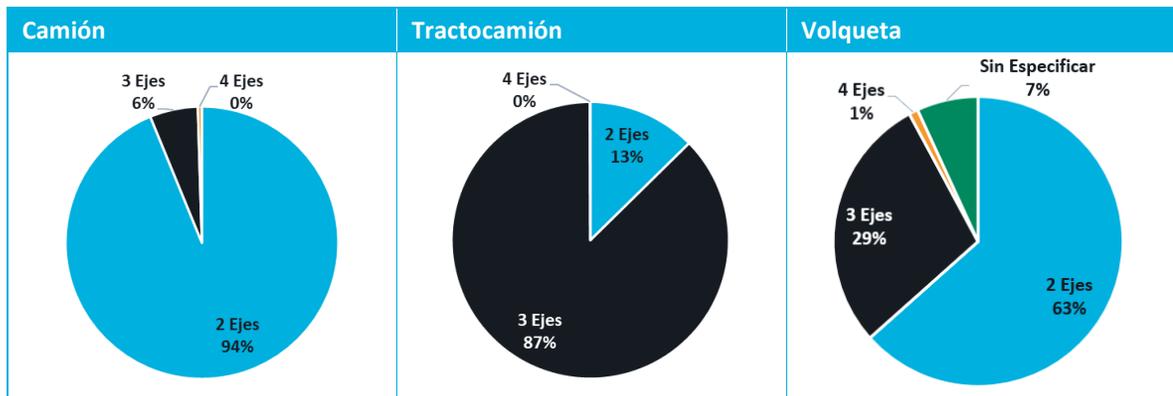


Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

### Cantidad de ejes

2.60 Con el propósito de realizar una clasificación más detallada se realiza un análisis del parque automotor por el número de ejes. Esto permite tener una visión estratégica del estado actual de este tipo de vehículos y sus respectivos usos. Se aclara que esta clasificación por ejes corresponde solo al cabezote, por lo que se presentan vehículos de 2, 3 y 4 ejes, es decir, esta clasificación no incluye remolques. En la siguiente figura se presenta la distribución por número de ejes para cada una de las clases de vehículos de carga.

**Tabla 2.7: Caracterización del Parque automotor de carga por cantidad de ejes**



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

2.61 En las figuras anteriores se observa que para camiones el tipo de vehículo predominante es de dos ejes, mientras que para tractocamiones es de tres ejes. Esto puede asociarse con un alto porcentaje de camiones de carga urbana, los cuales generalmente tienen dos ejes.

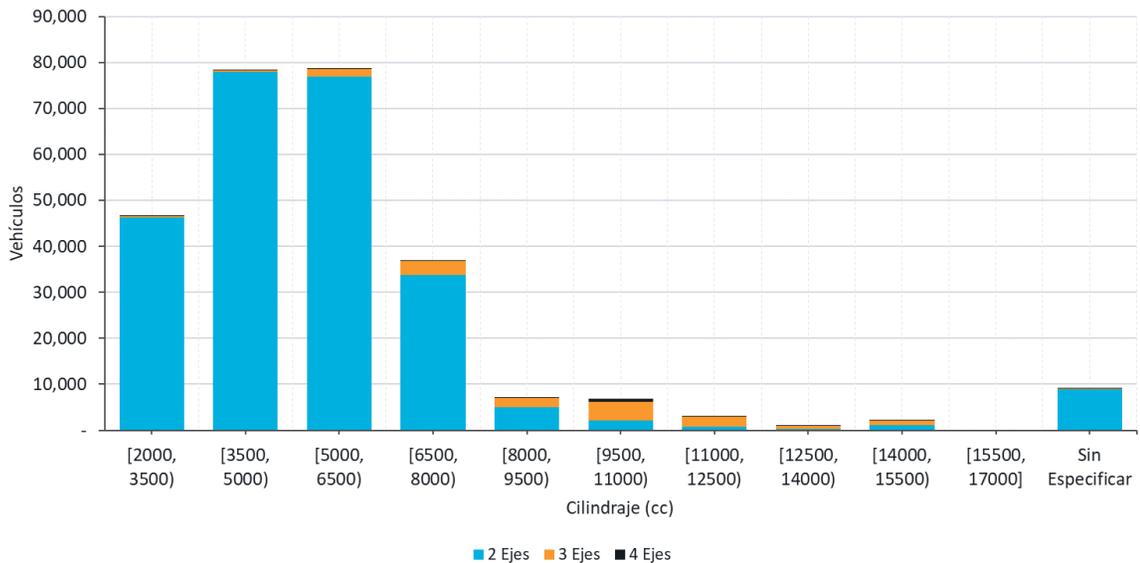
2.62 Se resalta que, dentro de los datos revisados, la categoría de volquetas presentaba algunas incongruencias en el campo de cantidad de ejes de este tipo de vehículos, por consiguiente, los

registros en los que se identificó este tipo de anomalía fueron categorizados como “Sin especificar” para la presentación de estos resultados.

### Características del motor

- 2.63 La caracterización por tipo de cilindraje permite entender los usos potenciales de los vehículos. Generalmente, los vehículos con un bajo o medio cilindraje son utilizados para el transporte de carga liviana, mientras que valores altos o muy altos de cilindraje son generalmente utilizados por vehículos de carga pesada.
- 2.64 En el desarrollo de este análisis fueron identificadas algunas incongruencias o campos vacíos en los registros del RUNT, para los casos en los que fueron identificadas dichas anomalías los vehículos fueron categorizados como “Sin Especificar”. A continuación, se presentan los valores de cilindraje en las diferentes categorías de carga.

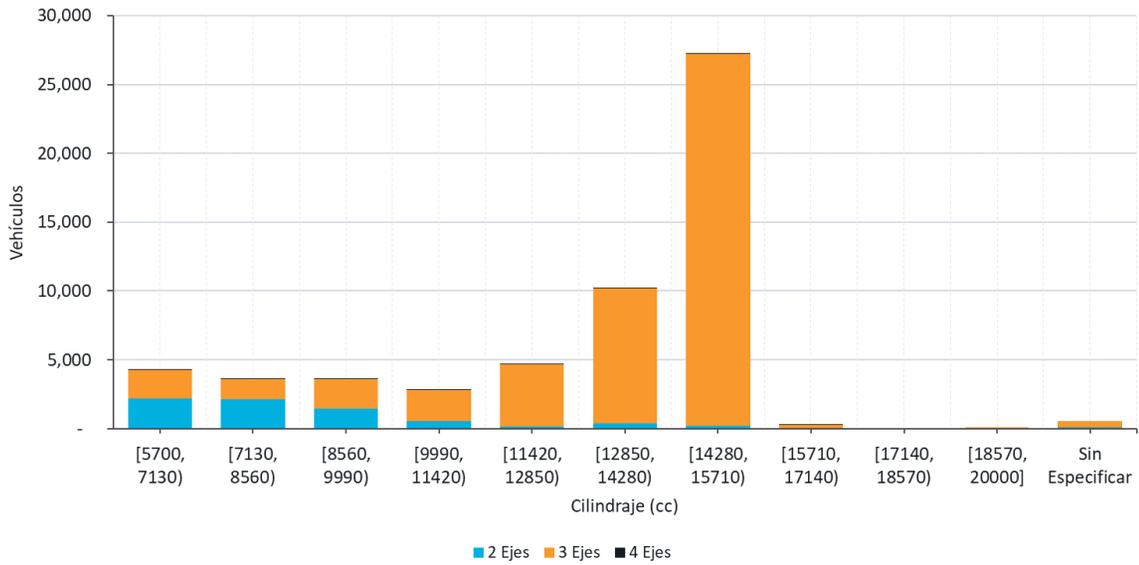
Figura 2.41: Cilindraje del Parque automotor de carga - Camiones



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

- 2.65 Se observa que la mayoría de los vehículos tienen un cilindraje en los valores bajos del rango de cilindraje, específicamente entre los 2.000 y 6.500 cc, lo cual indica que una gran proporción de estos vehículos son utilizados para carga liviana o urbana. Por el contrario, en la siguiente figura se observa que la mayoría de los tractocamiones tienen un cilindraje relativamente alto entre 12.850 y 15.710 cc,

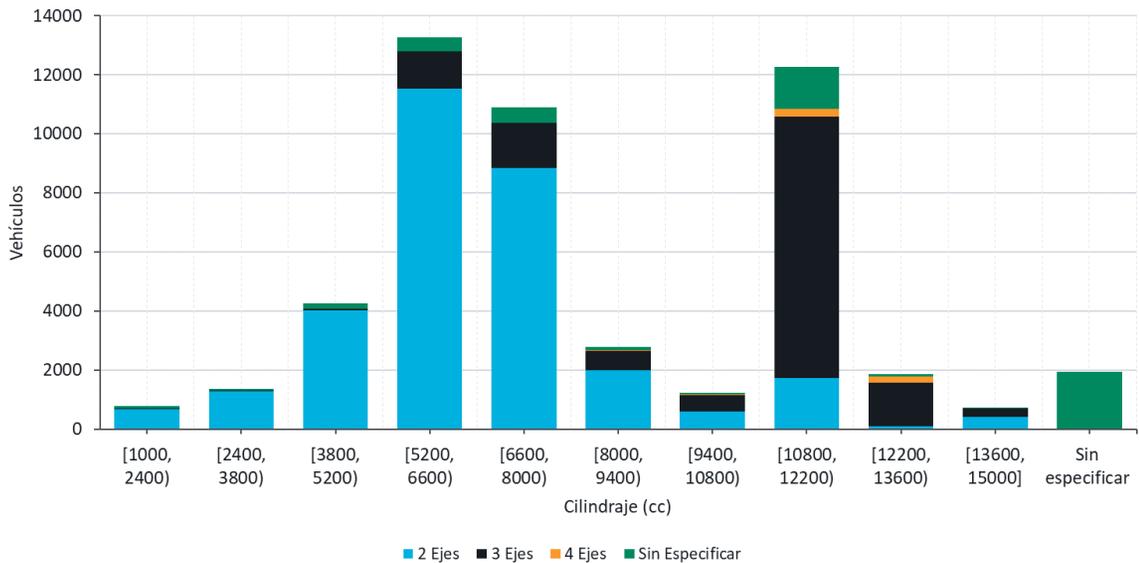
**Figura 2.42: Cilindraje del Parque automotor de carga – Tractocamión**



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

2.66 El cilindraje de los vehículos tipo volqueta se encuentra distribuido y varía desde 1,000 cc hasta 15,000 cc, esto es debido a la existencia de diversas tipologías vehiculares, es decir, la oferta vehicular es más variada, así como también el uso de estos vehículos.

**Figura 2.43: Cilindraje del Parque automotor de carga – Volquetas**

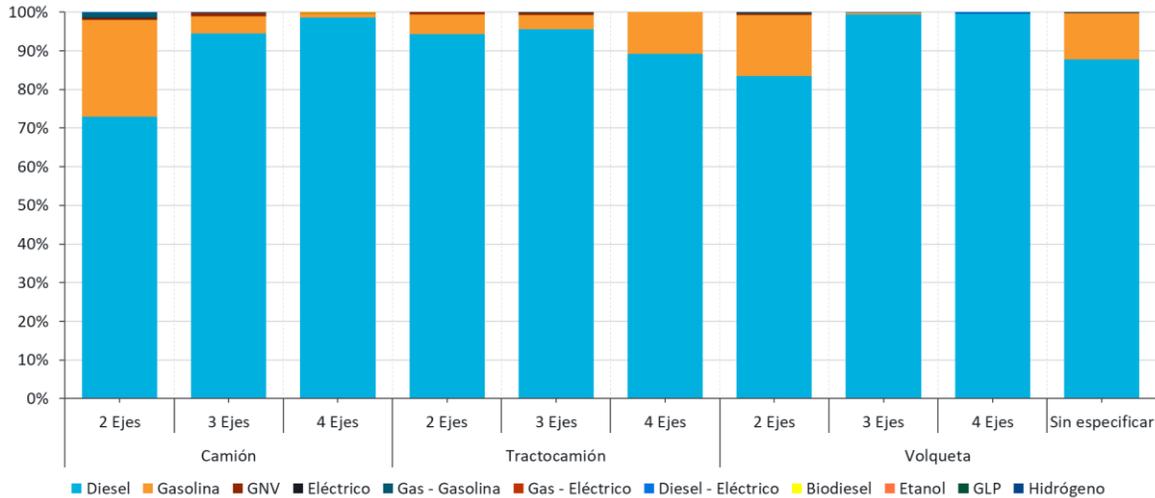


Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

2.67 En cuanto al tipo de combustible para los vehículos de carga, el energético predominante para todos los segmentos es el diésel. Para los vehículos de dos ejes, se destaca que una proporción importante de vehículos son impulsados por gasolina. Es importante anotar que los energéticos de

bajas y cero emisiones no son utilizados por estos de vehículos. Este tema se abordará más adelante en el documento. En la siguiente figura se muestra la proporción de combustibles utilizados en los diferentes tipos de vehículos de carga.

**Figura 2.44: Tipo de combustibles en el Parque automotor de carga**

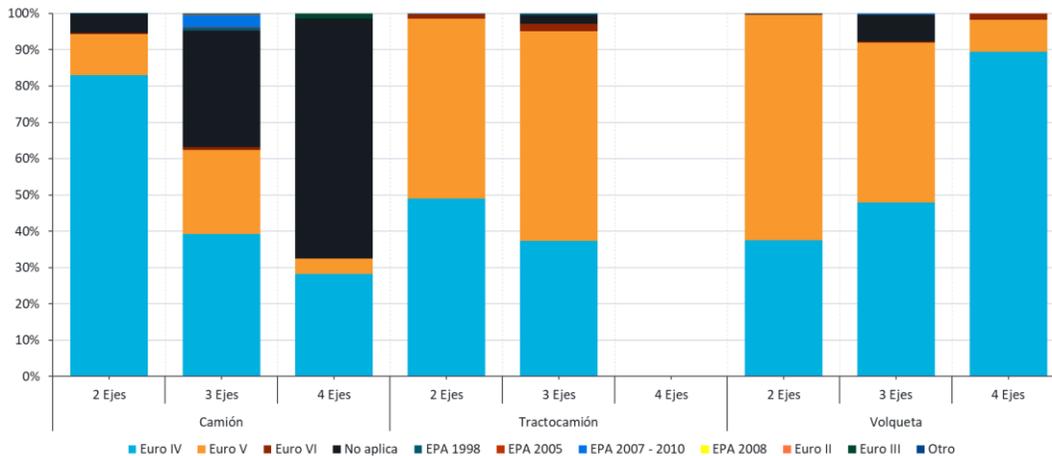


Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

2.68 En la base de datos del RUNT se encuentra que aproximadamente el 4% de los vehículos de carga reportan el estándar de emisiones. Es decir, 14.866 vehículos, cuentan con información en este campo, esto principalmente debido a que este campo comenzó a reportarse en el RUNT hace cinco años. Del análisis de estos vehículos se observa que solo una pequeña cantidad cumple con emisiones Euro VI, que son las más actuales, mientras que los vehículos con estándar Euro IV y V se encuentran en mayor proporción.

2.69 A continuación, se presenta los resultados disponibles en cuando a las normativas de emisiones para los vehículos de carga, discriminado por categoría y cantidad de ejes.

**Figura 2.45: Normativa de emisiones en el parque automotor de carga**

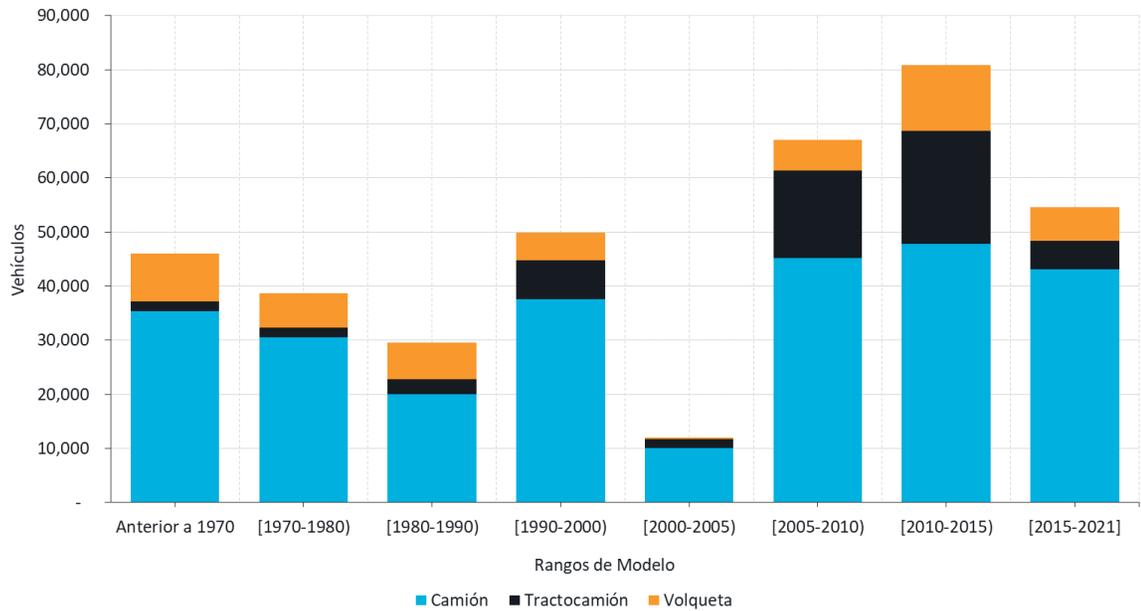


Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

### Edad del parque automotor

2.70 La edad promedio de los vehículos de carga esta alrededor de 23 años, el rango de modelo de vehículo en el cual se encuentra la mayoría del parque automotor de carga es entre el 2005 y 2010, con un total de 80,882 vehículos, lo que equivale a aproximadamente el 21% del total de vehículos de carga registrados en estos años. Adicionalmente, los tractocamiones son la categoría con los vehículos más modernos en el segmento de transporte de carga, mientras que, para las volquetas, el 17% del total de estos vehículos tienen más de 50 años, la edad promedio para los vehículos de esta categoría es de 27.3 años. En la siguiente figura se pueden observar los rangos de los modelos de los vehículos de carga para cada una de las categorías.

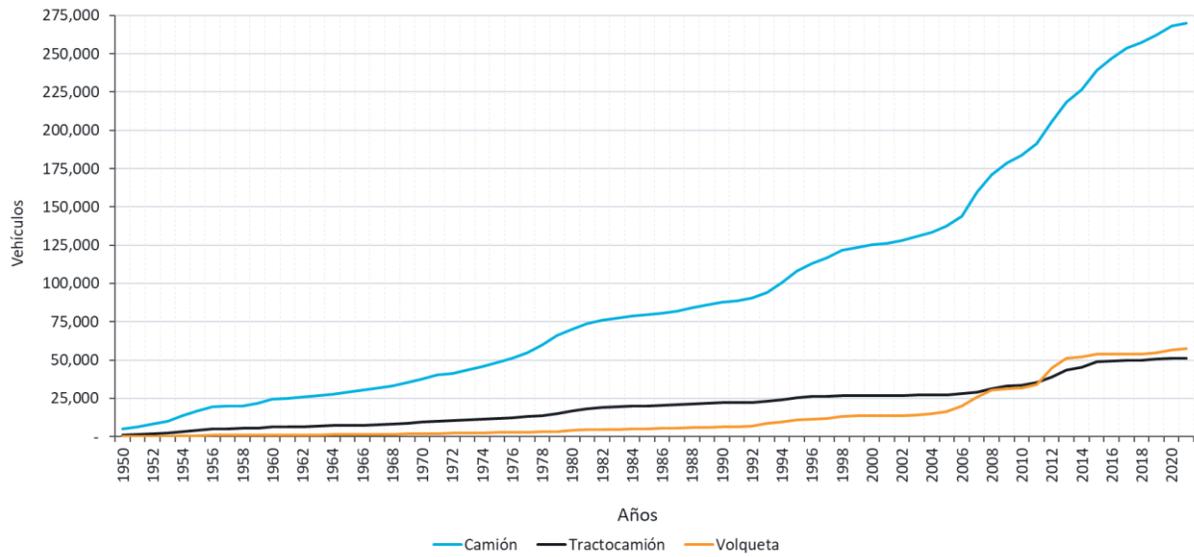
Figura 2.46: Rangos de modelos del parque automotor de carga



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

2.71 A continuación, se presenta el crecimiento acumulado de la cantidad de vehículos de carga en el país. Para efectos prácticos se presenta el crecimiento desde el año 1950, donde se comienza a notar el crecimiento sustancial en los vehículos de carga.

**Figura 2.47: Crecimiento acumulado aproximado del Parque automotor de carga**



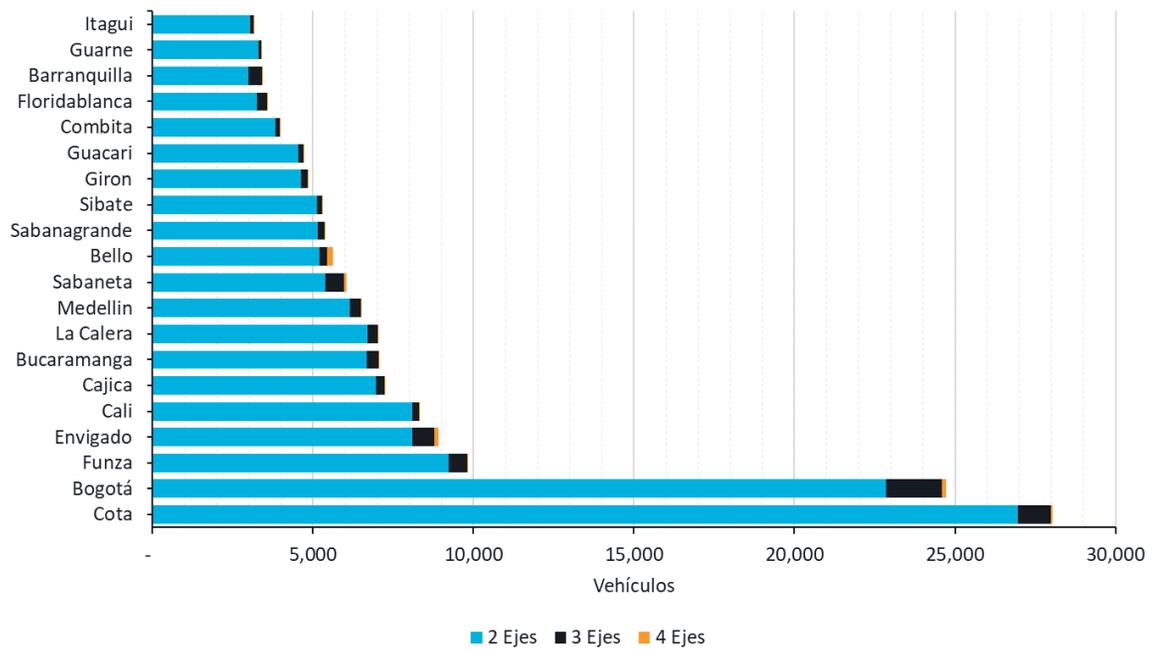
Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT

2.72 En la figura anterior se observa que todas las categorías presentan tasas de crecimiento constantes. La tasa de crecimiento de los camiones presenta un incremento importante desde el año 2005. Adicionalmente, es importante anotar que en el año 2011 el número de volquetas es mayor que el número de tractocamiones, categoría que históricamente había presentado cantidades superiores.

### Ubicación geográfica

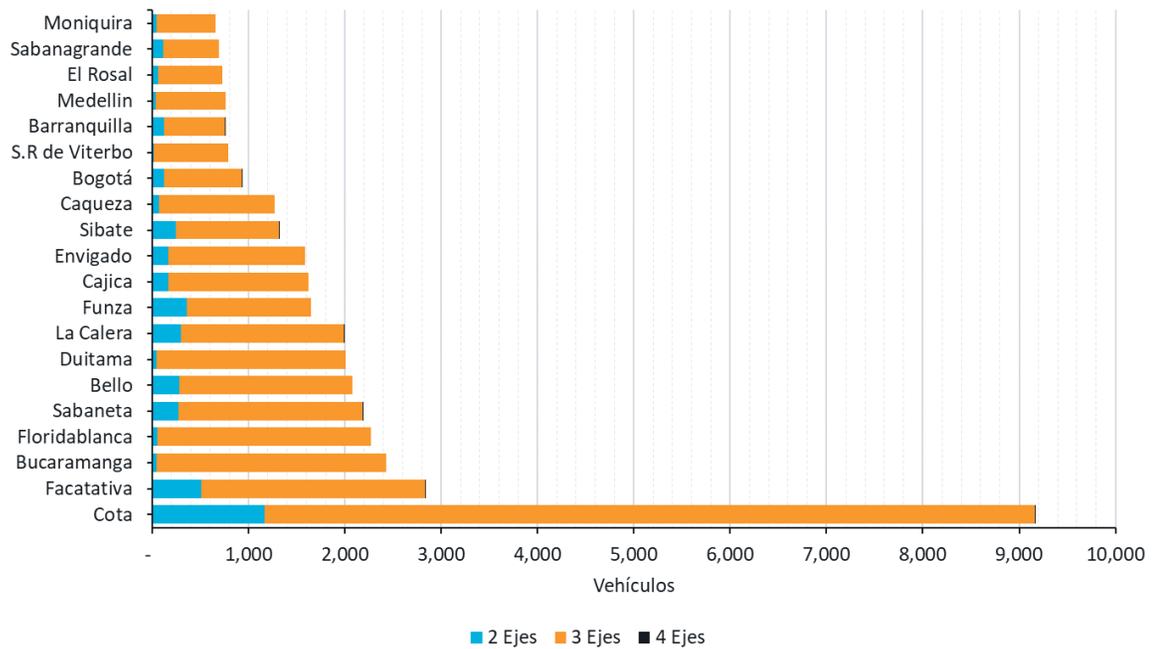
2.73 La ubicación del registro de los vehículos de carga se presenta para los 20 municipios con el mayor número de registros para cada una de las categorías: camión, tractocamión y volqueta. En las siguientes figuras se presentan las distribuciones de ubicación del parque automotor de carga por municipio según categoría y cantidad de ejes de los vehículos.

**Figura 2.48: Ubicación del parque automotor de carga - Camiones**



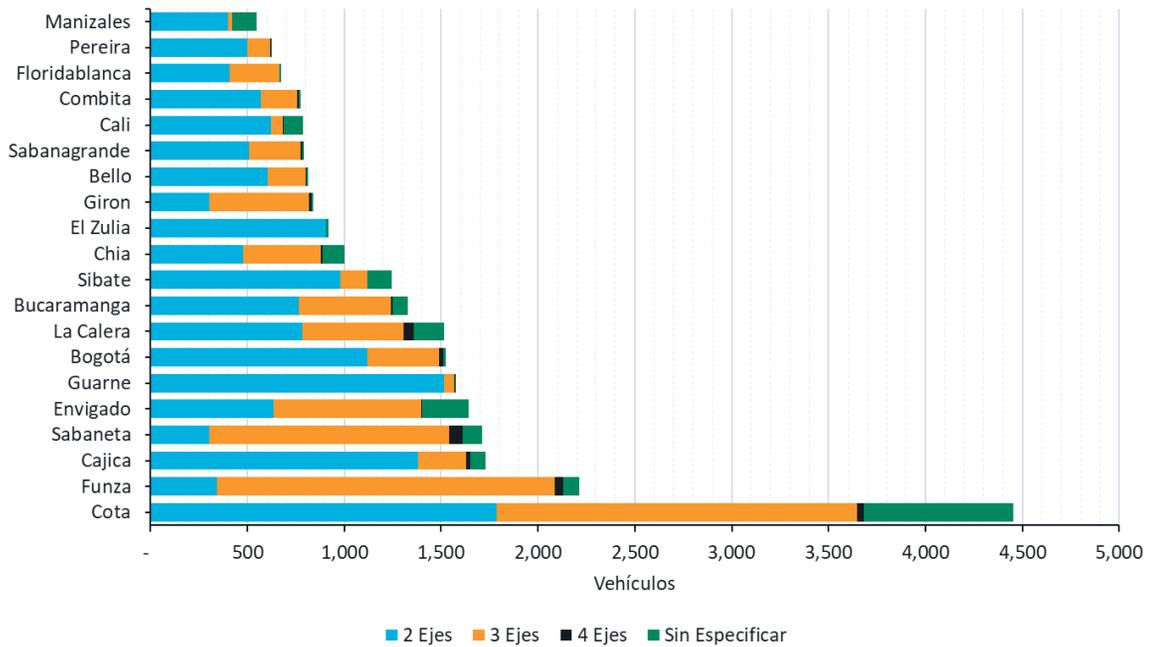
Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

**Figura 2.49: Ubicación del parque automotor de carga – Tractocamiones**



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

**Figura 2.50: Ubicación del parque automotor de carga – Volquetas**



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

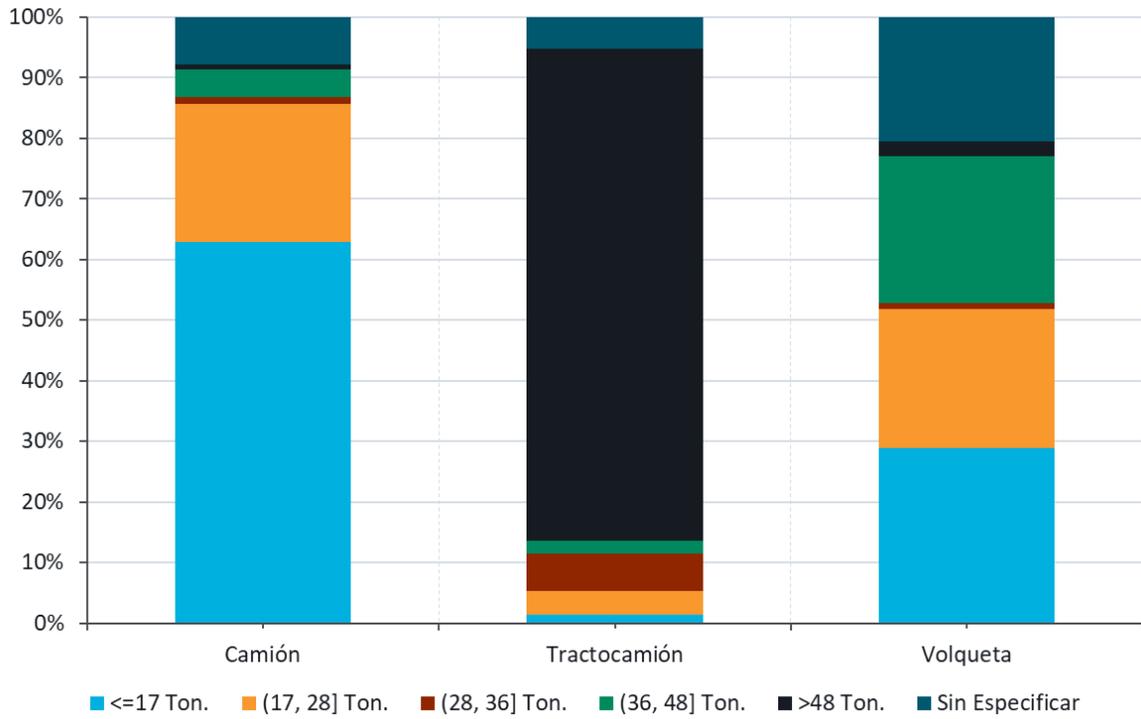
2.74 Se observa que el municipio de Cota es el principal municipio de registro de los vehículos de carga en el país, este municipio lidera los registros de camiones, tractocamiones y volquetas. Se destaca la elevada presencia de registros de camiones en Bogotá, especialmente los de dos ejes. De igual manera se destaca la presencia de los municipios de Funza y Sabaneta dentro de los diez municipios con más registros de vehículos de carga en todo el territorio nacional.

**Capacidad de carga**

2.75 La capacidad de carga de los vehículos se encuentra ligada directamente a otros aspectos operacionales como el tipo de motor, el cilindraje, el tipo de combustible, el peso y las dimensiones del vehículo. En la siguiente figura se presentan los diferentes niveles de capacidad de carga registrados en el RUNT para camiones, tractocamiones y volquetas.

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 | Productos 1 al 6

**Figura 2.51: Niveles de capacidad de carga en el Parque automotor de carga**



Fuente: Steer, 2020. A partir de flota oficial 2020 del RUNT.

## 3 Inventario de tecnologías vehiculares actualmente disponibles a nivel nacional e internacional

- 3.1 En este capítulo se incluye el estudio de mercado de las tecnologías de cero y bajas emisiones disponibles en la actualidad, considerando los energéticos descritos en la resolución 40177 del Ministerio de Minas y Energía. La organización del capítulo consiste en la descripción individual de las diferentes tecnologías disponibles a nivel nacional e internacional, en donde se indica la forma de funcionamiento general del sistema operativo del tipo de tecnología en cuestión, seguido por las características y condicionamientos del uso de diferentes tipos de combustible, después se presentan las cifras de ventas disponibles por tipo de vehículos y combustible a nivel mundial y nacional finalizando cada sección con la descripción detallada de vehículos tipo según el análisis realizado en el capítulo anterior. Al final del capítulo se presenta una matriz de tipo de tecnología, tipo de combustible y tipo de vehículo, donde se evidencian las condiciones de mercado actual a nivel global y nacional identificando qué tipo de vehículos operan con qué tipo de tecnología y combustible. En esta matriz se presentan las características encontradas de los vehículos tipos de manera que pudieran ser comparables
- 3.2 Se realizó la clasificación de las tecnologías vehiculares a partir de los tipos de motores o sistemas de propulsión del vehículo usando diferentes combustibles. Dentro de los combustibles analizados en la clasificación realizada se encuentran los seis combustibles de bajas emisiones considerados por el Ministerio de Minas y Energía, así como los combustibles y las características de estos disponibles en la actualidad, sumado a otros combustibles alternativos con algún nivel de avance tecnológico en vehículos que han sido desarrollados en el mundo. A continuación, se presentan las tecnologías que serán evaluadas y analizadas en este documento.

**Tabla 3.1: Clasificación por tecnologías vehiculares**

Tipo de vehículo	Descripción del funcionamiento
<b>Vehículos con motor de combustión interna</b> <i>ICE</i>	Vehículos capaces de funcionar con combustibles que se mezclan con aire para producir explosiones controladas que activan el sistema mecánico del vehículo para su propulsión (ICE, siglas en inglés). Dentro de los combustibles, o energéticos, más empleados por estos vehículos se encuentran: gasolina, alcoholes carburantes como metanol o etanol, diésel, biodiésel, gas natural vehicular (GNV), gas licuado de petróleo (GLP), hidrógeno de combustión y otros como residuos orgánicos, aire comprimido (motor neumático de funcionamiento similar), etc.
<b>Vehículos con motor eléctrico</b> <i>BEV &amp; FCEV</i>	Dentro de esta categoría se incluyen <u>vehículos eléctricos de batería (BEV, siglas en inglés)</u> y <u>vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV, siglas en inglés)</u> . Los BEV son vehículos con un motor alimentado por energía eléctrica a través de una batería. Por su parte, los FCEV son vehículos con pila de combustible que usa el hidrógeno como fuente de energía, comúnmente se conocen como coches de hidrógeno. Estos vehículos se caracterizan por ser más eficientes que los de motor de combustión convencional ya que presentan menos pérdidas de energía, no produce emisiones ni contaminación acústica y el costo de mantenimiento es menor.
<b>Vehículos híbridos</b> <i>HEV, PHEV, MHEV &amp; E-REV</i>	En esta clasificación se incluyen todos los vehículos que tienen un funcionamiento mixto entre motores de combustión interna y motores eléctricos. Dependiendo la predominancia y funcionalidad de los motores para impulsar al vehículo pueden clasificarse en: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Vehículo microhíbrido eléctrico (MHEV, siglas en inglés)</u>: Son vehículos con motor de combustión interna con un motor de 48 voltios eléctrico que apoya con una adición de potencia en determinadas circunstancias. El motor eléctrico por sí solo no es capaz de impulsar al vehículo.</li> <li>- <u>Vehículo híbrido eléctrico (HEV, siglas en inglés)</u>: Son vehículos que cuentan con un motor de combustión y uno o más eléctricos con batería. El trabajo de impulsar el vehículo se comparte entre las dos fuentes de propulsión de la mejor manera posible según el caso.</li> <li>- <u>Vehículo híbrido eléctrico enchufable (PHEV, siglas en inglés)</u>: Popularmente conocidos como “híbridos enchufables” se encuentran entre los HEV y los BEV. Cuentan con un motor de combustión y uno o varios eléctricos con batería la cual suele ser de mayor capacidad que la de los HEV y por lo tanto requiere ser enchufado para recargarla completamente, ya que el generador a bordo no es capaz de recargarla totalmente.</li> <li>- <u>Vehículo eléctrico de autonomía extendida (E-REV, siglas en inglés)</u>: Son vehículos eléctricos con batería los cuales tienen la adición de un motor de combustión cuya función es alimentar directamente la batería para ampliar su autonomía. El motor de combustión actúa como generador de energía para la batería y no está conectado a la línea de transmisión del vehículo, por lo tanto no influye en su propulsión.</li> </ul>

Fuente: Steer, 2020. Con base a Pritchard (2018), Gutiérrez (2019), Redondo (2019), Espada (2019), EcuRed (s.f.), Motorgiga (2014), Marcelo M. (s.f.) y Rafael & Hernández (2014)

- 3.3 En las siguientes secciones se presenta una descripción más detallada del funcionamiento de las tecnologías vehiculares, así como las características de los combustibles que estos pueden emplear y las tendencias en adquisición y ventas de las diferentes tipologías que usan estas tecnologías en el país y en el mundo.

## Vehículos con motor de combustión interna

### Funcionamiento de los motores de combustión interna

- 3.4 Los motores de combustión son capaces de convertir líquidos y gases inflamables en energía, la cual es transformada en calor y posteriormente en movimiento (Martín, 2019). Los motores de gasolina o diésel se componen de las siguientes piezas:
- **Bloque motor:** Es la pieza principal que da forma a un propulsor. En su interior se encuentran los cilindros, los cuales son los alojamientos donde los pistones suben y bajan. La cilindrada de un vehículo se determina en el bloque de motor, porque es donde se mide el cubicaje mediante la multiplicación de los cilindros por la carrera (distancia que suben y bajan) cada uno de los pistones.
  - **Pistones:** Son los encargados de mover los gases. El vacío que generan en la cámara de combustión llama a la mezcla a su interior para luego comprimirla y aprovechar la fuerza de la explosión. Su movimiento vertical es el que empuja al cigüeñal a través de las bielas y es lo que posteriormente se convierte en la energía que mueve al vehículo. Están tallados en una sola pieza de metal hecha a medida para cada cilindro, pero para conseguir un cierre preciso se añaden en su perímetro los segmentos. La cabeza de los cilindros puede tener diferentes formas para modificar la compresión contra la culata o para dejar hueco a las válvulas cuando están abiertas.
  - **Cigüeñal:** Las bielas se conectan con los pistones a través de bulones y dichas bielas se unen a un solo árbol central llamado cigüeñal. Esta pieza es la encargada de sincronizar el movimiento de los pistones. En motores de cuatro tiempos y cuatro cilindros el orden de encendido es 1-3-4-2. Alternando de esta manera y con ayuda de un volante de inercia colocado en uno de los extremos, el motor consigue girar uniformemente y producir energía de manera regular.
  - **Cárter:** Se encuentra en la parte inferior del motor, atornillada al bloque. Esta pieza es un tipo de bañera en la que descansa el aceite encargado de mantener lubricados y refrigerados todos los componentes internos del motor. Tiene formas específicas para que la gravedad lleve el aceite hasta su parte más profunda, punto desde el que la bomba de aceite absorbe el lubricante para mandarlo a las partes donde se necesite. A su vez, el cárter suele estar realizado en materiales que sean buenos conductores de calor, puesto que así el aceite se refrigera antes de volver a subir a cumplir su misión.
  - **Culata:** La culata es la parte más alta del motor y en ella se encuentra el organismo encargado de poner todo en orden. También conocida como la cabeza de los cilindros, las culatas son la tapa que cierra la cámara de combustión y donde, además, se alojan las válvulas y sus sistemas de accionamiento (árboles de levas). Dichos árboles suelen estar unidos al cigüeñal a través de una correa y giran a la mitad de las revoluciones que el cigüeñal (dos vueltas de cigüeñal por cada vuelta del árbol de levas) para abrir y cerrar las válvulas, los encargados de que la mezcla de combustible entre y salgan los gases de escape.

3.5 Prácticamente todos los motores de combustión que se utilizan para impulsar los vehículos modernos son de cuatro tiempos. Esto significa que cada cilindro necesita completar cuatro fases para conseguir una dosis de energía que será la encargada de mover las ruedas. Los cuatro tiempos de un motor de combustión interna son:

1. **Admisión:** Con el pistón situado en el extremo superior del recorrido, las válvulas de admisión se abren para dejar entrar la mezcla de combustible atraída por el vacío en la cámara de combustión a medida que desciende el pistón y ayudada por la presión de los inyectores.
2. **Compresión:** Con las válvulas cerradas el pistón comienza a subir hasta llegar de nuevo a su extremo superior comprimiendo la mezcla de aire y combustible.
3. **Explosión:** Con la cámara de combustión llena de mezcla y las válvulas aún cerradas se genera una detonación bien iniciada por una chispa eléctrica (bujía en los motores de gasolina) o por la propia auto detonación por compresión (diésel). La fuerza generada por la explosión obliga a bajar al pistón.
4. **Escape:** En el último de los cuatro tiempos del motor es cuando se abren las válvulas de escape y los gases producidos por la detonación se evacúan empujados por la subida del pistón.

3.6 Los motores de dos tiempos se producen en un mismo movimiento ascendente del pistón la admisión y la compresión, realizándose el ciclo de expansión y escape en el movimiento descendente.

#### **Tipos de combustibles empleados en los motores de combustión interna**

3.7 En la actualidad es posible encontrar numerosas variantes de motores de combustión que se pueden clasificar en función de la disposición de número de cilindros o de los combustibles usados (David Plaza, 2020). Según el tipo de combustible empleado estos motores pueden clasificarse de la siguiente manera:

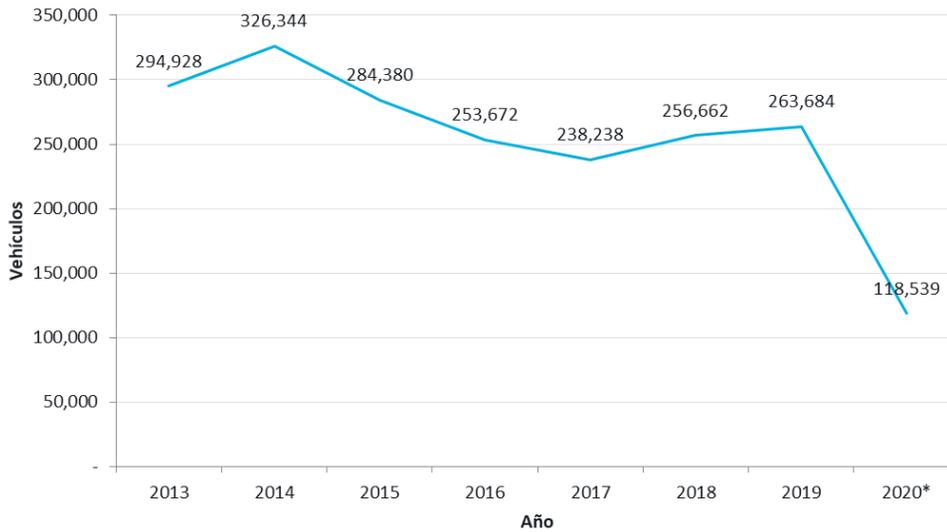
- **Gasolina:** Estos motores requieren de una chispa – generada por la bujía – para encender el combustible, por lo que son denominados motores de explosión. Pueden ser de dos o cuatro tiempos, siendo la segunda opción la más común en vehículos, aunque los de dos tiempos se suelen seguir usando en ciclomotores y maquinas industriales (David Plaza, 2020). Estos motores son igualmente empleados para variaciones de la gasolina como el empleo de mezclas de gasolina con alcoholes.
- **Diésel:** Este tipo de motores utilizan gasóleo, por lo tanto, no puede prenderse con chispa y, por lo tanto, utiliza la presión para encender la mezcla de aire y combustible. Debido a ello, la relación de compresión (número que determina la proporción de compresión de la mezcla dentro del cilindro) es muy superior en estos motores. Los motores diésel suelen ser más eficientes que los de gasolina, aunque como contrapartida requieren sistemas de reducción de emisiones más eficientes. Expulsan más óxidos de nitrógeno (NOx) y generan más carbón negro (hollín) (David Plaza, 2020). Estos motores son igualmente empleados para variaciones del diésel como biodiésel.
- **Gas:** Cada vez es más común ver vehículos que usan gasolina y GNV (gas natural vehicular) o GLP (gas licuado de petróleo). Estos motores que presentan algunas piezas adicionales generan menos óxidos de nitrógeno (David Plaza, 2020).

- **Aire comprimido:** Si bien estos motores presentan mayores variaciones su funcionamiento puede presentar mayor similitud a los de combustión interna que a los eléctricos. Los motores empleados por vehículos con aire comprimido se denominan motores neumáticos y esta tecnología no emite contaminantes debido que su combustible es aire a presión. Estos motores basan su funcionamiento en la compresión del aire y constan de tres ciclos: compresión, inyección y expansión. Este tipo de motor basa su funcionamiento en el siguiente fenómeno, el aire es comprimido aumentando su temperatura y posteriormente al introducirse aire a temperatura ambiente provoca un enfriamiento que a su vez hace que exista un aumento de presión moviendo el pistón. Algunas ventajas de estos motores es que presentan costos de mantenimiento bajos, ninguna emisión contaminante y se puede reaprovechar el aire frío en el sistema de aire acondicionado. Como principal inconveniente de estos motores es el uso de bombonas pesadas para el almacenaje del aire comprimido reduciendo la autonomía, pérdida de potencia y se ve afectado por el clima y humedad. Además, la energía requerida para la compresión del aire es superior a los motores eléctricos (Panadero, 2012).
- **Hidrógeno combustible:** El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo. Hay dos formas de usar el hidrógeno para mover un automóvil: quemándolo o utilizando reacciones químicas para generar electricidad (pila de combustible) (Calero, 2018). En este apartado se hará hincapié en el hidrógeno combustible (quemándolo). Los primeros vehículos que usaron hidrógeno como combustible lo empezaron a inyectar de forma líquida en vehículos con motores a gasolina modificados. Sin embargo, para que el hidrógeno se mantenga en estado líquido requiere temperaturas muy bajas que aumentaba los costos del vehículo e igual no garantizaba la permanencia a largo plazo del hidrógeno. La combustión del hidrógeno se considera muy limpia (vapor de agua), sin embargo, en algunas mediciones se registraron de óxidos de nitrógeno, principalmente debido a la forma de quemarlo más que por el combustible propiamente. Existe otra forma de emplear el hidrógeno combustible es por medio de las microturbinas de gas que funcionan como motores estacionarios y son mucho más eficientes que los motores a combustión (Calero, 2018). Existen vehículos prototipo de estas tecnologías, pero no se conoce disponibilidad en el mercado local.

### **Ventas de vehículos con motores de combustión interna**

- 3.8 Como se presentó en el capítulo anterior, el 92.5% del total del parque automotor del país son vehículos a gasolina, seguido por los vehículos a diésel (6.5%) y los vehículos que usan GNV (0.9%) resultando que el 99.9% del parque automotor activo usa motores de combustión interna.
- 3.9 A partir de las cifras y estadísticas de ANDEMOS (2020) del sector automotor, en lo referente a las ventas anuales de vehículos en el país presentadas en la siguiente figura, se identificó que entre el 2013 y 2019 se vendieron en promedio cerca de 274,000 vehículos. Sin embargo, se han presentado variaciones anuales siendo el 2014 el año donde más vehículos nuevos entraron a circular al país seguido por una tendencia a la baja hasta el 2017, con una posterior estabilización parcial previo al año 2020. La pandemia del COVID-19 ha afectado significativamente el comportamiento “normal” de adquisición de vehículos siendo 36% menos al mismo periodo del año inmediatamente anterior.

**Figura 3.1: Evolución anual del sector automotriz en ventas de vehículos (sin motos) en Colombia**



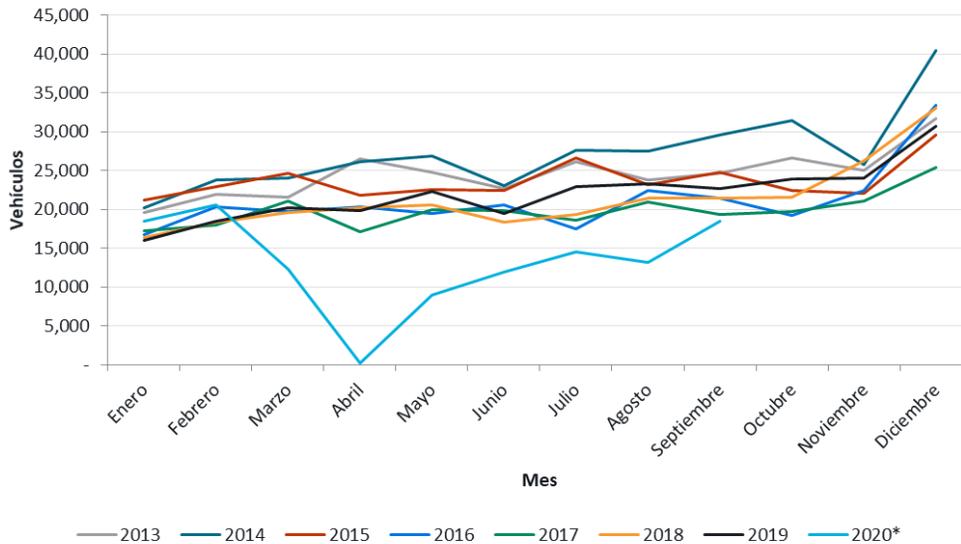
Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

Nota: No incluye motos

2020\*: Valores parciales con corte a septiembre

3.10 La siguiente figura presenta la evolución mensual de ventas de vehículos diferentes a motocicletas para los mismos años presentados previamente:

**Figura 3.2: Evolución anual del sector automotriz (sin motocicletas) en Colombia**



Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

Nota: No incluye motocicletas

2020\*: Valores parciales con corte a septiembre

3.11 En la figura anterior puede evidenciarse que el mes de más ventas suele ser diciembre. Además, a pesar de que el 2020 registra ventas considerablemente inferiores a los años pasados venía con

una tendencia creciente en los meses de enero y febrero en comparación con el año 2019. A partir de marzo, con el inicio de la emergencia sanitaria las ventas empezaron a caer registrándose en el mes de abril la venta de únicamente 217 vehículos en todo el país. Los meses más recientes a partir de julio tienden a un aumento paulatino aproximándose a las ventas registradas en el 2017, lo que podría llevar a pensar que el sector se está normalizando nuevamente (ANDEMOS, 2020).

3.12 De acuerdo con la información de ANDEMOS (2020) de vehículos vendidos en lo corrido del 2020 los vehículos adquiridos son en su mayoría del segmento *motocicleta*, seguido por *automóvil*, *utilitario*, *comercial de carga <10.5t*, *pick up*, *taxi*, *comercial pasajeros*, *van*, terminado con *comercial de carga >10.5t* (ANDEMOS, 2020).

3.13 En cuanto a las marcas de los vehículos más vendidos por segmento vehicular y combustible empleado se encontró lo siguiente:

**Tabla 3.2: Vehículos de combustión más vendidos en el 2020 por marca y combustible en Colombia**

Segmento vehicular	Combustible	Marca
Motocicleta	Gasolina	Bajaj
	Diésel	Piaggio
	Gas-gasolina	Dongben*
Automóvil	Gasolina	Renault
	Diésel	Peugeot
	GNV y gas-gasolina	Renault
Utilitario	Gasolina	Renault
	Diésel	Toyota
	GNV y gas-gasolina	Fiat
Taxi	Gasolina	Kia
	Diésel	Chevrolet*
	GNV y gas-gasolina	Hyundai
Pick up	Gasolina	Renault
	Diésel	Toyota
	Gas-gasolina	Toyota
Van	Gasolina	Chevrolet
	Diésel	Nissan
	GNV	IVECO*
Microbús	Diésel	Renault
Buseta	Diésel	Chevrolet
Bus	Diésel	Scania
	GNV	Scania
Camión pequeño (<10.5t)	Gasolina	Changan
	Diésel	Chevrolet
	GNV y gas-gasolina	Nissan

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 | Productos 1 al 6

Segmento vehicular	Combustible	Marca
Camión	Diésel	Hino
Tractocamión	Diésel	Kenworth
	GNV	Kenworth
Volqueta	Diésel	International

\* Solo se ha vendido un vehículo de este tipo en lo corrido de 2020.

Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

3.14 El consumo energético por tipo de vehículo y combustible se presenta a continuación:

**Tabla 3.3: Rendimientos en consumo energético vehículos con motores a combustión interna**

Segmento vehicular	Combustible	Rendimiento [kJ/km]
Automóvil	Diésel	1,863
	Gasolina	2,025
	Gas natural	1,549
Camioneta	Diésel	2,402
	Gasolina	2,612
	Gas natural	1,998
Motocicleta	Diésel	925
	Gasolina	1,005
	Gas natural	769
Bus	Diésel	6,996
	Gasolina	7,605
	Gas natural	5,818
Microbús	Diésel	2,327
	Gasolina	2,530
	Gas natural	1,935
Camión	Diésel	8,072
	Gasolina	8,775
	Gas natural	6,713
Tractocamión	Diésel	7,418
	Gasolina	8,065
	Gas natural	6,170

Fuente: Steer (2020) con base en el *Primer balance de energía útil para Colombia y cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética* (UPME, 2018)

3.15 Se incluye como anexo la tabla con la información de referencia de los vehículos de combustión interna más frecuentes en el parque automotor del país.

## Vehículos con motor eléctrico

### Funcionamiento de los motores eléctricos

- 3.16 De acuerdo con Murias (2018), los motores eléctricos es una invención más antigua que los motores de combustión interna. Gracias a Michael Faraday, quien descubrió que el magnetismo produce electricidad a través del movimiento y proporcionó las bases de la teoría del electromagnetismo. Con los experimentos de Faraday se descubrió en 1831 la inducción electromagnética con la cual fue posible construir generadores. El primer motor de corriente continua fabricado y patentado fue el de Thomas Davenport (patente de 1837), mientras que la paternidad del motor de corriente alterna está disputada entre Galileo Ferraris, Michail Ossipowitsch Doliwo-Dobrowolski y Nikola Telsa, siendo la primera patente, la de Nikola Tesla (1887) (Murias, 2018).
- 3.17 Los motores eléctricos usan la rotación electromagnética descubierta por Faraday: dos imanes se rechazan o atraen en función de cómo alineamos sus polos. En estos motores, se usa la electricidad para crear campos magnéticos que se opongan entre sí, de este modo la parte giratoria, llamada rotor, se mueve frente a la parte estática, llamada estator. El rotor posee un cableado, llamado bobina, cuyo campo magnético es opuesto al del estator, que crea un magnetismo longitudinal fijo gracias a inductores o imanes permanentes. Así, con cada uno un campo magnético opuesto, el rotor empieza a girar dentro del estator. Cuando los polos del rotor y estator se alinean, el motor se debería detener. Para que el rotor siga girando en el estator (cuya polaridad es también fija) es necesario invertir la polaridad de los imanes del rotor. Esto se consigue porque las bobinas del rotor están conectadas a un colector rotativo. Éste permite mantener fija la dirección transversal del magnetismo mientras el rotor gira. De este modo, los magnetismos, entre estator y rotor, nunca están alineados y el rotor sigue girando (Murias, 2018).
- 3.18 Existen dos grandes familias de motores eléctricos, los motores síncronos y motores asíncronos. Los motores síncronos pueden funcionar como motores o como generadores. El motor síncrono de corriente alterna se caracteriza por una velocidad de rotación directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. El motor síncrono, utiliza el mismo concepto de un campo magnético giratorio producido por el estator, pero ahora el rotor consta de electroimanes, o de imanes permanentes, que giran sincrónicamente con el campo del estator. Su velocidad de rotación es constante. El motor asíncrono (o de inducción) es un tipo de motor eléctrico de corriente alterna. El motor asíncrono está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: de jaula de ardilla o bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí  $120^\circ$  en el espacio. Cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión eléctrica en el rotor. Este tiene barras de conducción en todo su largo, incrustadas en ranuras a distancias uniformes alrededor de la periferia y conectadas con anillos (en cortocircuito) a cada extremidad del rotor. Entonces se da el efecto Laplace (o efecto motor): todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el efecto Faraday (o efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión. De ahí que puedan funcionar como motores o bien como generadores (Murias, 2018).

3.19 Estos motores presentan grandes ventajas sobre los motores de combustión interna. Para comenzar los componentes y piezas son diferentes, siendo menos exigentes para el caso de los eléctricos (Love Sharing, 2020) aumentando la vida útil teórica, al mismo tiempo debido a que su funcionamiento es distinto estos motores presentan una mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía conectada, reduciendo las pérdidas por vibraciones y por calentamiento, esto podría extender más la vida útil además de reducir las exigencias y costos de mantenimiento. Como principal desventaja podrían mencionarse la falta de capacidad técnica y tecnológica para la revisión y mantenimiento de estos vehículos, pero en otros países se ha logrado superar esta barrera satisfactoriamente.

3.20 Entre las partes principales del sistema de un vehículo eléctrico se encuentran (Love Sharing, 2020):

- **Batería o pila de combustible de hidrógeno:** Hace la parte de depósito de combustible en una analogía con vehículos de combustión. Es el elemento de almacenamiento de la energía eléctrica que se transmite al motor eléctrico para el funcionamiento del automóvil.
- **Motor y freno regenerativo:** Es el encargado de transformar la energía eléctrica en mecánica y mover el vehículo. Además, los motores eléctricos pueden invertir su trabajo y generar energía eléctrica cuando el automóvil lo impulsa durante una frenada o retención.
- **Reductor de velocidad y diferencial:** Equivale a la caja de cambios de una única velocidad fija y consiste en una caja de engranajes que obtiene el eje del motor eléctrico, disminuye su velocidad de giro y reparte la fuerza entre los ejes de salida, los palieres que transmiten la fuerza de giro de forma directa a las ruedas.
- **Sistema regulador:** Se encarga de gestionar los flujos de corriente entre las baterías y el motor en doble sentido. Está compuesto por diferentes elementos que generan un calor residual producto de cierta pérdida energética. Para impedir el sobrecalentamiento se necesita un sistema de ventilación y refrigeración para mantener la temperatura idónea.
- **Inversor:** Convierte electricidad proveniente de una fuente de corriente continua en corriente alterna para mover el motor eléctrico a través de un sistema interruptor electrónico que hace que la corriente extraída de la batería cambia su polaridad cíclica y regularmente.
- **Rectificador:** Realiza la función opuesta al inversor, convierte la corriente alterna originada en el motor a corriente continua para almacenarla en la batería nuevamente.
- **Transformador:** Entre el motor y la batería hay una diferencia de voltaje importante. Generalmente los motores eléctricos trabajan a 600V, mientras que las baterías lo hacen a 200V. De este modo es necesario un sistema que rectifique y cambie las frecuencias y armonice los voltios.
- **Controlador:** Este sistema computarizado recibe órdenes del conductor al acelerar o frenar y supervisa y coordina los elementos anteriores.

#### **Tipos de combustibles o fuentes de alimentación empleados en los motores eléctricos**

3.21 El empleo de motores eléctricos de acuerdo con el tipo de combustible puede dividirse en dos: vehículos de corriente eléctrica (BEV) y vehículos de pila combustible de hidrógeno (FCEV).

- **BEV:** Los vehículos eléctricos cuentan con muchas ventajas, entre las cuales se encuentran: no produce contaminación atmosférica en la operación, no produce contaminación acústica, ahorro en mantenimiento, dependiendo el modelo se presenta ahorro de espacio público,

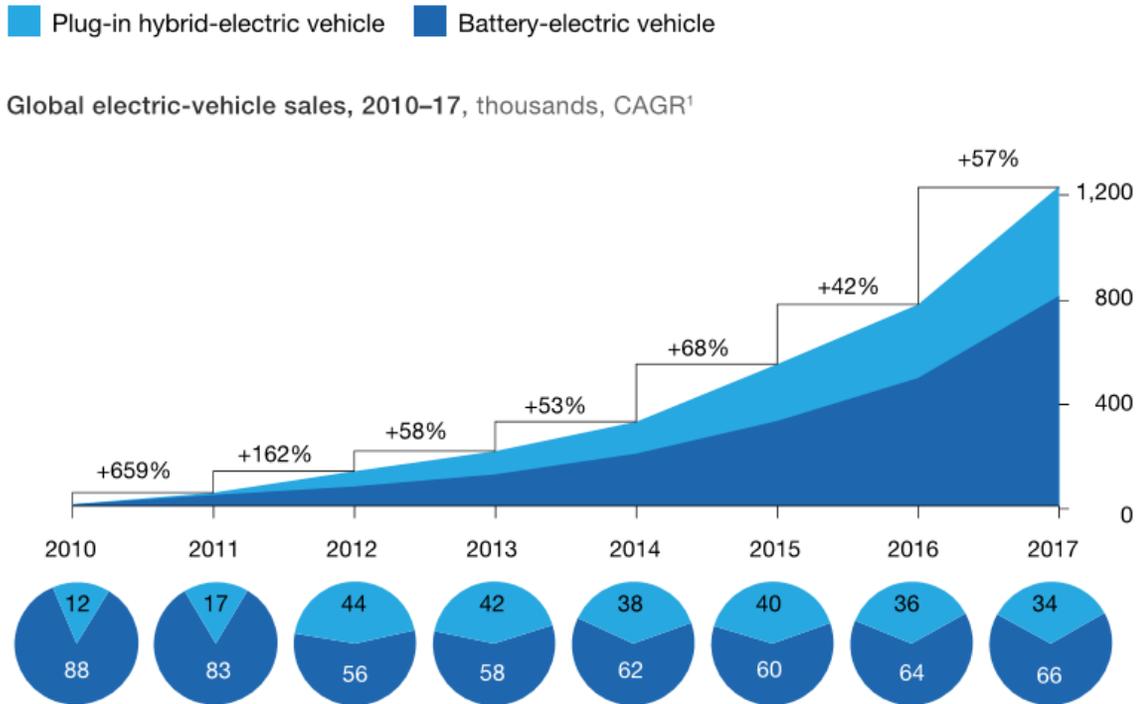
mayor eficiencia (90%), además de otras especificaciones como el frenado regenerativo, menor costo de operación por el coste de la energía, y suelen tener mayor torque que los vehículos de combustión lo cual favorece a la aceleración y la conducción con altas pendientes. Sin embargo, a la fecha de producción de este reporte, estos vehículos también presentan algunos inconvenientes: menos autonomía, menor oferta de puntos de recarga, mayor precio de adquisición del vehículo, vida útil de las baterías, falta de capacidad técnica especializada para el mantenimiento y reparaciones, origen de la energía eléctrica (si la matriz energética proviene de la quema de petróleo o carbón la reducción de emisiones puede no ser real), la velocidad de carga en la red pública y privada que puede tomar desde 5 a 30 min (carga rápida) hasta 5 y 8 horas (carga lenta) (V2C, 2020) (Terránea, 2019) (Bayona, 2019) (Vendrell, 2017).

- **FCEV:** Desde hace algunos años se ha venido anunciando la llegada de vehículos de hidrógeno con pila combustible (FCEV), los cuales constan de un sistema de celdas de combustible en una pila, un tanque de fibra de carbono capaz de almacenar hidrógeno a presión de 750 bar y una pequeña batería de iones de litio, la cual no debe tener mucha capacidad, pero sí ser muy potente para responder a los requerimientos de potencia del motor o de los motores eléctricos y que sea capaz de almacenar rápidamente la energía de las frenadas y desaceleraciones. Este empleo del hidrógeno no requiere de explosión por lo que se reducen las emisiones y se vuelve mucho más seguro que los tanques de gasolina. Sin embargo, pierden su capacidad energética de explosión. En la actualidad los sistemas de hidrógeno más habituales utilizan una membrana de intercambio de polímero fino (PEM) intercalada entre un cátodo de platino y un ánodo además de dos placas por las que fluye el hidrógeno que conforma cada celda. Por un lado, el hidrógeno se introduce a través de las placas de flujo, en el lado del ánodo, mientras que el aire, como fuente de oxígeno, se bombea a través del lado del cátodo. Los protones de hidrógeno son atraídos a través de la membrana hacia el oxígeno, produciendo agua, y dejando atrás los electrones de hidrógeno que crean una corriente eléctrica que se extrae a un circuito externo (García, La tecnología de la pila de hidrógeno está lista, el transporte pesado es su baza, 2019).

### **Ventas de vehículos con motores eléctricos**

- 3.22 El mercado de los vehículos eléctricos en el mundo está expandiéndose cada vez más, en el 2018, por ejemplo, se vendió un 78% más de este tipo de vehículos respecto al 2017 que ya presentaba una tendencia al alza (Compromiso con el Planeta, 2019). Este mercado cada vez se posiciona más y se puede evidenciar en la siguiente figura donde se comprueba el crecimiento continuado del sector desde el 2010 (McKinsey & Company, 2018):

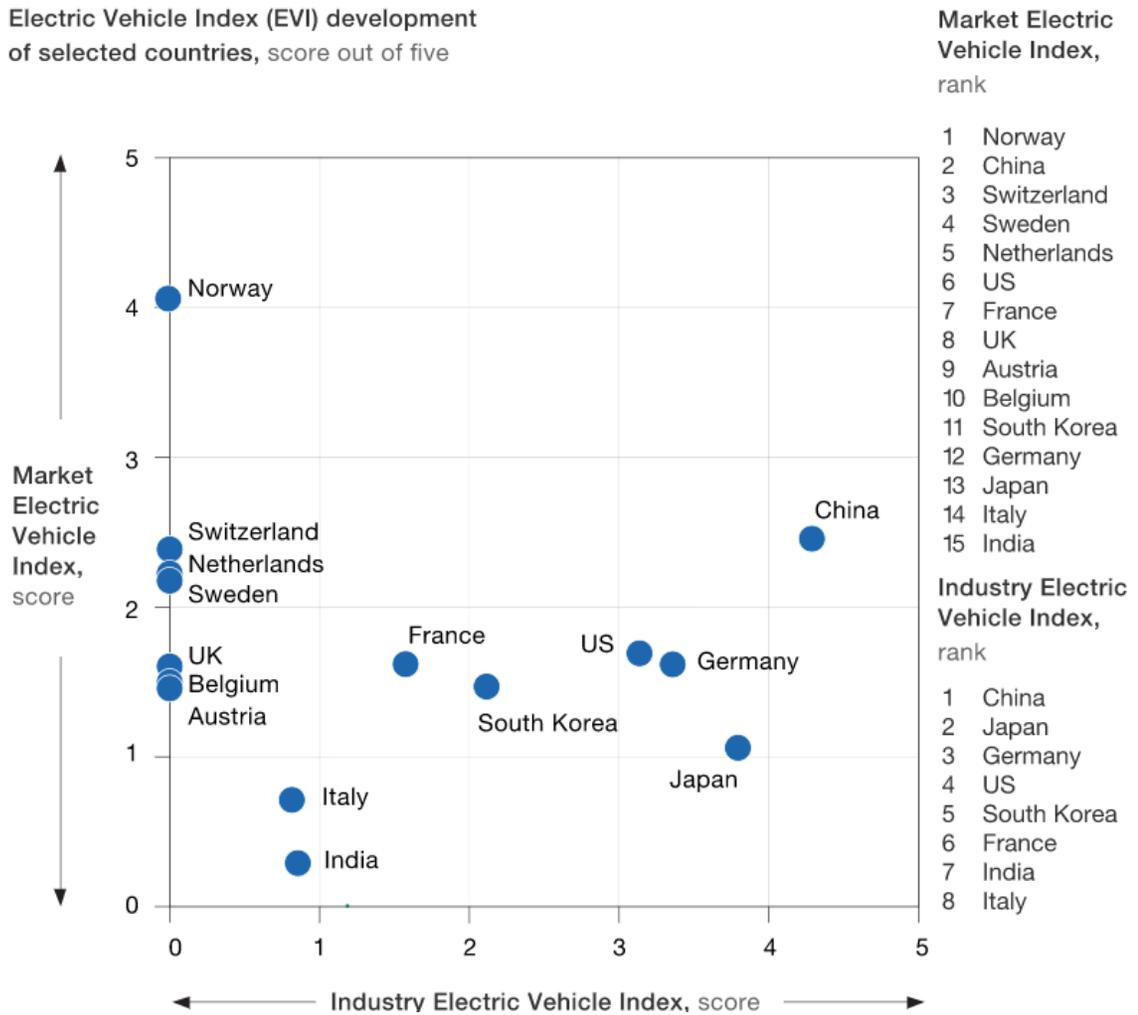
**Figura 3.3: Ventas de vehículos eléctricos en el mundo. 2010 – 2017**



Fuente: McKinsey & Company (The global electric-vehicle market is amped up and on the rise, 2018)

3.23 Gran parte de las ventas que se han presentado en el mundo se han concentrado en algunos países, siendo China el que acumula hasta el 54% del total de ventas (2010 – 2017) seguido por Estados Unidos, en términos de valores absolutos. No obstante, se ha identificado la participación de los países en la producción y el desarrollo de estos y de las tecnologías que los alimentan. En este sentido, la clasificación utilizada por McKinsey ubica a los países más involucrados tanto en el mercado como en la industria siendo Noruega, China, Suiza, Suecia y Holanda los países con los mayores índices de mercado y nuevamente China, seguido de Japón, Alemania, Estados Unidos y Corea del Sur los países con mayores índices de industria. Esto puede verse sintetizado en la siguiente figura.

Figura 3.4: Resultados de la clasificación McKinsey del mercado de vehículos eléctricos en el mundo



Fuente: McKinsey & Company (The global electric-vehicle market is amped up and on the rise, 2018)

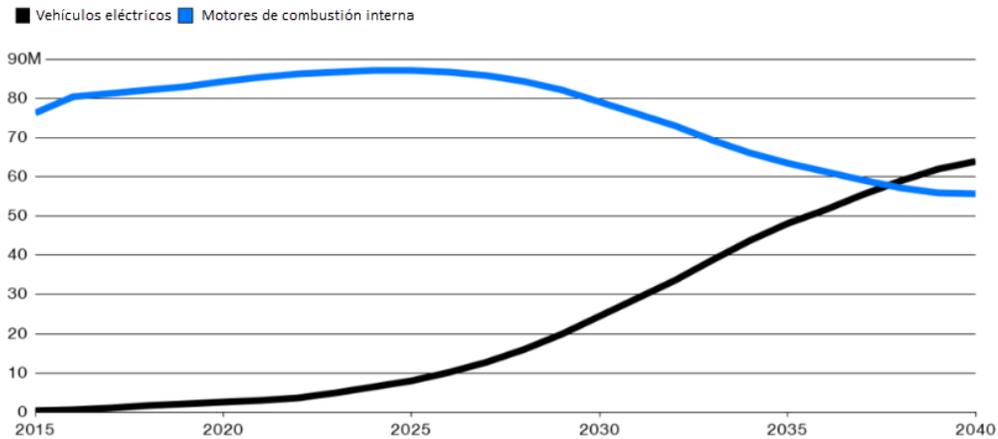
3.24 Se espera que las ventas de vehículos eléctricos a nivel mundial superen a las ventas de vehículos propulsados con combustibles fósiles en la medida que los precios de las baterías de estos se reduzcan, cambiando radicalmente toda la industria automotriz global. De acuerdo con los pronósticos de Bloomberg New Energy Finance (BNEF), la adopción de los vehículos libres de emisiones se dará porque el costo de la manufactura automotriz está descendiendo con gran rapidez (Bloomberg, 2018). El cambio provocará para el 2040, según esta fuente, la tercera parte del parque automotor de autos con conexión, desplazando el consumo de cerca de 8 millones de barriles diarios en la producción petrolera. A continuación, se presentan los resultados de ventas comparativas entre vehículos eléctricos y motores de combustión interna de los pronósticos del BNEF:

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 | Productos 1 al 6

**Figura 3.5: Pronóstico ventas de vehículos eléctricos hasta el 2040**

**En carril de alta velocidad**

Las ventas de vehículos eléctricos sobrepasarán a las ventas de motores de combustión interna para 2038.



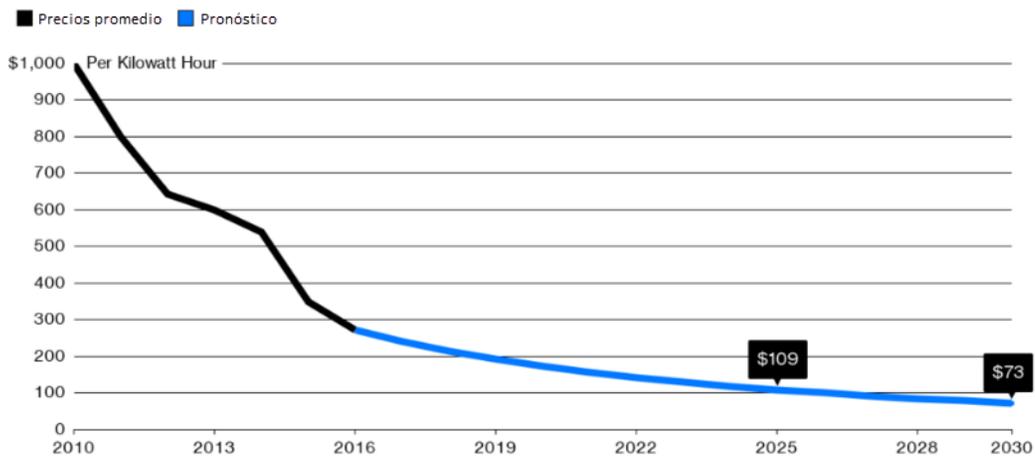
Fuente: Bloomberg New Energy Finance

Fuente: Bloomberg (La revolución del auto eléctrico está acelerando, 2018)

3.25 El pronóstico anterior se ve respaldado por el aumento de inversiones en baterías de iones de litio, una mayor capacidad de manufactura de compañías como Tesla Inc. y Nissan Motor Co., así como el crecimiento de la demanda de consumidores desde China hasta Europa. Con esto, el pronóstico de la BNEF del precio de una batería de litio hasta el 2030 está dado por la siguiente figura.

**Figura 3.6: Pronóstico precio de baterías para vehículos eléctricos. 2010 – 2030**

Una mayor eficiencia implicará que una batería que en 2010 costaba US\$1,000 en 2030 costará US\$73.



Fuente: Bloomberg New Energy Finance

Fuente: Bloomberg (La revolución del auto eléctrico está acelerando, 2018)

3.26 A nivel mundial las empresas que se han venido posicionando en la producción y en la venta de vehículos eléctricos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 3.4: Top empresas en mercado de vehículos eléctricos**

Top	Ventas 2018	Ventas 2019*
1	Tesla	Tesla
2	BYD	BYD
3	BAIC	BAIC
4	BMW	SAIC
5	Nissan	BMW
6	Roewe	Nissan
7	Chery	Geely
8	Hyundai	Volkswagen
9	Renault	Hyundai
10	Volkswagen	Kia

Nota: Hasta julio de 2019. Con base en Insideevs (Global EV Sales In July 2019: Growth Almost Stalled, 2019)

Fuente: Steer, 2019. Con base en Insideevs 2018 – 2019.

3.27 De acuerdo con EV Trader (2020), en el mundo hay cerca de 290 empresas de automóviles eléctricos, 91 de motocicletas eléctricas, 118 de autobuses eléctricos, 34 de camiones eléctricos y 1,597 de otros vehículos eléctricos (EV Trader, 2020). Por categoría se encontró el siguiente panorama de empresas de vehículos eléctricos e híbridos en 2019:

**Tabla 3.5: Principales empresas de vehículos eléctricos por categoría vehicular en 2019.**

Top	Automóvil	Motocicletas	Buses	Camiones
1	Tesla Motors	Yadea	Zhengzhou Yutong Bus Co. Ltd.	Dongfeng Motor Corporation
2	Nissan Motor	AIMA	BYD Company Limited	Hino Motors
3	BYD	Lvyuan	Zhongtong Bus & Holding Company Limited	Daimler (Mitsubishi Fuso)
4	BMW	Sunra	Solaris Bus & Coach S.A.	PACCAR Inc.
5	Volkswagen	TAILG	Proterra Inc.	Isuzu
6	Toyota	Lima	Dongfeng Motor Corporation	Navistar International Corporation
7	Ford	BYVIN	Anhui Ankai Automobile Co. Ltd.	Renault Trucks
8	Volvo	Zongshen Electric Motorcycle	Zhuhai Yinlong New Energy Ltd.	BDY Auto Co. Ltd.

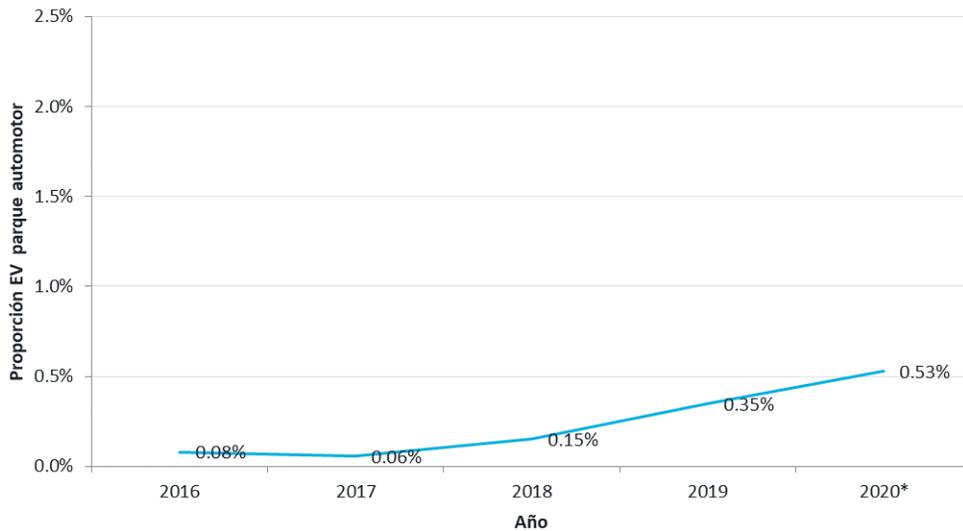
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6

Top	Automóvil	Motocicletas	Buses	Camiones
9	Daimler	Wuyang Honda	Nanjing Golden Dragon Bus Co. Ltd.	Smith Electric Vehicles
10	Hyundai	HONG ER DA	Futian Ouhui Bus	Zenith Motors

Fuente: Steer, 2019. A partir de Research and Markets (Electric Bus Market by Vehicle Type, by Hybrid Powertrain, by Length, by Customer, by Country - Global Market Size, Share, Development, Growth, and Demand Forecast, 2013-2025, 2018) (Electric Truck Market - Growth, Trends, And Forecast (2019 - 2024), 2019) (Electric Vehicle Market by Vehicle (Passenger Cars & Commercial Vehicles), Vehicle Class (Mid-priced & Luxury), Propulsion (BEV, PHEV & FCEV), EV Sales (OEMs/Models) Charging Station (Normal & Super) & Region - Global Forecast to 2030, 2019) y Market Watch (Electric Motorcycles & Scooters Market 2019 Global Industry Forecasts Analysis, Company Profiles, Competitive Landscape and Key Regions Analysis Available at 360 Research Reports, 2019)

3.28 En Colombia con corte a septiembre de 2020, el 0.06% del parque automotor está constituido por vehículos eléctricos. Estos vehículos no son muy abundantes en el país, pero han venido cobrando fuerza e importancia en el sector automotriz en el último lustro. La siguiente gráfica presenta el porcentaje de participación de los vehículos eléctricos en las ventas anuales del sector automotriz. Es destacable que el sector de vehículos eléctricos presenta un crecimiento continuado en la participación lo que pueda implicar un mercado futuro muy importante en el país.

Figura 3.7: Participación anual en ventas de EV (sin motos)



Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)  
 Nota: No incluye motos  
 2020\*: Valores parciales con corte a septiembre

3.29 De acuerdo con la información pública de ANDEMOS se puede afirmar que en Colombia la totalidad de los vehículos eléctricos son del tipo BEV, ya que no circulan aun vehículos de pila combustible de hidrógeno. En el 2020, el segmento vial que más ventas ha registrado de vehículos eléctricos es el *automóvil*, seguido por *motocicleta*, *comercial de carga <10.5t*, *utilitario (SUV)*, *comercial de pasajeros*, *van*, *pick up* y *taxi*. Las marcas más frecuentes en la venta de vehículos eléctricos por segmento vial son:

**Tabla 3.6: Vehículos eléctricos más vendidos por marca en Colombia**

Segmento vial	Marca
Automóvil	Renault
Utilitario (SUV)	BYD
Motocicleta	Starker
Comercial de carga <10.5t	Stark
Comercial de pasajeros	Sunwin
Van	Renault
Pick up	JAC
Taxi	BYD

Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

3.30 El consumo energético por tipo de vehículo y combustible se presenta a continuación:

**Tabla 3.7: Rendimientos en consumo energético vehículos eléctricos**

Segmento vehicular	Rendimiento [kJ/km]
Automóvil	750
Camioneta	969
Motocicleta	281
Camión	4,375

Fuente: Steer (2020) con base en el *Primer balance de energía útil para Colombia y cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética* (UPME, 2018)

3.31 Se incluye como anexo la tabla con la información de referencia de los vehículos eléctricos más frecuentes en el parque automotor del país.

## Vehículos híbridos

### Funcionamiento de los vehículos híbridos

3.32 Los vehículos híbridos pueden clasificarse basado esencialmente en la arquitectura. Hay tres tipos principales de configuración de vehículos híbridos en la industria: configuración serie, configuración en paralelo y configuración en serie-paralelo. Las diferencias que separan a los HEV en estas categorías divergen en el diseño del flujo de energía desde las fuentes de energía hasta la transmisión (Cardoso, Fael, & Espírito-Santo, 2019).

- **Configuración en serie:** En los HEV de serie se coloca un generador en serie con el ICE, produciendo energía eléctrica a uno o más motores eléctricos para la tracción del vehículo. Esta configuración HEV no permite la conexión mecánica directa entre el motor de combustión interna y las ruedas propulsoras. En consecuencia, el motor de combustión interna se puede controlar independientemente de la demanda de potencia del vehículo y cerca de su región de máxima eficiencia. Los HEV de serie tienden a tener un funcionamiento de motor de alta eficiencia. Este beneficio se ve rápidamente superado por el hecho de que a

menudo requieren baterías muy potentes y costosas, con una alta densidad de energía para funcionar. Se necesitan baterías potentes porque en la mayoría de los casos, el motor puede tener que producir el 50% de la demanda total de energía requerida.

- **Configuración en paralelo:** En esta configuración tanto el ICE como el motor eléctrico (EM, siglas en inglés) pueden trabajar de forma independiente o conjunta para proporcionar tracción. En esta configuración, el ICE está conectado mecánicamente a la transmisión, mientras que el EM se utiliza para apoyar al ICE durante las aceleraciones. Dependiendo de la potencia del EM, también se puede utilizar como fuente de potencia única del vehículo en ralentí y durante los arranques. La posibilidad de un flujo de energía directo desde el ICE a las ruedas permite que el HEV paralelo cambie al punto de operación más eficiente utilizando el ICE.
- **Configuración en serie-paralelo:** Esta configuración requiere dos motores eléctricos. Uno actúa como generador y el otro actúa como motor. La conexión entre el generador y el ICE se realiza mediante un dispositivo de división de energía planetaria, este dispositivo permite que el vehículo funcione como HEV en paralelo y HEV en serie. La configuración serie-paralelo ofrece la ventaja y posibilidad de tener el ICE desacoplado de la transmisión del vehículo, lo que posibilita que el vehículo se alimente únicamente con los motores eléctricos. Esto también ofrece la posibilidad de operar el ICE en torno a su máxima eficiencia.

3.33 De acuerdo con Cardoso et al (2019), las configuraciones en paralelo y serie-paralelo, por su reducido peso, tamaño y costo son las más utilizadas. Esta configuración presenta una mejor perspectiva de desarrollo y se está generalizando. Estas dos configuraciones se pueden clasificar según el grado de hibridación. El grado de hibridación depende de la potencia suministrada por el motor de combustión interna y el motor eléctrico. La más común es aquella en la que el ICE es la fuente de energía más poderosa y el motor eléctrico solo se enciende cuando se necesita un impulso, pero se puede utilizar otra estrategia de gestión, como que tanto el ICE como el motor eléctrico comparten cargas iguales, o HEV solo puede funcionar con el sistema de motor eléctrico (Cardoso, Fael, & Espírito-Santo, 2019).

3.34 El grado de hibridación es la relación entre la potencia desarrollada por un motor eléctrico en un vehículo híbrido y la potencia total consumida por la hibridación del vehículo. Según el grado de hibridación los vehículos se pueden clasificar como microhíbridos (Micro-HEV), semihíbridos (Mild-HEV), híbrido completo (HEV), híbrido enchufable (PHEV) o eléctrico de autonomía extendida (E-REV).

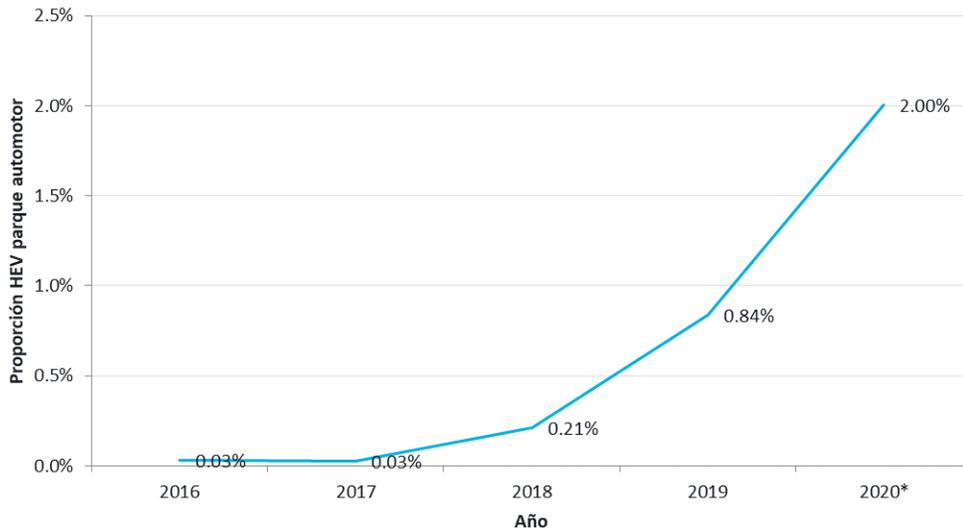
- **Micro-HEV:** tienen un grado de hibridación inferior al 5%. El motor eléctrico, en forma de un pequeño arrancador / generador integrado, se utiliza para apagar el motor cuando el vehículo se detiene por completo y arrancarlo cuando el conductor suelta el pedal del freno. Una vez en movimiento, el vehículo es impulsado por ICE y el EM no proporciona un par adicional al vehículo, la eficiencia del combustible aumenta entre un 5 y un 10% con el uso de este sistema (Cardoso, Fael, & Espírito-Santo, 2019).
- **Mild-HEV:** Son muy similares a los Micro-HEV, pero con un tamaño aumentado del EM de hasta un 10% de la potencia del ICE y una batería que permite la asistencia de potencia durante la propulsión del vehículo. Los aumentos típicos de eficiencia de combustible para los Mild-HEV se encuentran en el rango del 20% al 30% para situaciones de manejo real en comparación con un vehículo no híbrido (Cardoso, Fael, & Espírito-Santo, 2019).

- **HEV:** El EM y las baterías son significativamente más grandes que los de los Micro-HEV y los Mild-HEV, por lo que, dependiendo de la demanda de energía del vehículo, el motor eléctrico se puede utilizar como única fuente de energía. En comparación con los dos anteriores, los HEV completos tienen motores de combustión mucho más pequeños y requieren sistemas de gestión de energía más sofisticados. Los aumentos típicos de la eficiencia de combustible para los HEV completos son alrededor del 30% al 50% para la conducción real en comparación con un vehículo no híbrido (Cardoso, Fael, & Espírito-Santo, 2019).
- **PHEV:** Poseen esencialmente la misma configuración que los HEV completos, pero con la adición de un enchufe de carga de la red eléctrica externa, componentes eléctricos mucho más grandes (motor eléctrico y batería) y un motor de combustión de tamaño pequeño. Debido a los componentes eléctricos de alta capacidad, los PHEV pueden funcionar con energía eléctrica durante largos períodos de tiempo (Cardoso, Fael, & Espírito-Santo, 2019).
- **E-REV:** Estos suelen tener configuración en serie o podría presentarse el caso que sea en serie-paralelo. Cuentan con una mecánica compuesta también por un motor de combustión de gasolina y otro —o varios— eléctricos. La diferencia con los anteriores es que el motor de combustión no mueve en ningún caso las ruedas del coche. Funciona como un generador eléctrico que recarga una batería, que, a su vez, alimenta el motor eléctrico que se encarga de mover las ruedas. Además, esta batería tiene la posibilidad de conectarse a la red para ser recargada. Cuando la batería tiene suficiente carga el motor de gasolina se encuentra parado y el vehículo se mueve sin emisiones. Cuando la batería requiere energía se pone en marcha el motor de combustión para recargarla y mover el motor eléctrico. Son vehículos tecnológicamente complejos por lo que los modelos en el mercado que la utilizan este sistema son escasos. Su autonomía eléctrica, la disponible antes de que tenga que arrancar el motor de combustión, suele ser mayor que la de los híbridos enchufables, puesto que su batería es mayor, pero menor que la de los eléctricos puros (García, Tipos de vehículos eléctricos: funcionamiento y características de cada tecnología, 2018).

### Ventas de vehículos híbridos

- 3.35 Con corte a agosto de 2020, el 0.03% parque automotor activo en el país son vehículos híbridos. No obstante, similar al caso de los vehículos eléctricos se ha presentado cada vez más una mayor participación en las ventas anuales de este tipo de vehículos, incluso superando a los vehículos completamente eléctricos. La siguiente gráfica representa el porcentaje de participación en ventas de los vehículos híbridos en el país. Se destaca un crecimiento más acelerado que los vehículos eléctricos, siendo de hasta cuatro veces mayor en el 2020, dando indicios que este mercado automotriz podría ser más importante en el futuro.

**Figura 3.8: Participación anual en ventas de vehículos de HEV y PHEV**



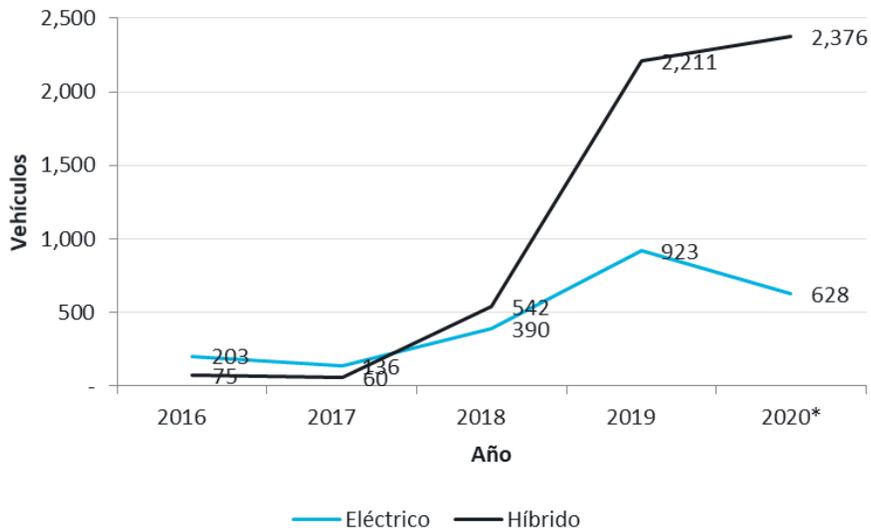
Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

Nota: No incluye motocicletas

2020\*: Valores parciales con corte a septiembre

- 3.36 Cuando se analiza la venta de vehículos eléctricos e híbridos se encuentra que, si bien antes del 2017 los vehículos eléctricos tenían una mayor proporción de participación en el mercado, a partir del 2018 se ha presentado una tendencia en la cual los vehículos híbridos participan más. Esto es importante teniendo en cuenta que, de igual manera, cada año se venden más vehículos eléctricos y por tanto muchos más híbridos. Faltando aún tres meses, en el 2020 ya se vendieron más vehículos híbridos que en el año inmediatamente anterior. Lo anterior cobra mayor importancia teniendo en cuenta que este año se presentó una afectación en el sector debido a la emergencia sanitaria y que históricamente el mes de diciembre es el que suele presentar mayores cantidades de vehículos vendidos. Las siguientes dos figuras ilustran las ventas de los vehículos eléctricos e híbridos en el país.

**Figura 3.9: Ventas anuales totales de vehículos eléctricos (BEV) e híbridos (HEV y PHEV)**

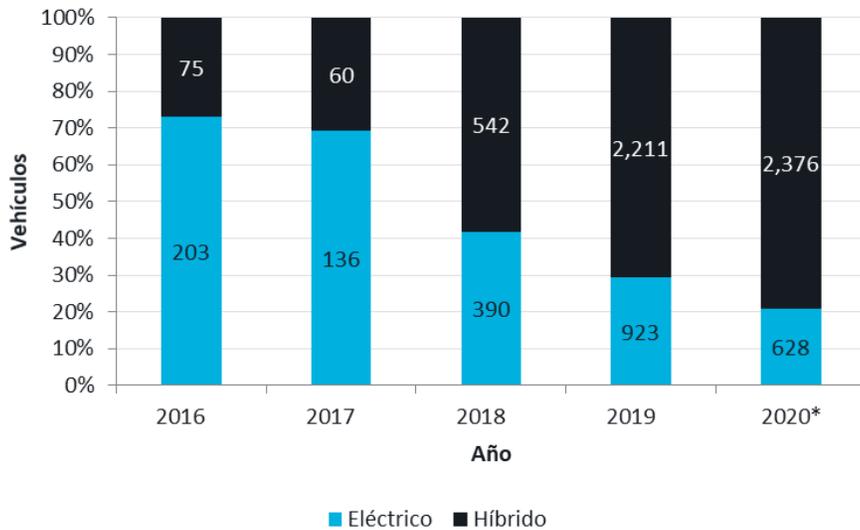


Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

Nota: No incluye motos

2020\*: Valores parciales con corte a septiembre

**Figura 3.10: Comparación porcentual ventas anuales totales de vehículos eléctricos (BEV) e híbridos (HEV y PHEV)**



Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

Nota: No incluye motos

2020\*: Valores parciales con corte a septiembre

3.37

En Colombia, con la información disponible públicamente, no se han identificado vehículos clasificados como Micro-HEV, Mild-HEV o E-REV. Sin embargo, con la información disponible en la página de ANDEMOS los segmentos viales más importantes en ventas de vehículos híbridos son *utilitario (SUV), automóvil, comercial carga <10.5t, pick up y taxi*. La siguiente tabla presenta las marcas con más vehículos híbridos vendidos por segmento vial.

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 | Productos 1 al 6

**Tabla 3.8: Vehículos híbridos más vendidos por marca en Colombia**

Segmento vial	Tipo	Marca
Automóvil	HEV	Toyota
	PHEV	BMW
Utilitario	HEV	Kia
	PHEV	Mercedes Benz
Comercial de carga <10.5t	HEV	Hino
Pick up	HEV	RAM
Taxi	PHEV	FAW

Fuente: Steer a partir de ANDEMOS (2020)

- 3.38 Se incluye como anexo la tabla con la información de referencia de los vehículos híbridos más frecuentes en el parque automotor del país.

## 4 Perspectivas de la oferta de tecnologías de cero y bajas emisiones en el mediano plazo

- 4.1 En este capítulo se presenta la revisión y análisis de las perspectivas de oferta de tecnologías de cero y bajas emisiones que podrían estar disponibles en el mediano plazo distinguiendo los periodos de tiempo en los que estarían disponibles, identificadas mediante estudios realizados o en desarrollo (posibles desarrollos).
- 4.2 Los datos presentados se basan en información secundaria pública, por lo tanto, los análisis no pretenden ser una descripción exhaustiva del desarrollo de todas las tecnologías vehiculares y planes de fabricantes en el corto y mediano plazo. Por el contrario, en este capítulo se presenta la visión general del sector automotor y los desarrollos más significativos y de mayor impacto en la industria.
- 4.3 Al igual que en el capítulo anterior el análisis de tecnologías vehiculares se realiza para el tipo de motor y de energéticos utilizados en el sector transporte y que según la Resolución 40177 del Ministerio de Minas y Energía son los que se clasificación como energéticos de bajas y cero emisiones en el país. Es importante mencionar que actualmente la industria automotriz se encuentra en el proceso de desarrollo de vehículos autónomos y vehículos conectados, lo cual supone una disrupción importante en el sector. Estos desarrollos no se presentan en este capítulo, sin embargo, se aclara que, la tendencia del sector indica que estos desarrollos se realizan en vehículos con motores eléctricos.
- 4.4 A continuación, se presenta el panorama general del sector automotriz, luego se presenta un análisis de disponibilidad tecnológica para posteriormente realizar un análisis específico para los desarrollos tecnológicos de cada tipo de motor.

### Panorama general del sector automotriz

- 4.5 De acuerdo con el reporte más reciente de *Energy Technology Perspectives*<sup>1</sup>, publicado en septiembre de 2020 por la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) y según lo estimado en el Escenario de Desarrollo Sostenible<sup>2</sup>, en el cual se establecen los principales

---

<sup>1</sup> <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>

<sup>2</sup> En su reporte de *Energy Technology Perspectives*, la IEA desarrolla dos escenarios para describir las posibles trayectorias del desarrollo de tecnologías energéticas en los próximos 50 años. El Escenario de Desarrollo Sostenible establece los principales cambios que se necesitarían para alcanzar los objetivos de

cambios que serían necesarios para alcanzar los objetivos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, las perspectivas del sector transporte son:

- Para 2070, el 30% de las necesidades energéticas finales en el sector del transporte se satisfacen con electricidad (1% en 2019), los biocombustibles proporcionan el 36% (3% en 2019), y el amoníaco, el hidrógeno y los combustibles sintéticos casi una cuarta parte de la demanda energética del transporte.
- Una mayor eficiencia energética genera importantes avances en la intensidad energética, la cual para vehículos livianos se reduce casi a la mitad entre 2019 y 2040. Específicamente para automóviles, vehículos comerciales livianos y minibuses se aprovechan las ganancias de eficiencia derivadas de la mejora de los motores, de la masificación de los vehículos híbridos y mejoras en el diseño y materiales de los vehículos.
- El consumo de energía eléctrica es el que más aumenta en el sector transporte, duplicándose para el 2070.
- El hidrógeno se convierte en un energético importante en la década del 2020.
- La mayor parte del parque automotor estará descarbonizado para el 2070, sin embargo, el transporte de carga interurbana seguirá generando emisiones debido a las dificultades técnicas de la descarbonización para este segmento vehicular.

4.6 Bajo este panorama general a nivel mundial es posible inferir que a mediano plazo las tecnologías vehiculares estarán dominadas por vehículos híbridos, eléctricos y de hidrógeno. Sin embargo, para los camiones se espera una transición más lenta hacia tecnologías de cero y bajas emisiones, resaltando mejoras en las tecnologías hoy disponibles para mejorar la eficiencia energética y emisiones contaminantes de este tipo de vehículos.

4.7 Adicionalmente, es importante mencionar que las inversiones en investigación y desarrollo del sector automotriz se están concentrando en soluciones dedicadas a tecnologías de cero y bajas emisiones. Por ejemplo, en Europa se invierten aproximadamente 57.400 millones de euros anuales en investigación y desarrollo, siendo este sector el mayor contribuyente privado de Europa a la innovación. La Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA), la cual representa a los 16 principales fabricantes de automóviles, camionetas, camiones y autobuses con sede en Europa, está comprometida con aportar para cumplir con las siguientes metas de la Unión Europea<sup>3</sup>:

- Para el 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> de los nuevos vehículos de pasajeros tendrán que ser reducidas en más del 60% con respecto a la línea de base de 2005;
- Las emisiones de los vehículos comerciales ligeros tendrán que disminuir en un 31% entre 2021-2030.

---

desarrollo sostenible de las Naciones Unidas relacionados con la energía. La trayectoria de las emisiones en el Escenario de desarrollo sostenible es coherente con el logro de cero emisiones mundiales netas de CO<sub>2</sub> alrededor de 2070. El Escenario de Políticas Estatales tiene en cuenta los compromisos de política energética y climática ya asumidos o anunciados por los países, incluidas las contribuciones determinadas a nivel nacional en el marco del Acuerdo de París. El Escenario de Políticas Declaradas proporciona una línea de base a partir de la cual se evalúan las acciones y medidas políticas adicionales necesarias para lograr los objetivos energéticos y ambientales clave incorporados en el Escenario de Desarrollo Sostenible.

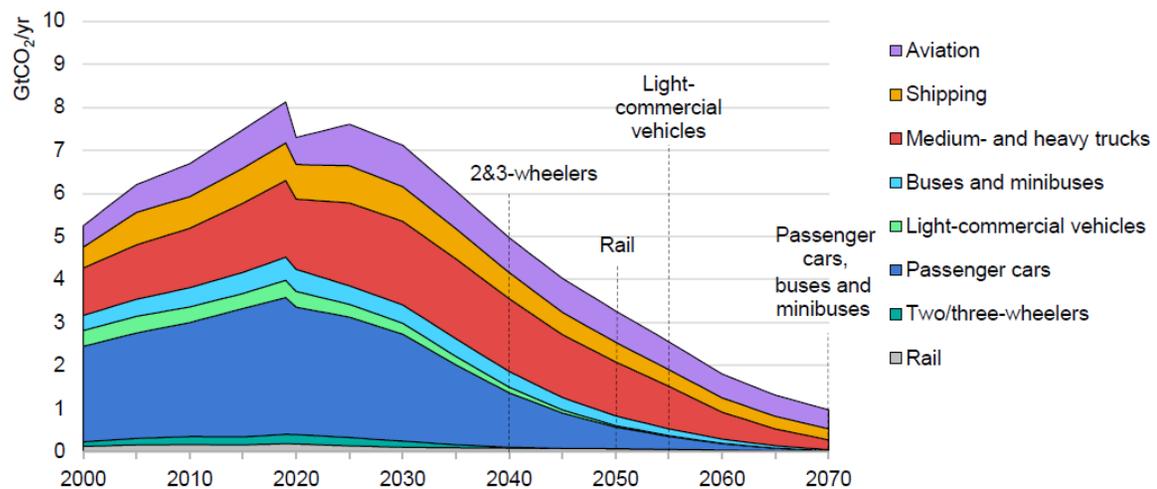
<sup>3</sup> [https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA\\_10-point\\_plan\\_European\\_Green\\_Deal.pdf](https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_10-point_plan_European_Green_Deal.pdf)

- Se espera una reducción del 30% para los vehículos pesados para 2030 en comparación con la línea de base (aún desconocida) de 2019.

4.8 De acuerdo con lo estimado por la IEA, en el Escenario de Desarrollo Sostenible, las emisiones mundiales directas de CO<sub>2</sub> derivadas del uso de combustibles fósiles en el sector del transporte se reducen en casi un 90%, pasando de 8,1 Gt en 2019 a 1 Gt en 2070.

4.9 Esto refleja principalmente un cambio generalizado hacia los vehículos eléctricos impulsados por electricidad descarbonizada. Casi todas las emisiones residuales en 2070 proceden del transporte de mercancías por carretera, la navegación marítima y la aviación, donde el cambio a combustibles y tecnologías alternativos sin carbono es particularmente difícil. En la siguiente figura se observa la proyección global de emisiones de CO<sub>2</sub> del sector transporte.

Figura 4.1: Emisiones globales de CO<sub>2</sub> en el sector transporte por modo en el Escenario de Desarrollo Sostenible



IEA 2020. All rights reserved.

Fuente: Energy Technology Perspectives, International Energy Agency, 2020.

- 4.10 En la figura anterior las líneas punteadas indican el año en que cada segmento vehicular deja de consumir combustibles fósiles en grandes cantidades y, por lo tanto, ya no contribuye a las emisiones directas de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de combustibles fósiles.
- 4.11 Las motos y motocarros, que generalmente tienen una vida útil corta, reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> a casi cero para el 2040, con las nuevas ventas de estos vehículos completamente electrificados en la década de 2030.
- 4.12 Los vehículos comerciales ligeros cambian a corto plazo a la electricidad y más tarde a las celdas de combustible alimentadas con hidrógeno cuando los requerimientos operacionales del vehículo son mayores a los tradicionales. Flotas grandes y servicios de logística, como el de Amazon, DHL, FedEx y UPS cambian primero ya que están en la mejor posición para hacer uso de los datos y para hacer inversiones iniciales en motores eléctricos eficientes. En general, los vehículos comerciales ligeros cambian a electricidad más rápidamente que los vehículos privados, alcanzando las emisiones netas de cero en la década de 2050.

- 4.13 Los vehículos livianos de pasajeros ven la mayor caída en las emisiones de CO<sub>2</sub> en términos absolutos en el período hasta el 2040 mientras los vehículos eléctricos avanzan rápidamente. Las ventas de vehículos eléctricos híbridos alcanzan un pico de alrededor del 15% del total de vehículos a principios de la década de 2030, y el mercado de vehículos híbridos enchufables alcanza su máximo nivel más tarde en la misma década. Debido a que el rendimiento de las baterías para vehículos eléctricos aumenta, los vehículos híbridos son desplazados por vehículos completamente eléctricos en la década de 2050, esta transición tecnológica es liderada por China, la Unión Europea y Japón, países en los cuales la venta de vehículos tradicionales de combustión interna llega a su fin en la década de 2040. Sin embargo, otros países siguen vendiendo automóviles convencionales hasta 2060. Para 2070, los vehículos eléctricos constituyen casi el 90% del total de la flota de vehículos de pasajeros y los vehículos eléctricos de pila de combustible otro 10%, y la parte restante, muy pequeña, de los automóviles convencionales que aún se encuentran en la flota tiene en su mayoría más de una década de antigüedad. Mientras tanto, la intensidad energética de los automóviles y otros vehículos ligeros disminuye gracias a las medidas de eficiencia de los vehículos.
- 4.14 Para 2070, cerca de dos tercios de los buses son de batería eléctrica y un cuarto son impulsados por hidrógeno (autobuses eléctricos de pila de combustible de hidrógeno). Los requerimientos operacionales de los buses hacen que el uso de buses eléctricos sea menos práctico debido a su baja densidad de energía y sus largos tiempos de recarga, por lo tanto, estos vehículos siguen dependiendo del diésel y los biocombustibles durante un período más largo en las proyecciones, sin embargo la electrificación con celdas de combustible, baterías y/o carga dinámica puede convertirse en competitiva en el tiempo, como en el caso de los camiones regionales y de larga distancia.
- 4.15 Lo anterior indica que la transición, a nivel mundial, hacia tecnologías de cero emisiones en el sector transporte, está dividida en dos grandes grupos. El primer son los vehículos livianos, en los cuales la tendencia muestra que en la próxima década los vehículos híbridos y eléctricos tendrán una alta participación en el mercado, y luego a más largo plazo los vehículos de celdas de combustible se comercializarán y masificarán. El segundo grupo son los vehículos pesados (camiones y buses), en los cuales se proyecta una transición más lenta debido a la disponibilidad tecnológica, por lo tanto, en el corto y mediano plazo estos vehículos seguirán siendo de combustión interna, sin embargo, si se presentarán mejoras, las cuales están dadas principalmente por mejoras en la calidad de los combustibles.

### **Análisis de disponibilidad tecnológica**

- 4.16 El desarrollo de una nueva tecnología y su exitosa comercialización es generalmente un proceso largo. Las tecnologías pasan por un proceso en el cual evolucionan desde un concepto hasta un prototipo, luego se demuestran a escala y, si tienen éxito, se adoptan y comercializan más ampliamente. Una forma de estimar en qué punto se encuentra el desarrollo de una nueva tecnología es utilizando el Nivel De Madurez Tecnológica (TRL por sus siglas en inglés *Technological Readiness level*).
- 4.17 Originalmente el TRL fue desarrollado por la NASA en los años 70 y ha sido utilizado en varias agencias del gobierno de EE. UU. desde los años 90, el TRL proporciona una visión general en el tiempo del nivel de madurez de una tecnología dada dentro de una escala definida. El TRL se

aplicó por primera vez fuera de la industria aeroespacial para evaluar proyectos financiados por la Unión Europea como parte del programa marco 2020. Actualmente es ampliamente utilizado por instituciones de investigación y desarrolladores de tecnología en todo el mundo para establecer prioridades de investigación y diseñar programas de apoyo a la innovación.

- 4.18 La escala proporciona un marco común que puede aplicarse de forma coherente para evaluar y comparar la madurez de las tecnologías en cualquier los sectores. El proceso tecnológico comienza desde el punto en que se definen sus principios básicos (TRL 1). A medida que el concepto se desarrolla, la tecnología pasa a un nivel TRL 2, llegando a TRL 3 cuando se ha llevado a cabo un experimento que prueba el concepto. La tecnología entra entonces en la fase en la que el propio concepto debe ser validado, a partir de un prototipo desarrollado en un entorno de laboratorio (TRL 4), hasta las pruebas en las condiciones en las que se desplegará (TRL 5-6). La tecnología pasa a la fase de demostración, donde se prueba en el mundo real (TRL 7), alcanzando finalmente una primera demostración comercial (TRL 8) en su camino hacia la exitosa operación comercial en el entorno correspondiente (TRL 9).

Figura 4.2: Escala de nivel de madurez tecnológica

Concepto	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>TRL 1.</b> Idea inicial (Principios básicos estudiados)</li><li>• <b>TRL 2.</b> Concepto tecnológico formulado</li><li>• <b>TRL 3.</b> Validación del concepto (prueba de concepto experimental)</li></ul>
Prototipo	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>TRL 4.</b> Prototipo a pequeña escala (tecnología validada en laboratorio)</li><li>• <b>TRL 5.</b> Prototipo a gran escala (tecnología validada en entorno relevante)</li></ul>
Demostración	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>TRL 6.</b> Prototipo completo a escala (tecnología demostrada en un entorno relevante)</li><li>• <b>TRL 7.</b> Demostración pre-comercial (demostración de prototipo en entorno operacional)</li></ul>
Producción	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>TRL 8.</b> Primer sistema comercial de su clase (Sistema completo y cualificado)</li><li>• <b>TRL 9.</b> Operación comercial (Tecnología disponible comercialmente)</li></ul>

Fuente: Adaptado por Steer a partir de Energy Technology Perspectives (IEA, 2020) y Oficina Europea de I+D, 2020

- 4.19 En el presente documento se analizan las tecnologías que se encuentren en las siguientes categorías: prototipo, demostración y producción. Cada tipo de tecnología se asigna a una de estas categorías a partir del nivel de madurez de los diseños o componentes tecnológicos individuales que se asocian actualmente con esa tecnología.
- 4.20 En la siguiente tabla se presenta la visión general del desarrollo de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones con su respectivo nivel de madurez.

**Tabla 4.1: Nivel de madurez de tecnologías vehiculares**

Nivel de madurez	Tecnología	Descripción
Concepto	Baterías de iones multivalentes	El concepto propuesto para esta tecnología es utilizar un material en el que cada átomo activo constitutivo sea capaz de transportar más de un electrón. Los elementos comúnmente estudiados para este concepto son el magnesio, el calcio y el aluminio. Estos ofrecen el potencial para una densidad de energía muy alta y para alejarse de la dependencia del litio y otros materiales escasos. La tecnología está todavía en las primeras etapas de desarrollo.
	Baterías de litio-aire	En este concepto el oxígeno del aire actúa como cátodo y el litio como ánodo. Esta combinación de materiales ofrece una densidad energética teórica del mismo orden de magnitud que los combustibles líquidos. Sin embargo, hay varias barreras técnicas que impiden que el diseño alcance una densidad tan alta. Si bien en teoría esta tecnología es muy prometedora su viabilidad técnica aún está por demostrarse.
	Baterías de sodio-ion	El principio de funcionamiento y los componentes de la mayoría de las baterías de Na-ion propuestas son bastante similares a los de Li-ion; sólo difiere el material conductor (sodio en lugar de litio). Se han desarrollado prototipos a nivel celular en laboratorios, y algunos emprendimientos están trabajando en su desarrollo.
Prototipo	Baterías de litio-sulfuro	Esta batería utiliza el litio como ánodo y material de transferencia de electrones, mientras que el cátodo está hecho de azufre. Este concepto ofrece la perspectiva de lograr una densidad de energía muy alta y no requiere materiales catódicos costosos, ya que el azufre es un material de bajo costo. Esta tecnología tiene una larga historia de desarrollo, pero actualmente se están intensificando los esfuerzos para desarrollar baterías para aplicaciones comerciales en el sector transporte. Los principales proyectos para el desarrollo de esta tecnología financiados por la Unión Europea han concluido recientemente. Algunos emprendimientos proporcionan células comerciales para aplicaciones con un ciclo de vida bajo. Las baterías de litio y azufre se han utilizado en vehículos aéreos no tripulados (UAV)

Nivel de madurez	Tecnología	Descripción
Prototipo	Baterías de electrolito sólido	<p>Esta tecnología de baterías ofrece posibilidades de grandes mejoras de rendimiento en cuanto a densidad energética y estabilidad/seguridad térmica, en comparación con las baterías de iones de litio, gracias a un electrolito sólido inorgánico (las baterías de iones de litio utilizan electrolitos líquidos orgánicos). El electrolito sólido también permitiría la posibilidad de utilizar el litio metal como material anódico, lo que abriría perspectivas de nuevas e importantes mejoras de la densidad energética, sin embargo, el uso del litio metal también plantea nuevos obstáculos al desarrollo, así como la posibilidad de mayores peligros en caso de ignición, debido al alto contenido de litio.</p> <p>Actualmente varias empresas están trabajando en esta tecnología y algunas han revelado células prototipo. El Instituto de Tecnología Avanzada de Samsung (SAIT) y el Instituto de Investigación y Desarrollo de Samsung Japón (SRJ) informaron de importantes mejoras en el diseño y el rendimiento. Se espera que Toyota muestre un vehículo que utiliza baterías de estado sólido en el Programa de Investigación de Materiales de Batería Avanzada (BMR) del Consorcio Battery500. Varios de los principales fabricantes de baterías de China, como CATL y BYD, están desarrollando tecnologías de estado sólido.</p>
Demostración	Motor de combustión interna de hidrogeno para vehículos livianos de pasajeros y comerciales	<p>La combustión del hidrógeno directamente en un motor es un uso alternativo del hidrógeno en el transporte que no depende de pilas de combustible. Aunque es menos eficiente energéticamente que las pilas de combustible hoy en día (40-50% de eficiencia para los motores de hidrógeno vs. 50-60% para las pilas de combustible), el motor de hidrógeno no requiere materiales raros como el platino y podría representar una solución rentable. Los motores de combustión interna de hidrógeno también pueden ofrecer un comportamiento transitorio que funciona mejor y es más fácil de regular que las células de combustible. Sin embargo, la seguridad, la densidad de potencia del motor y las emisiones de NOx del escape son los desafíos actuales para el despliegue de esta tecnología. La investigación y el desarrollo (en TRL 5-6) se está llevando a cabo actualmente para mejorar la eficiencia del combustible, que es otra área clave de desarrollo futuro para esta tecnología.</p>
Demostración	Motor de combustión interna de hidrogeno para camiones y buses	<p>Esta tecnología se encuentra en el mismo estado de madurez que en los vehículos livianos. A largo plazo, podría alcanzar hasta un 55% de eficiencia energética para los camiones; por lo tanto, podría ser particularmente adecuado para camiones grandes de largo alcance. Una start-up ha desarrollado un kit para convertir los motores diésel en motores de hidrógeno para aplicaciones de camiones y autobuses. El kit incluye sistemas dedicados de combustible, ignición y mantenimiento, y adapta los componentes existentes del motor, así como un turbocompresor y una cámara de combustión.</p>

Nivel de madurez	Tecnología	Descripción
Demostración	Camiones de celda de combustible (FCEV)	El primer camión comercial de celda de combustible de hidrógeno desarrollado por Hyundai ha obtenido 1600 pedidos para el mercado suizo. Daimler, Fuso, Hyundai, Toyota, Scania, Volkswagen y PSA están desarrollando camiones FCEV, que van desde prototipos hasta modelos comerciales. La empresa de camiones Nikola, con sede en California, ha logrado asegurar una financiación sustancial y muchos pedidos anticipados de sus semirremolques. Scania ha entregado recientemente camiones FCEV clase 7 a Noruega. Hyundai Motor y H2 Energy tienen como objetivo proporcionar 1.000 camiones eléctricos de celda de combustible al mercado suizo para 2023. Scania, Daimler y Nikola, con sede en California, también tienen modelos en diversas etapas entre las pruebas de los prototipos y los clientes.
Producción	Vehículos livianos de pasajeros de batería eléctrica	En comparación con otras baterías comúnmente recargables como las de Ni-Cd, Ni-MH y plomo, la batería de iones de litio se caracteriza por su alta densidad de energía y potencia, su larga vida útil y su compatibilidad con el medio ambiente. Las baterías de iones de litio deben funcionar en un área de operación segura y fiable, que se ve afectada por la carga, la temperatura y el cambio de voltaje.
Producción	Vehículos livianos comerciales de batería eléctrica	En 2019, había casi 377,000 vehículos livianos comerciales eléctricos (e-LCVs) en las carreteras del mundo, China tiene la mayor flota del mundo (65% de la flota). Muchas de las principales empresas de correos y de entrega de paquetes, entre ellas Amazon, DHL, DB Schenker, FedEx, el Grupo Ingka (que es propietario de Ikea), UPS y los servicios postales suizo y austriaco, se han comprometido a ampliar sus flotas eléctricas, a través de modificaciones o compras directas, en un futuro próximo.
Producción	Buses eléctricos	En 2019, había 513,000 buses eléctricos en el mundo. China tiene la mayor flota de autobuses eléctricos del mundo (95% de la flota).
Producción	Camiones eléctricos	En 2019, las entregas mundiales acumuladas de camiones eléctricos de gran tonelaje ascendieron a más de 12,000, la gran mayoría en China. La mayoría de estos son camiones eléctricos de batería, y la mayoría son camiones entre 3.5 y 15 toneladas. BYD, Cummins, Daimler, Emoss y Fuso fueron los primeros fabricantes con modelos que entraron en pruebas con clientes o en el mercado. El Tesla Semi es el modelo de camión eléctrico de más de 15 toneladas que pronto estará en el mercado.
Producción	Camiones a gas (comprimido)	Esta tecnología puede aplicarse en vehículos (normalmente de gran potencia) propulsados por un motor de combustión interna, alimentado por gas natural. El gas se almacena en un tanque que se mantiene a alta presión (20-25 MPa). Volvo y Westport han desarrollado camiones equipados con un motor de gas de inyección directa a alta presión.
Producción	Camiones a gas (licuado)	Esta tecnología puede aplicarse en vehículos (típicamente para aplicaciones de trabajo pesado) impulsados por un motor de combustión interna y alimentados con gas natural. El gas se almacena en tanques criogénicos, lo que permite que se almacene con una densidad energética mayor que la del gas comprimido y es una solución rentable para los camiones de larga distancia. Algunos fabricantes de camiones ofrecen camiones de gas licuado. Hay productos y prototipos disponibles de, por ejemplo, Volvo, Scania, Iveco (fabricantes de camiones) y de Westport (proveedor de tecnología de GNL)

Nivel de madurez	Tecnología	Descripción
Producción	Motor ED95 para camiones y buses	ED95 (Etanol-Diésel 95%) es un combustible a base de etanol para camiones y autobuses con motores diésel modificados. Consiste en aproximadamente un 95% de etanol y aditivos que mejoran la eficiencia. El ED95 producido con etanol sostenible es un combustible renovable respetuoso con el medio ambiente y de bajo impacto ambiental, tanto en su uso como en su producción. Scania ha sido pionero en el desarrollo de estos motores, los cuales cumplen con la normativa Euro 6, para aplicaciones de larga distancia. Actualmente cientos de estos camiones se encuentran operando en Suecia.
Producción	Vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno	Un sistema de pila de combustible de hidrógeno genera energía eléctrica a partir del hidrógeno. Los vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV por sus siglas en inglés) tienen baterías mucho más pequeñas que los vehículos eléctricos de batería (al menos en un factor de 10), ya que la energía se almacena en el hidrógeno. Al explotar la mayor densidad de energía gravimétrica del hidrógeno, los FCEV pueden ofrecer un alcance mayor que los BEV. Sin embargo, su despliegue se enfrenta a múltiples retos técnicos y económicos, entre ellos: la seguridad de la manipulación del hidrógeno (reabastecimiento de combustible, fugas residuales), el almacenamiento de hidrógeno a bordo y el alto costo de la pila de combustible y del sistema.

Fuente: Adaptado por Steer a partir de ETP Clean Energy Technology Guide, IEA, 2020.

4.21 Además de los desarrollos presentados en la tabla anterior es importante considerar los desarrollos necesarios de infraestructura de carga para que estas tecnologías puedan masificarse. En la siguiente tabla se presenta un recuento del nivel de madurez de tecnologías de carga, específicamente para vehículos eléctricos y de hidrógeno, esto considerando que la infraestructura de carga para otras tecnologías como GNV, diésel, gasolina no requieren desarrollos futuros.

Tabla 4.2: Nivel de madurez de infraestructura de carga

Nivel de madurez	Tecnología	Descripción
Prototipo	Carga dinámica o sistema eléctrico de carreteras (carga inductiva)	La transferencia de energía por inducción se desarrolló a principios del siglo XX, pero la gran capacidad, seguridad y fiabilidad que requieren los VE se encuentra todavía en las primeras fases de desarrollo. La carga estática inalámbrica de los VE proporciona una vía relativamente fácil y segura para cargar los automóviles eléctricos, aumentando la comodidad de uso y facilitando su adopción. La transmisión dinámica de energía inductiva también podría ponerse en práctica si se instalan muchas unidades inductivas (bobinas) bajo la superficie de las vías. La carga inductiva tiene varias ventajas con respecto a la carga conductiva, pero también varias desventajas, entre ellas una menor eficiencia, mayores necesidades de material por kilómetro de carril, cambios más invasivos en la infraestructura existente y componentes más complejos. La carga eléctrica inalámbrica dinámica tiene un enorme potencial, ya que puede resolver los problemas clásicos de alcance del VE a través de la carga inalámbrica "en movimiento", que permite que un VE se cargue de forma inalámbrica mientras conduce por la carretera. Esto también permite que se utilicen

Nivel de madurez	Tecnología	Descripción
		<p>baterías más pequeñas y ligeras en los VE, beneficiándose de la infraestructura de carga integrada en la infraestructura de la carretera. Esto permite que los vehículos eléctricos sean más flexibles, reduce la necesidad de capacidad energética a bordo de los propios vehículos y puede acelerar la electrificación específicamente para vehículos de transporte de mercancías a larga distancia y otros modos de transporte pesado. Con un pequeño pero creciente número de demostraciones en Suecia y Alemania, los operadores de camiones como Scania están trabajando con Siemens para obtener experiencia en el entorno de operación real con sistemas de catenaria</p>
Prototipo	Carga inteligente	<p>La carga inteligente se refiere a la carga coordinada y gestionada de las baterías de los vehículos eléctricos de manera que beneficie al sistema, evitando los picos de demanda o la congestión de la red. Si bien no requiere una infraestructura muy diferente, se necesita innovación para integrar las diferentes tecnologías, incluyendo la teledetección, el análisis de grandes datos, y el control. La estrategia más sencilla de despliegue, desde el punto de vista de la tecnología, sería desarrollar sistemas de fondo que funcionaran sin mucha participación de los consumidores, en lugar de depender de las tarifas por tiempo de uso u otras señales directas de precios. Desde 2018 han surgido varios proyectos piloto de pequeña escala. A través de sus eMotorWerks, las plataformas de Enel X proporcionan soluciones de carga inteligente por un costo adicional al propio cargador. También se han realizado pilotos en Estados Unidos donde WattTime, una herramienta de cartografía renovable respaldada por Google se utiliza para optimizar la carga y la generación de energía renovable. Otros pilotos están siendo avanzados en Holanda, por Enexis y Elaad (para la carga tanto residencial como comercial), o el Smart Hubs Demonstrator en el Reino Unido (enfocado en áreas comerciales).</p>
Producción	Carga dinámica o sistema eléctrico de carreteras (Conductivo)	<p>La carga dinámica, o sistemas eléctricos de carretera (ERS por sus siglas en inglés), se basa en vehículos que pueden recibir electricidad de instalaciones de transferencia de energía a lo largo de la carretera por la que circulan los vehículos. Los conceptos de transferencia de energía conductiva pueden utilizar sistemas de catenaria acoplados con un brazo pantógrafo (como está siendo probado por Siemens en sociedad con algunos fabricantes de camiones), o a través de sistemas ferroviarios en la carretera o al lado de la carretera con un brazo conector. Estos sistemas pueden permitir una alta eficiencia en la transferencia de energía. Los vehículos que utilizan el ERS pueden ser híbridos, eléctricos con baterías o de pilas de combustible de hidrógeno y pueden realizar las operaciones normales de conducción, como adelantar y conducir de forma autónoma fuera de las carreteras eléctricas. El Distrito de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur y Siemens demostraron el ERS en el Puerto de Los Angeles y Long Beach: En Suecia, Volvo está desarrollando tecnología para camiones y autobuses a través de un colector de corriente en forma de un pantógrafo al revés. Otros pilotos de prueba incluyen a Intis en Alemania, o el eHighway desarrollado por Siemens que trabaja en sociedad con Volvo y el camión híbrido Scania desarrollado por VW Group</p>

Nivel de madurez	Tecnología	Descripción
Producción	Carga ultrarrápida	<p>Las redes de carga rápida actuales tienen un máximo de alrededor de 100-150 kW. La tecnología de carga ultrarrápida a partir de 350 kW es un factor clave para un despliegue más rápido de los VE, para aumentar la comodidad de los viajes interurbanos y reducir la ansiedad por el alcance. En particular, los centros de carga rápida son necesarios para los modelos eléctricos de transporte de mercancías por carretera y los modelos más grandes de vehículos eléctricos de pasajeros. Las estaciones de carga deben proporcionar una alta potencia de salida con un impacto mínimo en la red, lo que también requerirá mayores esfuerzos de integración, incluida la aplicación de almacenamiento de baterías, condensadores o sistemas de gestión inteligente. Por último, habrá que desarrollar productos químicos y diseños de baterías que puedan cargarse rápidamente mediante sistemas de carga ultrarrápidos sin correr el riesgo de una degradación acelerada.</p>
Producción	Estación de reabastecimiento de hidrógeno	<p>Normalmente, las estaciones de reabastecimiento de hidrógeno (HRS) funcionan a 350 o 700 bares. La mayoría de las estaciones para automóviles de pasajeros están diseñadas para funcionar a 700 bares, mientras que las estaciones para autobuses suelen utilizar 350 bares. Por esta razón, actualmente la mayoría de las estaciones funcionan a 700 bares, y muchas de ellas funcionan de manera dual, pudiendo suministrar combustible tanto a 350 como a 700 bares. El reabastecimiento de hidrógeno puede ser autónomo o estar vinculado a una estación de producción de hidrógeno. Si el hidrógeno se entrega a la estación en forma intermedia, se necesitan sistemas de almacenamiento y compresión. Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno son generalmente de baja presión, alrededor de 50-200 bares. Los compresores superan la diferencia de presión entre el almacenamiento y el reabastecimiento de combustible (que puede ser de hasta 1000 bar), y son un área central de innovación en las estaciones de reabastecimiento de hidrógeno. Se pueden emplear diversas tecnologías para comprimir el hidrógeno desde los estados de baja presión hasta los necesarios en el punto de utilización, dependiendo de si el hidrógeno está en forma gaseosa o líquida, y del tipo de vehículo de paso. Se necesitan altos niveles de pureza en las aplicaciones de las pilas de combustible, por lo que se necesitan tecnologías como los compresores iónicos para reducir la posibilidad de contaminación. Durante la compresión, el gas de hidrógeno se calienta, y se necesitan sistemas de preenfriamiento para mantenerse dentro de los límites del sistema de almacenamiento de combustible del vehículo. Estos sistemas añaden complejidad y aumentan el consumo de energía, y son un área de desarrollo clave para mejorar la eficiencia y reducir los costos de los sistemas de reabastecimiento de hidrógeno. A finales de 2019, 460 estaciones de reabastecimiento de hidrógeno (HRS por sus siglas en inglés) estaban en funcionamiento en todo el mundo. Los líderes de la tecnología incluyen a Linde, Hydrogenics, o Nikola Motors que ha anunciado una red de reabastecimiento de combustible para camiones en los Estados Unidos.</p>

Fuente: Adaptado por Steer a partir de ETP Clean Energy Technology Guide, IEA, 2020.

4.22 En las siguientes secciones se presenta el detalle de los desarrollos vehiculares y las mejoras esperadas para los energéticos. El análisis se divide en tres grandes grupos, primero se presentan

los vehículos de combustión interna (diésel, gasolina, GNV, biocombustibles), luego se realiza el análisis de los vehículos con motor eléctrico y vehículos híbridos. Por último, se presenta una sección dedicada a las perspectivas del uso del hidrógeno en el transporte carretero.

## Vehículos con motor de combustión interna

- 4.23 Desde la década de los 60 se han establecido normas de emisión para los vehículos de combustión interna. Estas normas establecen límites a la cantidad de emisiones contaminantes atmosféricas que pueden ser liberadas por los vehículos en el proceso de combustión y tienen como objetivo mejorar la calidad de aire en las ciudades y mitigar los efectos asociados a las emisiones del sector transporte. La incorporación de estas normas ha obligado a los fabricantes a desarrollar nuevas y mejores tecnologías vehiculares.
- 4.24 Actualmente existen tres conjuntos de normas de emisiones: Estados Unidos, Unión Europea y Japón. La mayoría de los países se han acogido o adaptado estas normas. En Estados Unidos las normas de emisión son reguladas por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA por sus siglas en inglés), adicionalmente el estado de California puede adoptar normas de emisiones de vehículos más estrictas (sujetas a la aprobación de la EPA), y otros estados pueden optar por seguir las normas nacionales o las de California, las normas nacionales corresponde a regulación Tier (actualmente en Tier 3) y las de California son las normas para Vehículos de Bajas Emisiones (LEV por sus siglas en inglés).
- 4.25 En 1992 la Unión Europea estableció regulaciones relacionadas con la calidad del aire y límites de emisiones contaminantes para el parque automotor. Esta regulación inició con el estándar Euro 1, en el cual se hizo obligatorio el uso de catalizadores para vehículos nuevos. Desde entonces, ha habido una serie de normas sobre emisiones Euro, que han dado lugar a la actual norma Euro 6, introducida en septiembre de 2014 para todos los vehículos nuevos matriculados desde septiembre de 2015.
- 4.26 En 2003, el Ministerio de Medio Ambiente de Japón estableció normas de emisiones muy estrictas para 2005, tanto para los vehículos ligeros como para los pesados. En el momento en que entraron en vigor, las normas de emisiones de 2005 para vehículos pesados eran las más estrictas del mundo. A partir de 2009, estos límites se hicieron más estrictos hasta un nivel intermedio entre los requisitos de 2010 de Estados Unidos y los de Euro V, y los límites de 2016 son comparables en rigor a los de 2010 de los Estados Unidos y los de Euro VI.
- 4.27 Actualmente, la tendencia indica que los desarrollos vehiculares futuros estarán concentrados en vehículos de cero y ultra bajas emisiones (ULEV por sus siglas en inglés), estos últimos utilizan tecnologías de bajo carbono y emiten menos de 75g de CO<sub>2</sub>/km del tubo de escape<sup>4</sup>. Por lo tanto, los esfuerzos de los fabricantes estarán concentrados en desarrollar nuevas tecnologías que incluyen desde vehículos eléctricos puros y vehículos eléctricos de celdas de combustible, hasta híbridos enchufables y vehículos eléctricos de rango extendido.
- 4.28 Esta tendencia es más marcada para vehículos livianos, por el contrario, para vehículos pesados la transición hacia estas tecnologías tardará más tiempo debido a la complejidad de estas

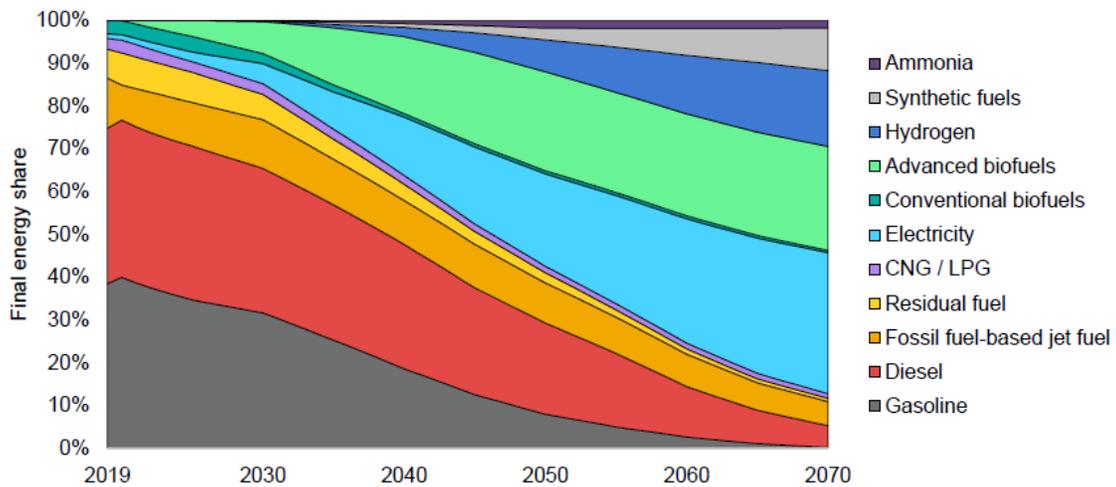
---

<sup>4</sup> <https://www.smmr.co.uk/industry-topics/technology-innovation/ultra-low-emission-vehicles-ulevs/>

tecnologías para cumplir con los requerimientos operacionales de los vehículos pesados. En este sentido, los energéticos como biocombustibles y gas natural seguirán teniendo una fuerte presencia en el mercado y, por lo tanto, se están desarrollando nuevas tecnologías vehiculares para estos energéticos, particularmente para vehículos pesados.

- 4.29 Además de lo anterior, es importante mencionar que las mejoras en el consumo de combustible en los últimos decenios han sido impulsadas principalmente por las normas de ahorro de combustible y de emisiones de CO<sub>2</sub>, respaldadas por otros mecanismos como impuestos sobre los combustibles y las políticas municipales que ofrecen alternativas a los vehículos privados. Medidas como el aligeramiento, la aerodinámica y la adopción de neumáticos de baja resistencia a la rodadura contribuyen a la mejora vehicular y a las metas de reducción de emisiones y eficiencia energética. En la siguiente figura se observan las proyecciones realizadas por la IEA de consumo de energía para el sector transporte.

**Figura 4.3: Consumo de energía por combustible en el sector transporte a nivel mundial I en el escenario de desarrollo sostenible**



IEA 2020. All rights reserved.

Fuente: Energy Technology Perspectives, International Energy Agency, 2020.

- 4.30 En la figura se observa la reducción en el consumo de combustibles fósiles y el aumento del consumo de electricidad, hidrógeno y biocombustibles, esta último apalancada por su uso en vehículos de carga pesada.
- 4.31 En las siguientes secciones se detallarán los desarrollos tecnológicos en los cuales se encuentra trabajando la industria automotriz, específicamente para vehículos impulsados por biocombustibles y por gas natural

### **Biocombustibles**

#### *Primera generación de biocombustibles*

- 4.32 A diferencia de otras fuentes de energía renovable, la biomasa (diversos materiales vegetales) puede ser convertida directamente en combustibles líquidos, llamados "biocombustibles". Los dos

tipos de biocombustibles más comunes que se utilizan hoy en día son el etanol y el biodiésel, que representan la primera generación de la tecnología de los biocombustibles<sup>5</sup>.

- 4.33 En general, los vehículos fabricados para funcionar con diésel pueden también operar con biodiésel (primera generación de biocombustibles), aunque técnicamente no son vehículos diseñados para operar con combustibles alternativos. La mezcla de biodiésel más común es la B20, que oscila entre el 6% y el 20% de biodiésel mezclado con gasóleo de petróleo. Sin embargo, el B5 (una mezcla de biodiésel del 5% de biodiésel, 95% de diésel) también se utiliza comúnmente en los vehículos. El B20 y las mezclas de menor nivel pueden utilizarse en muchos vehículos diésel sin necesidad de modificar el motor. Todos los fabricantes de vehículos aprueban el uso de B5. Sin embargo, es importante comprobar la garantía del motor para asegurarse de que se aprueben las mezclas de mayor nivel de este combustible alternativo, como el B20.<sup>6</sup>
- 4.34 De acuerdo con lo establecido por la Agencia Internacional de Energía – IEA, los biocombustibles líquidos ayudarán a reducir las emisiones, específicamente para camiones con motores de combustión interna hasta la década de 2040. Luego de esto, se espera que se incremente y masifique el uso de electricidad e hidrógeno para todos los modos de transporte carretero.
- 4.35 En 2018, Scania sacó al mercado su nuevo motor de bioetanol que funciona con el ED95, *“un tipo de etanol que incluye un 5 % de un mejorador de la ignición y lubricantes. Este aditivo permite al motor funcionar según el principio que utilizan los motores diésel, con el encendido por compresión. Los combustibles de bioetanol pueden reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en hasta un 90 % al mismo tiempo que tienen un impacto positivo en las emisiones de las partículas NOx”*<sup>7</sup>. Con este nuevo motor Scania planea ampliar su oferta de camiones con combustibles de bajas emisiones.

#### *Biocombustibles avanzados*

- 4.36 Los biocombustibles avanzados, se producen a partir de materias primas lignocelulósicas (residuos agrícolas y forestales), cultivos no alimentarios, o residuos industriales. De acuerdo con lo presentado por Observatorio Europeo de Combustibles Alternativos, los biocombustibles avanzados que actualmente se están desarrollando a nivel mundial son los siguientes<sup>8</sup>:
- Biobutanol: es un alcohol que puede ser usado como combustible para el transporte. Cada molécula contiene cuatro átomos de carbono en lugar de dos como en el etanol. Es más compatible con las infraestructuras y motores de combustible existentes que el etanol. Se están desarrollando nuevas técnicas de fermentación para convertir los azúcares en butanol utilizando cepas de levadura modificadas.
  - BioDME (dimetiléter): puede producirse mediante la deshidratación catalítica de biometanol o directamente del gas natural sintético. Por encima de -25°C o por debajo de 5 bares de DME es un gas. Por lo tanto, su uso como combustible de transporte puede considerarse similar al del GLP.

<sup>5</sup> <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biofuels-basics>

<sup>6</sup> <https://afdc.energy.gov/vehicles/diesel.html>

<sup>7</sup> <https://www.scania.com/es/es/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2018/05/bioethanolScania13litros.html>

<sup>8</sup> <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/advanced-biofuels/generic-information>

- Biohidrógeno: puede producirse potencialmente a partir de biomasa por diversas vías y puede utilizarse como combustible para vehículos. El biohidrógeno no se está produciendo actualmente en volúmenes significativos.
- Biometano: puede ser usado en el transporte de manera similar al GNC. El biometano es un biogás generado mediante la digestión anaeróbica (un proceso biológico) del cual se eliminan el CO<sub>2</sub> y las impurezas y que luego es apto para el transporte.
- Etanol celulósico: puede producirse por hidrólisis y fermentación de desechos agrícolas lignocelulósicos como la paja o el maíz, o a partir de hierbas u otros cultivos energéticos. El producto final es el mismo que el bioetanol convencional, que suele mezclarse con gasolina.
- Biomasa a líquido (BtL por sus siglas en inglés): se produce generalmente por gasificación (calentamiento en presencia parcial de oxígeno para producir monóxido de carbono e hidrógeno). Las materias primas incluyen residuos o desechos leñosos o cultivos energéticos.
- Aceites vegetales hidrotratados (HVO por sus siglas en inglés) / Ésteres hidroprocesados y ácidos grasos (HEFA): Los HVO son hidrocarburos parafínicos de cadena lineal que están libres de aromáticos, oxígeno y azufre y tienen un alto índice de cetano. También están aprobados para su uso como combustibles de aviación.

4.37 Adicionalmente, es importante mencionar que existen otros tipos de biocombustibles avanzados, sin embargo, estos todavía se encuentran en etapas muy tempranas de madurez. Estos son: bio-aceite y bio-crudo, la torrefacción, biocombustibles de algas, hidrocarburos obtenidos mediante catálisis química de azúcares vegetales, Gas natural biosintético (BioSNG por sus siglas en inglés) y biocombustibles de sustitución.

4.38 La mayoría de los biocombustibles avanzados se pueden utilizar directamente en los motores de combustión interna existentes, bien sea en motores con más de 10 años de antigüedad como también en motores de última tecnología a diferencia de otros biocombustibles que requieren adaptaciones en los motores., lo cual hace que el mercado potencial de estos sea muy grande.

#### **Gas Natural Vehicular – GNV**

4.39 El Gas Natural Vehicular – GNV está catalogado como un energético de bajas emisiones en el sector transporte. Actualmente aproximadamente 28 millones de vehículos a nivel mundial que impulsados por GNV<sup>9</sup>. Los vehículos impulsados por GNV son vehículos de combustión interna con características similares a los vehículos de diésel o gasolina siendo este un combustible más limpio en términos de emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y NO<sub>x</sub> y material particulado.

4.40 Los vehículos impulsados por GNV pueden almacenar el gas en estado gaseoso, en cuyo caso se refiere a vehículos de GNC (gas natural comprimido) o en forma líquida que se denomina GNL (gas natural licuado), lo que hace que su densidad energética sea mayor que la del GNC. A continuación, se detalla los tipos de vehículo para estas dos tecnologías con sus respectivos desarrollos vehiculares.

#### *Gas Natural Comprimido (GNC)*

4.41 Esta tecnología puede aplicarse en vehículos propulsados por un motor de combustión interna, alimentados con biometano. El biometano se almacena en un tanque mantenido a alta presión

---

<sup>9</sup> <https://www.iangv.org/>

(20-25 MPa). Para que esta tecnología aporte una reducción neta de las emisiones, el metano tendría que producirse a partir de fuentes renovables (por ejemplo, biometano o metano sintético) y quemarse en motores de gas de alta presión de inyección directa, ya que el uso de metano fósil en las actuales tecnologías de motores no tiene ningún beneficio en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> en relación con los motores diésel. También se requiere un mayor desarrollo tecnológico para evitar el deslizamiento del gas del colector.

- 4.42 Dado que el tratamiento posterior de la combustión estequiométrica es una opción más eficaz en función de los costos para reducir las emisiones de metano y otros contaminantes que la inyección directa la mayoría de los esfuerzos de investigación actuales se centran en mejorar los sistemas de tratamiento posterior<sup>10</sup>.
- 4.43 En 2015, Westport firmó un acuerdo comercial con el Grupo Volvo que rige el desarrollo, el lanzamiento comercial y el suministro de la tecnología de gas natural 2.0 de inyección directa de alta presión (HPDI por sus siglas en inglés) de Westport en los camiones pesados de Volvo<sup>11</sup>. El HPDI 2.0 es capaz de ofrecer un rendimiento y una economía de combustible equivalentes a los de los actuales motores diésel de alto rendimiento, pero con una sustitución del diésel de más del 90%. El motor está diseñado para cumplir con las regulaciones de emisiones Euro VI y EPA 2014.
- 4.44 El motor HPDI 2.0 de Westport recibió recientemente la certificación por parte del gobierno de la China para la comercialización y venta de los motores de gas natural de gran potencia a varios fabricantes chinos.
- 4.45 En marzo de 2020 el Grupo Volkswagen detuvo el desarrollo de nuevos vehículos livianos impulsados por GNC<sup>12</sup>. Esto sería debido a que el fabricante está priorizando sus inversiones en la electrificación de sus vehículos, lo cual puede demostrar la tendencia del sector hacia las tecnologías de vehículos livianos eléctricos.
- 4.46 Sin embargo, es importante mencionar que la subsidiaria española del Grupo VW, Seat, presentó una versión a GNC del recientemente nuevo auto compacto Leon. También, en el Salón del Automóvil de Ginebra de 2018, la subsidiaria checa de VW, Skoda, presentó el concepto de crossover Vision X, que cuenta con un motor de gasolina y GNC apoyado por un motor eléctrico alimentado por una batería de 48 voltios.

#### *Gas Natural Licuado (GNL)*

- 4.47 Esta tecnología puede aplicarse en vehículos impulsados por un motor de combustión interna y alimentados con biometano. El biometano se almacena en tanques criogénicos, lo que permite que se almacene con una densidad energética mayor que la del metano comprimido y es una solución rentable para los camiones de larga distancia.
- 4.48 La cadena cinemática del biometano licuado, que incluye un motor de pistón dedicado, un dispositivo de inyección directa y un tanque criogénico, se enfrenta a algunos retos tecnológicos:

---

<sup>10</sup> <https://h2020-longrun.eu/>

<sup>11</sup> <https://ngtnews.com/westport-and-volvo-ink-agreements-on-hpdi-natural-gas-tech>

<sup>12</sup> <https://europe.autonews.com/automakers/vws-electric-push-puts-future-cng-cars-doubt>

- Aislamiento del almacenamiento de biogás licuado (LBG por sus siglas en inglés) a bordo en el tanque criogénico (-162 grados centígrados),
- riesgo de deslizamiento del metano y de combustión incompleta del metano (requiere la optimización del sistema de combustión y un tratamiento posterior dedicado a los gases de escape).

4.49 Actualmente, algunos fabricantes de camiones están ofreciendo camiones de GNL. Hay productos y prototipos disponibles de, por ejemplo, Volvo, Scania, Iveco y de Westport. Se destacan los siguientes:

- VOLVO FH LNG: Camión rígido o tractora, estándar de emisiones Euro 6, Autonomía operativa de hasta 1000 km
- IVECO Stralis NP 460: Camión, estándar de emisiones Euro 6, de 460 CV y una autonomía de autonomía de hasta 1.600 km
- Scania G 410 GNL: Camión, estándar de emisiones Euro 6, autonomía de 1.100 km

### Vehículos con motor eléctrico y vehículos híbridos

4.50 La Agencia Internacional de Energía, estima que en 2019 había 279 modelos de vehículos eléctricos disponibles a nivel mundial. Para los próximos 5 años los fabricantes de vehículos han anunciado planes para lanzar 197 nuevos modelos de vehículos eléctricos. En general, los modelos de vehículos eléctricos de batería se distribuyen en todos los segmentos de mercado, mientras que los vehículos híbridos enchufables se concentran en vehículos de gran tamaño. Esto se debe en parte a que la instalación de dos motores es más difícil para los vehículos más pequeños.

4.51 En el caso de los vehículos livianos los fabricantes europeos han anunciado que concentrarán sus esfuerzos en la expansión de los vehículos eléctricos, mientras que el fabricante Japonés Toyota ha anunciado su intención de invertir en vehículos de celdas de combustible. Adicionalmente, los fabricantes que están liderando el camino de la electrificación han optado por compartir tecnologías y plataformas a otros fabricantes. Por ejemplo, Volkswagen anunció que está dispuesto a compartir su nueva plataforma EV con otros. Así mismo, Toyota anunció que compartirá su patente de tecnología híbrida con otros fabricantes. En general, es probable que el aumento de la cooperación entre los fabricantes acelere la transición tecnológica a la movilidad eléctrica (International Energy Agency, 2019).

4.52 En la siguiente tabla se presenta el número de modelos esperados, que han sido anunciados en los planes de los fabricantes con su respectivo año estimado de lanzamiento.

**Tabla 4.3: Nuevos modelos de vehículos livianos eléctricos anunciados por fabricantes**

Fabricante	Número de modelos nuevos de vehículos livianos eléctricos	Año estimado de lanzamiento
BMW	13	2023
Chongqing Changan	25	2025
Daimler	10	2022
FAW	15	2025
FCA	24 (10 de batería y 14 de híbridos enchufables)	2022
Ford	40 (16 de batería y 24 híbridos enchufables)	2022

Fabricante	Número de modelos nuevos de vehículos livianos eléctricos	Año estimado de lanzamiento
GM	22	2023
Hyundai-Kia	29 (23 de batería y 6 híbridos enchufables)	2025
Mahindra & Mahindra	3	2022
Mazda	1	2020
PSA	14 (7 de batería y 7 híbridos enchufables)	2021
Renault-Nissan-Mitsubishi	Renault:12 Nissan: 8 Infiniti: todos sus modelos eléctricos	2022 2022 2021
Maruti Suzuki	1	2021
SAIC	20 30 (13 de batería y 17 híbridos enchufables)	2025 Fecha no definida (Mediano-largo plazo)
Tata Motors	1 4	2020 2022
Tesla	1 1	2020 2030
Toyota	10	2020
Volkswagen	75	2029
Volvo	1 1 1 1 1 1 1	2020 2021 2022 2023 2024 2025

Fuente: Steer a partir de IEA, Global EV Outlook, 2020.

\* Esta tabla presenta anuncios relacionados con los vehículos eléctricos de batería y enchufables (PHEVs y BEVs), por lo tanto, otros anuncios de fabricantes que incluyen vehículos híbridos y que no proporcionan ninguna indicación específica con respecto a la participación de PHEV/BEV no están incluidas.

- 4.53 La producción de vehículos eléctricos de dos ruedas se ha centrado en China y se ha centrado principalmente en los vehículos de baja velocidad y corto alcance. Sin embargo, el mercado está comenzando a orientarse hacia la electrificación de vehículos de dos ruedas con características de rendimiento similares a las tecnologías existentes de motores de combustión interna.
- 4.54 Los fabricantes tradicionales de motocicletas han empezado la transición hacia la movilidad eléctrica: BMW, Honda, Peugeot y Piaggio tienen al menos un modelo eléctrico en su catálogo. Ducati y Harley Davidson, las empresas de motocicletas de alta gama, han anunciado ambiciosos planes de electrificación (International Energy Agency, 2019).
- 4.55 Para el caso de los vehículos pesados (camiones y buses) la electrificación presenta mayores barreras técnicas, además los requerimientos operacionales (distancias recorridas y uso intensivo)

hacen que el uso de estos vehículos sea menos práctico debido a su baja intensidad energética y a los largos tiempos de recarga.

- 4.56 Daimler, BYD y otros fabricantes ya comercializan modelos de camiones eléctricos con baterías para trabajos medianos, utilizados principalmente para carga urbana o vehículos de servicios (camiones de basura). Varios otros fabricantes de camiones han anunciado planes para vender al menos un modelo de camión híbrido enchufable o camión eléctrico a batería, mientras que Tesla y Freightliner han desarrollado camiones eléctricos a batería con una autonomía de 400 a 800 km que actualmente están siendo probados por flotas comerciales.
- 4.57 En 2019 y a principios de 2020 nuevos modelos fueron anunciados por Bollinger y Toyota en Norte América, Tata en la India y BYD y Chanje en China. En octubre de 2019, Daimler Trucks (el mayor fabricante de camiones del mundo) se comprometió a vender sólo vehículos cero emisiones (ZEV por sus siglas en inglés) en 2039 y abandonar el desarrollo de los camiones propulsados por gas natural. Tanto Volvo Trucks como Renault Trucks ha iniciado la producción de camiones eléctricos en 2019, además Scania inició en 2020 la comercialización dos camiones eléctricos de batería para distribución urbana de 27 toneladas (IEA, 2020).

### Uso de hidrógeno en el transporte carretero

- 4.58 En los últimos años, el hidrógeno se ha vuelto tendencia como uno de los energéticos más prometedores en el mediano y largo plazo en el sector transporte, esto se debe a que es un energético que genera cero emisiones contaminantes, puede ser producido utilizando diversas fuentes de energía disponibles localmente y funciona con pilas de combustible.
- 4.59 El hidrógeno es el gas más ligero, es incoloro, inodoro y no tóxico. Tiene un alto contenido de energía específica comparado con los combustibles convencionales y es el elemento más abundante del universo. El hidrógeno tiene un alto rendimiento energético de 120 MJ/kg, que es aproximadamente 2,75 veces más que los combustibles fósiles, además la densidad del hidrógeno líquido es muy baja en comparación con la de la gasolina (Singh, 2015).
- 4.60 La competitividad de los vehículos de celdas de combustible en el transporte depende de los costos de la celda de combustible y de la construcción y utilización de estaciones de servicio. Para los vehículos livianos la prioridad es reducir el coste de celdas de combustible y almacenamiento de hidrógeno a bordo. Esto podría hacerlos competitivos en comparación con los vehículos eléctricos de batería con una autonomía de 400-500 km y los hacen potencialmente atractivos para vehículos que recorren grandes distancias.
- 4.61 En el sector del transporte carretero el hidrógeno puede ser utilizado en vehículos de celdas de combustible y en vehículos con motor de combustión interna de hidrógeno. A continuación, se analiza en detalle el estado actual de los vehículos de celdas de combustible.

### Vehículos eléctricos de pila de combustible

- 4.62 Los vehículos de pila de combustible (FCEV, por sus siglas en inglés) utilizan un sistema de propulsión similar al de los vehículos eléctricos, donde la energía almacenada como hidrógeno es convertida en electricidad por la celda de combustible. A diferencia de los vehículos con motores de combustión interna convencionales, estos vehículos no producen emisiones contaminantes del tubo de escape.

- 4.63 Los FCEV se alimentan con gas de hidrógeno puro almacenado en el tanque del vehículo. Al igual que los vehículos de motor de combustión interna convencionales, pueden abastecerse de combustible en menos de cuatro minutos y tienen una autonomía de conducción de más de 500 kilómetros. Estos vehículos pueden estar equipados con otras tecnologías avanzadas para aumentar la eficiencia, como los sistemas de frenado regenerativo, que capturan la energía perdida durante el frenado y la almacenan en una batería.
- 4.64 El tipo más común de celda combustible para aplicaciones en vehículos es la celda de combustible de membrana de electrolito polimérico (PEM). En una celda de combustible PEM, la membrana electrolítica se encuentra entre un electrodo positivo (cátodo) y un electrodo negativo (ánodo). El hidrógeno se introduce en el ánodo y el oxígeno (del aire) se introduce en el cátodo. Las moléculas de hidrógeno se rompen en protones y electrones debido a una reacción electroquímica en el catalizador de la celda de combustible. Los protones viajan entonces a través de la membrana hasta el cátodo. Los electrones son forzados a viajar a través de un circuito externo para realizar el trabajo (proporcionando energía al vehículo eléctrico) y luego se recombinan con los protones en el lado del cátodo, donde los protones, electrones y moléculas de oxígeno se combinan para formar agua<sup>13</sup>.
- 4.65 Los vehículos eléctricos de pila de combustible tienen baterías mucho más pequeñas que los vehículos eléctricos de batería ya que la energía se almacena en el hidrógeno. Sin embargo, esta tecnología se enfrenta a múltiples retos técnicos y económicos, entre ellos:
- La seguridad de la manipulación del hidrógeno (reabastecimiento de combustible, fugas residuales),
  - el almacenamiento de hidrógeno a bordo,
  - y el alto costo de la pila de pilas de combustible (la reacción electroquímica dentro de la pila requiere una membrana de intercambio de protones (MIP) recubierta con un catalizador a base de platino, un material costoso) y del sistema.
- 4.66 Se prevé que los costos de la batería y el sistema de celdas de combustible disminuyan considerablemente con las economías de escala. Para que estos vehículos sean competitivos el hidrógeno debe ser entregado a las estaciones de reabastecimiento de hidrógeno a precios que sitúen los costos por kilómetro en el mismo rango que los de los vehículos convencionales, o de los vehículos eléctricos a batería alimentados con electricidad de la red. Para ello será necesario reducir aún más los costos de las tecnologías de producción de hidrógeno de baja y nula emisión de carbono, así como de las redes de transmisión y distribución de hidrógeno y de las estaciones de reabastecimiento de hidrógeno (HRS por sus siglas en inglés).
- 4.67 Casi todos los vehículos de celdas de combustible de pasajeros que existen actualmente son fabricados por Toyota, Honda y Hyundai, aunque Mercedes-Benz ha comenzado recientemente a comercializar volúmenes limitados de un vehículo eléctrico híbrido enchufable con una celda de combustible. Estos fabricantes han anunciado plan para el despliegue de los FCEV, Toyota anunció que su objetivo es producir más de 30,000 vehículos anualmente desde 2020 (actualmente

---

<sup>13</sup> [https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel\\_cell.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html)

produce 3,000). Hyundai, que actualmente también tiene una capacidad de producción de alrededor de 3,000 vehículos, pretende aumentarla a 700,000 para 2030.<sup>14</sup>

- 4.68 En el caso de los buses, China presenta el mayor despliegue, con más de 400 buses registrados a finales de 2018 para proyectos de demostración. Se estima que en 2017 también estaban en funcionamiento 50 autobuses eléctricos de pilas de combustible en Europa, 25 en California y unos 30 en otros estados de los Estados Unidos. Otros proyectos de demostración han puesto en marcha autobuses eléctricos de celdas de combustible en Corea y Japón. A nivel mundial, al menos 11 empresas fabrican actualmente autobuses eléctricos de celdas de combustible. Dado que su largo alcance significa que por lo general no hay necesidad de recargar durante el día, en general son muy adecuados para: un mayor kilometraje diario (más de 200 km por día)<sup>15</sup>.
- 4.69 Los buses eléctricos de celdas de combustible de hidrógeno son comercializados hoy en día por Foshan, Geely, Van Hool y Toyota. Actualmente hay un número importante de buses de celdas de combustible en línea para producción para los próximos cinco años, principalmente en China. En general, las iniciativas apoyadas por el gobierno sustentan directamente estos pedidos, incluyendo la Empresa Conjunta de Celdas de Combustible e Hidrógeno en Europa (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking) y el Programa Nacional de Buses de Celdas de Combustible (National Fuel Cell Bus Program) en Estados Unidos. En Corea, una asociación público-privada tiene como objetivo desplegar 1,000 buses eléctricos de celdas de combustible para el año 2022, para alcanzar el objetivo establecido por Corea de 40,000 buses para el año 2040. Japón tiene como objetivo tener 100 autobuses eléctricos de celdas de combustible en funcionamiento para los Juegos Olímpicos de Tokio 2020.
- 4.70 En el caso de los camiones Daimler, Fuso, Hyundai, Toyota, Scania, Volkswagen y PSA están desarrollando camiones FCEV, que van desde prototipos hasta modelos comerciales. La empresa de camiones Nikola, ha logrado asegurar una financiación sustancial y muchos pedidos anticipados de sus semirremolques. Scania ha entregado recientemente camiones FCEV clase 7 a Noruega. Hyundai y H2 Energy tienen como objetivo suministrar 1,000 camiones eléctricos de celdas de combustible al mercado suizo para 2023. Scania, Daimler y Nikola, también tienen modelos en diversas etapas entre las pruebas de los prototipos y pruebas comerciales. FedEx y UPS están probando vehículos de carga urbana con celdas de combustible, y en Europa, el proyecto h2Share está demostrando varios camiones pesados de más de 12 t<sup>16</sup>.
- 4.71 En julio de 2020 Hyundai entregó las primeras 10 unidades de sus nuevos camiones Hyundai Xcient alimentados con hidrógeno a Suiza, el primer camión pesado con celdas de combustible producido en masa del mundo. Un total de 50 camiones serán entregados este año. El plan de la compañía es vender un total de 1,600 camiones Xcient Fuel Cell para el 2025.
- 4.72 El Xcient está alimentado por un sistema de celdas de combustible de hidrógeno de 190 kW con dos celdas de combustible de 95 kW, así como por siete grandes tanques de hidrógeno que ofrecen una capacidad de almacenamiento combinada de aproximadamente 32 kilogramos de

---

<sup>14</sup> The Future of Hydrogen, IEA, 2019.

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> Ibid.

hidrógeno. El Xcient tiene una autonomía de conducción por carga de unos 400 kilómetros, el reabastecimiento de combustible de cada camión Xcient lleva entre 8 y 20 minutos<sup>17</sup>.

- 4.73 Esta es la primera etapa de la estrategia de hidrógeno de la Compañía Hyundai Motor. Hyundai Motor Company formó Hyundai Hydrogen Mobility (HHM) en 2019, una empresa conjunta con la compañía suiza H2 Energy, que arrendará los camiones a operadores de camiones comerciales sobre la base del pago por uso, lo que significa que los clientes de la flota comercial no tendrán que desembolsar grandes sumas de dinero en efectivo en una inversión inicial, que es una de las barreras actuales de los vehículos de celdas de combustible.

---

<sup>17</sup> <https://thedriven.io/2020/07/08/hyundai-ships-first-fcev-heavy-duty-trucks-to-switzerland/>

## 5 Análisis de patrones de crecimiento para casos internacionales

- 5.1 En este capítulo se realiza un análisis de casos de estudio internacionales, con el objetivo de identificar las barreras y estrategias aplicadas en países que han presentado un desarrollo importante en el mercado de los vehículos de cero y bajas emisiones. En total se seleccionaron cinco casos, para cada uno se realiza una breve descripción del contexto y se presentan las estrategias que se han aplicado a nivel nacional y los facilitadores del despliegue de nuevas tecnologías vehiculares.
- 5.2 Para los casos de estudio se seleccionaron países de referencia en materia de despliegue exitosos de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones. El análisis de estos países permite estudiar las barreras y estrategias para reflexionar sobre la posibilidad de adaptarlos al contexto colombiano en etapas posteriores de este estudio.
- 5.3 Es importante reconocer que las condiciones históricas, jurídicas y gubernamentales de cada país son diferentes, e incluso si alguna medida o estrategia aplicada dio resultados positivos, esto no asegura que ocurra lo mismo en el caso de Colombia. En esta medida, no se pretende asociar condiciones o problemas específicos a un ejemplo internacional, por el contrario, se busca hacer un barrido general de condiciones y estrategias que pueden ser útiles en el contexto colombiano.
- 5.4 La selección de los casos de estudio se realizó a partir del análisis de información secundaria y de conocimiento del equipo consultor. Los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección de los casos fueron: Liderazgo del país en cuanto a participación en el mercado y volumen de ventas de vehículos de cero y bajas emisiones, metas establecidas en reducción de emisiones en el sector transporte y/o en despliegue de tecnologías vehiculares, al menos un país latinoamericano. Se realizó una propuesta de casos, la cual fue socializada y aprobada por el equipo de la UPME. Los casos seleccionados son:
- China
  - Unión Europea, con énfasis en Noruega y Alemania
  - Estados Unidos
  - Costa Rica
  - Chile
- 5.5 A continuación, se presenta el análisis de cada uno de estos casos.

## China

### Contexto

- 5.6 El origen del intenso despliegue de la electromovilidad en China se debe a la preocupación del Gobierno respecto a la calidad del aire y a la promoción del desarrollo económico con nuevas políticas industriales (ONU, 2020). Producto de esto, en el año 2019, China contaba con 3,3 millones de vehículos eléctricos circulando en su territorio, entre eléctricos de baterías e híbridos (International Energy Agency, 2020).
- 5.7 Con respecto a los buses, China acumula más de 400.000 en sus ciudades, abarcando más del 95% del total de buses eléctricos disponibles en el mundo (ONU, 2020; International Energy Agency, 2020). Pese a lo anterior, los registros de buses eléctricos en China han disminuido un 20% en el año 2019 derivado de la baja en el subsidio nacional (International Energy Agency, 2020).
- 5.8 Adicionalmente, en la penetración de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables, China también exhibe su liderazgo alcanzando una participación de mercado del 4.5% y con tendencia a seguir creciendo en los próximos años (Hui He, 2020). Con respecto a los vehículos comerciales, la penetración en China también está cerca del 5% (International Energy Agency, 2020; Hui He, 2020).

### Estrategias aplicadas

- 5.9 Para lograr el avance propuesto, China generó un marco normativo en 3 niveles: Un nivel estratégico, un nivel de políticas nacionales y otro de políticas subnacionales o locales.
- 5.10 Con respecto al nivel estratégico, se elaboraron dos tipos de planes: los planes a 5 años y los planes de largo plazo, llamados Planes Industrial Estratégicos. Estas hojas de ruta definen un marco general para la promoción de políticas pro Electromovilidad, jugando un rol fundamental para el crecimiento de esta tecnología. De esta forma, las políticas específicas de estándares, subsidios, financiamiento o regulación se desarrollaron siguiendo los principios de estos planes (Hui He, 2020).
- 5.11 El último plan estratégico a 5 años presentado por el Gobierno Chino definió una serie de objetivos, entre los cuales está que para el 2025, el 25% de las nuevas ventas sean de New Energy Vehicles. Además, se exponen metas sectoriales, como por ejemplo que la totalidad de la flota de buses sea eléctrica en 74 ciudades que enfrentan graves problemas de contaminación atmosférica. Lo anterior, para finales del 2022 (Hui He, 2020).
- 5.12 Con respecto a las políticas nacionales, hay dos que destacan: la política Central de subsidios y la política de créditos o cuotas para NEV. La política central de subsidios comenzó en el año 2009 con pilotos enfocados en el transporte público para luego transitar también a vehículos privados. A partir del año 2014 los montos han comenzado a disminuir y se espera que en unos años esta política sea retirada, ya que los valores de los NEV permiten competir sin subsidios (Hui He, 2020; Sustainable Transport in China, 2020). Mientras disminuyen los subsidios, el gobierno chino introdujo una nueva medida: la política de créditos o cuotas para NEV. Esta política consiste fundamentalmente en solicitar a los fabricantes producir cierta cantidad de vehículos eléctricos. Producto de esto, se estima que entre el año 2020 y 2023 las ventas de esta tecnología pasen desde un 5% a un 8% (Hui He, 2020). Además, se espera que los “NEV credits” puedan ser

transados en el mercado en el corto plazo, vendiendo créditos desde empresas que sobrepasan las cuotas exigidas hacia manufactureras que no lo consiguen.

- 5.13 Con respecto al nivel subnacional, destacan medidas innovadoras adecuadas a cada contexto para avanzar en los objetivos definidos nacionalmente. Entre estas políticas están las cuotas de vehículos eléctricos. Para combatir la alta congestión en megaciudades, se definieron cuotas máximas de registros de vehículos por año. En Beijing, el 60% de estos registros estaban reservados para NEV (Hui He, 2020). Otras políticas locales son incentivos tarifarios, estacionamientos públicos para NEV, prioridad en los accesos a áreas céntricas (donde se prohíbe vehículos a combustión interna), puntos de carga, entre otras (International Energy Agency, 2020; Hui He, 2020).

### **Facilitadores**

#### *Calidad del aire y definición Gubernamental*

- 5.14 Debido a los peligrosos niveles de contaminación atmosférica que experimentaban varias ciudades en China, el gobierno central emprendió una decidida acción para limpiar diferentes procesos productivos. En particular, la transformación del transporte en ciudades como Beijing, Shanghái, Shenzhen, Hangzhou o Tianjin han permitido que más del 12% de las ventas de vehículos del año 2019 sean de NEV (Hui He, 2020).

#### *Política de subsidios*

- 5.15 La política de subsidio ha jugado un rol clave en la adopción de NEV en China. Producto de esta medida se ha acelerado la transformación tecnológica, dinamizando el mercado y generando economías de escala en la producción, infraestructura y reparación y repuestos. Además, el rápido crecimiento de la Electromovilidad en China logró disminuir la incertidumbre sobre una nueva tecnología.

#### *Industria Nacional*

- 5.16 Su nivel de desarrollo industrial le permite a China definir nuevas estrategias productivas y con esto modificar el comportamiento de sus ciudadanos. Con respecto a la industria automotriz esto no es diferente. Hoy China concentra la mayor parte de la industria de fabricación de vehículos eléctricos (ONU, 2020). Muestra de esto es que, en el año 2018, China vendió 1,16 millones de vehículos ligeros eléctricos, cerca del 56% del total mundial. Este liderazgo se replicó también el año 2019 (Hui He, 2020).

#### *Los planes macro*

- 5.17 La generación de planes macro permitió delimitar objetivos y orientó el desarrollo de políticas específicas a partir de las definiciones estratégicas. De esta forma, el plan de largo plazo define una hoja de ruta clara, mientras que los planes quinquenales permiten actualizar las metas a medida que el desarrollo de los NEV se asienta en el país.

## Unión Europea

### Contexto

- 5.18 A finales de 2019 Europa contaba con 1.7 millones de vehículos eléctricos, lo cual representaba el 25% de las existencias mundiales. Noruega es el líder de participación en el mercado de vehículos eléctricos, con un 14% del total de su parque automotor siendo de esta tecnología. En segundo lugar, se encuentra Islandia, con un 4.4% de vehículos eléctricos en el total del parque automotor. Actualmente, solo cinco países a nivel mundial tienen una participación de vehículos eléctricos mayor a 1.5% del total, entre estos, cuatro son países europeos: Noruega (13%), Islandia (4,4%), Holanda (2,7%) y Suecia (2,0%) (IEA, 2020).
- 5.19 Con relación a las ventas absolutas de vehículos eléctricos en Europa las ventas, en 2019, aumentaron un 50% en relación con 2018. El 56% de los vehículos vendidos en 2019 en Noruega fueron eléctricos, mientras que en Islandia el 22% de las ventas corresponde a estos vehículos. En Alemania, en 2019, se vendieron 109,000 vehículos eléctricos. Francia, Holanda y Reino Unido tienen cada uno ventas superiores a 50,000 vehículos eléctricos en 2019.
- 5.20 Adicionalmente, Europa es un mercado importante en cuanto a ventas de PHEV; en Finlandia el 76% de vehículos vendidos en 2019 corresponde a estos vehículos, mientras que en Suecia este porcentaje fue de 61% y en el Reino Unido de 49%.

### Estrategias aplicadas

- 5.21 En general, a nivel mundial una gran cantidad de países están implementando políticas para promover tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones. Estas políticas adoptan diversas formas, por ejemplo: objetivos nacionales de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) para el sector transporte; objetivos de eficiencia de combustible y normas de emisión de dióxido de carbono; objetivos de existencias y ventas de EV; y apoyo financiero a los consumidores y fabricantes.
- 5.22 Particularmente en Europa, la implementación de estas políticas suele acompañarse por una visión a más largo plazo para eliminar gradualmente las ventas de vehículos con motor de combustión interna y lograr un 100% de ventas o existencias de vehículos de cero y bajas emisiones. En la siguiente tabla se presentan estos objetivos.

Tabla 5.1: Objetivos nacionales para vehículos de cero y bajas emisiones en países europeos

País	2025	2030	2035	2040	2050
Alemania		Entre 7 y 10 millones de BEV y FCEV			Todas las ventas de vehículos de pasajeros deben ser de cero emisiones

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 | Productos 1 al 6

País	2025	2030	2035	2040	2050
Dinamarca		1 millón de EV Prohibición de ventas de automóviles de gasolina y diésel	100% de las ventas de vehículos de cero emisiones		
Eslovenia		17% del parque automotor de EV 100% de las ventas de nuevos vehículos serán EV			
España		5 millones de EV		100% de las ventas de vehículos serán de cero emisiones	
Finlandia		250,000 vehículos (entre BEV, PHEV, FCEV)			
Francia	500,000 PHEV y 660,000 EV (2023)	1.8 millones de PHEV y 3 millones de EV (2028)		Prohibición de ventas de automóviles y camionetas que utilicen combustibles fósiles	
Holanda	15,000 FCEV	300,000 FCEV 100% de las ventas en vehículos de cero emisiones			

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 | Productos 1 al 6

País	2025	2030	2035	2040	2050
Irlanda		500,000 EV Prohibición de registro de automóviles de combustión interna			
Islandia		Prohibición de nuevos registros de automóviles diesel y de gasolina			
Italia		6 millones de vehículos impulsados por electricidad, de los cuales 4 millones BEV			
Noruega	100% de las ventas en vehículos de cero emisiones				
Polonia	1 millón de EV				
Portugal		30% del parque automotor en vehículos de cero emisiones		Prohibición de venta de vehículos de combustión interna	
Reino Unido		50-70% del parque automotor será EV	Prohibición en la venta de nuevos vehículos de combustión interna		
Suecia		Prohibición de venta de automóviles de combustión interna			
Unión Europea	13 millones de vehículos de cero y bajas emisiones				

Fuente: Steer a partir de International EV Outlook, 2020.

5.23 Además de estos objetivos y visión estratégica de los países, también se están promoviendo medidas para generar subsidios para la compra de los vehículos eléctricos y reducción de impuestos, con el propósito de estimular el desarrollo del mercado. Las medidas que han sido implementadas en países de Europa son las siguientes:

- Austria: Subsidios de 1,500 Euros para vehículos eléctricos y de celdas de combustible y 750 Euros para vehículos híbridos.
- Bélgica: Subsidios entre 2,000 y 4,000 Euros.
- Francia: Subsidios entre 6,000 y 3,000 Euros para vehículos BEV, FCEV y PHEV de menos de 20 gCO<sub>2</sub>/km. Adicionalmente, no hay impuesto por registro de vehículos en varias regiones del país.
- Alemania: Subsidios entre 5,000 y 6,000 Euros para vehículos de batería eléctrica.
- Italia: Subsidios entre 6,000 y 2,500 Euros dependiendo del nivel de emisiones del vehículo.
- Noruega: Exención de IVA para vehículos de batería eléctrica.
- Portugal: Subsidios de 3,000 Euros.
- España: Subsidios entre 1,300 y 5,500 Euros para vehículos híbridos y eléctricos.
- Suecia: Subsidios de 60,000 Coronas Suecas (aproximadamente 6,000 dólares americanos) para vehículos eléctricos y de celdas de combustible.
- Reino Unido: Subsidios de hasta 3,000 libras esterlinas para vehículos eléctricos e híbridos.

### **Facilitadores**

- 5.24 Los objetivos y políticas ambiciosas que se han planteado tanto por la Unión Europea como por cada uno de los países han transmitido un mensaje importante a la industria automotriz y a los compradores de vehículos nuevos, logrando un crecimiento importante desde que estas políticas fueron implementadas.

#### *Políticas relacionadas con vehículos*

- 5.25 En abril de 2019 se aprobaron nuevos estándares de emisiones de CO<sub>2</sub> para vehículos ligeros (Reglamento de la Unión Europea 2019/631). En estos se extendieron los objetivos de 2020 para automóviles nuevos (95 gramos de dióxido de carbono por kilómetro [gCO<sub>2</sub>/km]) y camionetas nuevas (147 gCO<sub>2</sub>/km) y se establecieron objetivos de emisión específicos para cada fabricante. Si un fabricante excede su objetivo de emisiones promedio, será multado. Con el fin de apoyar la adopción de nuevos vehículos de cero y bajas emisiones, en este nuevo reglamento se otorgan créditos a los fabricantes que registren altos porcentajes de vehículos que emitan menos de 50 gCO<sub>2</sub>/km.

- 5.26 Para el caso de los vehículos pesados, en 2019 la Unión Europea también introdujo un nuevo estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> (Reglamento de la Unión Europea 2019/1242). Estos nuevos estándares aplican para los camiones grandes, en promedio, estos camiones deberán ser un 15% más eficientes en su consumo de combustible para 2025 y al menos un 30% en 2030.

#### *Políticas relacionadas con la infraestructura de recarga*

- 5.27 Los países miembros de la Unión Europea deben establecer objetivos de despliegue de cargadores públicos para vehículos eléctricos con una proporción indicativa de 1 cargador por cada 10 vehículos eléctricos. La Comisión Europea prevé la necesidad de un millón de puntos de recarga en toda la Unión Europea para 2025, a fin de apoyar el despliegue acelerado de vehículos eléctricos.

### *Subsidios e instrumentos fiscales*

- 5.28 Como se mencionó previamente, varios países de la Unión Europea han implementado subsidios para la compra de vehículos eléctricos. Esto se ha realizado con el fin de disminuir la brecha de costos de adquisición existente entre vehículos de combustión interna y vehículos de cero y bajas emisiones. A futuro, se espera que esta brecha se reduzca y por lo tanto, no haya necesidad de subsidios. Esta idea se fundamenta también en el apoyo por parte de los gobiernos para promover el desarrollo y masificación de nuevas tecnologías vehiculares.

## **Estados Unidos**

### **Contexto**

- 5.29 La movilidad eléctrica sigue creciendo rápidamente. En 2019, la flota mundial de vehículos eléctricos superó 7,2 millones, 2 millones más que el año. Los automóviles eléctricos representan el 12.6% de las ventas mundiales de automóviles y cerca del 1% del stock mundial para el 2019. El 90% de las ventas mundiales de EV se concentran en China, Europa y Estados Unidos. Sin embargo, según la IEA, la pandemia de Covid-19 afectará a los mercados mundiales de vehículos eléctricos, aunque en menor medida que al mercado general de automóviles de pasajeros (International Energy Agency, 2020). Estados Unidos no está exento de lo anterior, adicionado a que en el país se ha venido presentando una disminución en la venta de vehículos eléctricos (BEV y PHEV) a partir del 2019 con una reducción del 25% en comparación con el año inmediatamente anterior (Irlle, 2019).
- 5.30 En Estados Unidos se adoptó la producción y distribución de vehículos de bajas y cero emisiones principalmente para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero, mejorar la calidad del aire, reducir la dependencia del petróleo y fomentar el crecimiento económico con tecnologías más limpias. Estas iniciativas empezaron a tener lugar a partir de una serie de medidas producidas a causa de la crisis del petróleo (EY & UPME, 2017). Adicionalmente, durante el gobierno de Obama se implementaron medidas para combatir el cambio climático, entre las cuales se destacaban las emisiones producidas por el sector transporte que generaba en 2018 el 28% del total de emisiones de los Estados Unidos (The White House President Barack Obama, 2016) (US Environmental Protection Agency – EPA, 2018).
- 5.31 De acuerdo con EY & UPME, la transición de Estados Unidos hacia el uso de vehículos de bajas y cero emisiones se dio a través del desarrollo de las Leyes Federales de las cuales se generan regulaciones, iniciativas y programas. Estas leyes se enfocan en la reducción de las emisiones de GEI y de contaminantes criterio, así como la disminución de la dependencia energética proveniente del exterior, como lo fue el petróleo en los años 70 (EY & UPME, 2017). Con la llegada de Trump al poder se han hecho modificaciones a las regulaciones del país que buscan combatir al cambio climático. Gran parte de los retrocesos se han llevado a cabo por la EPA, que derogó y reemplazó las reglas de emisiones para plantas y vehículos, entre otras. Entre las leyes que se mantuvieron se encuentran las normas de emisiones para camiones repotenciados (Popovich, Albeck-Ripka, & Pierre-Louis, 2020).
- 5.32 No obstante, el escenario ambiental, de acuerdo con el EIA los Estados Unidos y Canadá siguen destacando en el escenario de nuevas políticas, para 2030 las ventas de vehículos eléctricos en todos los modos (excluidos los vehículos de dos o tres ruedas) en los Estados Unidos representan

el 8% del mercado. En Canadá, alcanzan una participación de mercado del 29%, en línea con otros países líderes en la electrificación del transporte (Gobierno de Canadá, 2019). Esto también refleja una evolución en el desarrollo de la movilidad eléctrica que ocurre a dos velocidades en Canadá y Estados Unidos (International Energy Agency, 2019):

- Los 20 estados de EE. UU. Liderados por California que tienen la intención de desafiar legalmente la propuesta del gobierno federal de congelar las mejoras en la economía de combustible a partir de 2020. Diez estados han implementado un mandato de vehículos de cero emisiones (ZEV) y, junto con Canadá, se supone que verán un despliegue más rápido de vehículos eléctricos (ZEV Task Force, 2019; Hanley, 2019).
- Aparte de los diez estados de EE. UU. Con el objetivo de ZEV, se prevé que las ventas de vehículos eléctricos en los Estados Unidos evolucionen a un ritmo más lento que en otros mercados de vehículos importantes. Esto refleja el entorno político diferente y un margen más estrecho para la competitividad económica de los BEV y PHEV debido a los bajos impuestos sobre el combustible, a pesar de la mayor distancia anual promedio recorrida.

5.33 Dentro de los miembros del programa Global EV Pilot City, se resalta también la ciudad de Nueva York. El estado de Nueva York ha identificado la electrificación del transporte como una estrategia clave para reducir las emisiones nocivas de gases de efecto invernadero (GEI) como parte de su Plan Estatal de Energía (SEP). El sector del transporte representa más de un tercio de las emisiones de GEI del estado, y Nueva York gasta más de \$ 25 mil millones anuales en combustibles para transporte. El SEP incluye una visión de un "sistema de transporte más limpio, más eficiente y sostenible" como parte del objetivo más amplio de reducir las emisiones de GEI en un 40% para 2030 y un 80% para 2050. Como parte del Vehículo multiestatal de cero emisiones) memorando de entendimiento (MOU), el estado de Nueva York tiene como objetivo el despliegue de aproximadamente 850,000 vehículos eléctricos ligeros (EV) para 2025. (New York State Energy Research and Development Authority, 2019)

#### **Estrategias aplicadas**

5.34 Como se describió previamente, en Estado Unidos las políticas tienen una gran influencia en el desarrollo de la movilidad eléctrica. Desde 1970, con el establecimiento de los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental – NAAQS, siglas en inglés – se iniciaron los procesos que permitieron el fomento de vehículos que emplearan cero y bajas emisiones. Posterior a esto, dentro de las normas federales más relacionadas con lo anterior se encuentran controles de calidad de los combustibles, promoción del uso de combustibles alternativos, subsidios para combustibles limpios y programas de subsidios e incentivos fiscales para la producción y uso de combustibles alternativos (EY & UPME, 2017).

5.35 Por su parte, en los planes futuros del país para el fomento de vehículos de cero emisiones se presenta como paso inicial la adopción de estándares de carga y vehículos eléctricos. Los programas de adquisiciones impulsan la demanda y estimulan a los fabricantes de automóviles para que aumenten la disponibilidad de vehículos eléctricos en el mercado, además de impulsar un despliegue inicial de infraestructura de carga de acceso público (International Energy Agency, 2019).

**Objetivos:**

- 3,3 millones de vehículos eléctricos en ocho estados combinados para 2025; anunciado en el año 2014. Fuente Grupo de trabajo para la implementación del programa ZEV (PITF) (2014)
- Mandato ZEV en diez estados: 22% de ventas a crédito ZEV en turismos y camiones ligeros para 2025.; anunciado en el año 2016. Fuente ZEV PITF (2014)
- California: 1,5 millones de ZEV y 15% de las ventas efectivas para 2025, y 5 millones de ZEV para 2030; anunciado en 2016. Fuente Estado de California (2018; 2016) CARB (2016)

**Políticas de vehículos**

5.36 En la siguiente tabla se muestran las políticas aplicadas a vehículos eléctricos en Estados Unidos.

**Tabla 5.2: Políticas relacionadas con vehículos eléctricos Estados Unidos**

Políticas relacionadas con vehículos eléctricos		Estados Unidos
Regulación (Vehículos)	Mandato ZEV	✓ *
	Estándares de economía de combustibles	✓
Incentivos (Vehículos)	Incentivos Fiscales	✓
Objetivos (Vehículos)		✓ *
Políticas Industriales	Subvención	
Regulaciones (Cargadores)	Hardware normas **	✓
	Construyendo Regulaciones	✓ *
Incentivos (Cargadores)	Incentivos Fiscales	✓ *
Objetivos (Cargadores)		✓ *

Fuente: Tomado de (International Energy Agency, 2019)

\* Indica que la política solo se implementa a nivel estatal / provincial / local.

\*\*Los estándares para cargadores son un requisito previo fundamental para el desarrollo de equipos de suministro de vehículos eléctricos. Todas las regiones enumeradas aquí han desarrollado estándares para cargadores. Algunos (China, Unión Europea, India) imponen normas específicas como requisito mínimo; otros (Canadá, Japón, Estados Unidos) no lo son.

Notas: ZEV = vehículo de cero emisiones. La marca de verificación indica que la política se establece a nivel nacional. La normativa de construcción hace referencia a la obligación de instalar cargadores (o conductos para facilitar su futura instalación) en edificios nuevos y renovados. Los incentivos para los cargadores incluyen la inversión directa y los incentivos de compra para la carga pública y privada.

5.37 A continuación, se muestra las actualizaciones de políticas clave que se espera que impulsen la transición a la movilidad eléctrica en los Estados Unidos estas se resumen en siguiente tabla.

**Tabla 5.3: Resumen de las políticas de EV y EVSE en los Estados Unidos, 2018/19**

Tipo de Póliza	Descripción
Regulaciones (Vehículos)	El gobierno federal ha propuesto congelar los estándares de emisión de gases de efecto invernadero para LDV de 2022 a 2025. Veinte estados de EE. UU. Han manifestado su voluntad de adherirse a la actualización declarada anteriormente de los estándares corporativos de economía de combustible promedio (CAFE). Mandato ZEV en diez estados
Objetivo (Vehículos)	California apunta a tener 5 millones de vehículos eléctricos en las carreteras para 2030.
Política Industrial	La Oficina de Tecnologías de Vehículos del Departamento de Energía de EE. UU. Apoya el desarrollo de sistemas de propulsión eléctrica y de batería.
Incentivos (cargadores)	Los incentivos para implementar la infraestructura de carga se proporcionan en más de la mitad de los estados de EE. UU.

Fuente: Tomado de (International Energy Agency, 2019)

### Facilitadores

- 5.38 Estados Unidos ha incluido facilidades tributarias, subsidios, exenciones de movilidad y circulación, beneficios en el mercado automotriz, fortalecimiento de la infraestructura de recarga y apoyos financieros para fomentar y promover la movilidad en vehículos de cero y bajas emisiones.

#### *Tributarios*

- 5.39 En las facilidades tributarias se incluyen los diferentes créditos fiscales que representa una reducción en los impuestos por la adquisición de vehículos nuevos que usan combustibles alternativos o son eléctricos (EY & UPME, 2017).

#### *Subsidios*

- 5.40 Son programas que proveen fuentes de financiación relacionado con el mercado de los vehículos limpios y los combustibles. Muchos de estos programas se enfocan en un segmento vehicular, como buses, pero también existen programas que fomentan el transporte multimodal. De igual manera, se presentan subsidios enfocados a ayudar a los productores agrícolas independientes a expandir o iniciar actividades de valor agregado como la producción de biocombustibles, entre otros (EY & UPME, 2017).

### *Movilidad y circulación*

- 5.41 Este aspecto hace referencia a diferentes figuras, principalmente normativas, que brindan mayores ventajas sobre los vehículos tradicionales. Dentro de las medidas incluidas se presentan exenciones de carriles de vehículos de alta ocupación a los vehículos de combustible alternativo certificado, aunque no cumplan con el requisito de ocupación mínima, exenciones en zonas de bajas emisiones, entre otras (EY & UPME, 2017).

### *Mercado*

- 5.42 Existen diferentes iniciativas que directa o indirectamente buscan promover el uso de vehículos limpios en el país. La misión de *Clean Cities*, por ejemplo, tiene como objetivo promover la seguridad energética, económica y ambiental del país, apoyando iniciativas locales que reduzcan el uso del petróleo. También se presentan experiencias como la Asociación de Transporte SmartWay, la cual es un programa de la EPA con colaboración público-privada, basada en mecanismos de mercado entre la Agencia y la industria nacional de carga. De igual modo, mediante la normativa pueden generarse estándares obligatorios por segmento vehicular u otras restricciones que impongan condiciones de mercado diferentes (EY & UPME, 2017).

### *Financieros*

- 5.43 Los Estados Unidos cuentan con sistemas de financiamiento de inversiones estratégicas para facilitar la adquisición de vehículos de cero y bajas emisiones. Dentro de estos sistemas se han ofrecido el *21st Century Clean Transportation System*, el cual busca expandir las opciones de transporte e integrar nuevas tecnologías y está financiado por las empresas de petróleo. También se presentan préstamos para proyectos elegibles que reduzcan la contaminación del aire y gases de invernadero. De igual modo en este aspecto se destacan la financiación de proyectos de investigación, prueba implementación de programas de vehículos de cero y bajas emisiones y asistencia para cultivos de biomasa, entre otros (EY & UPME, 2017).

### *Infraestructura de Carga*

- 5.44 Según la IEA, Estados Unidos se encuentra entre los países que han aumentado su ambición de instalar instalaciones de carga rápida a lo largo de las carreteras. En California se incluyó una propuesta para invertir USD 900 millones para implementar 250,000 puntos de carga para 2025, de los cuales alrededor de 10,000 salidas deberían ser cargadores rápidos de CC; al mismo tiempo que otros estados están aumentando los compromisos financieros para cargar la infraestructura, principalmente a través de las empresas eléctricas. Nueva Jersey, California y Nueva York anunciaron inversiones por un total de casi USD 1,300 millones, lo que agrega más del 50% a la inversión impulsada por el gobierno existente en los Estados Unidos hasta el momento (International Energy Agency, 2019)

## **Costa Rica**

### **Contexto**

- 5.45 Este año 2020, Costa Rica ha publicado el primer informe de seguimiento de la ejecución de su Plan de Descarbonización (Presidencia del Gobierno de Costa Rica, 2020). Aquí se muestran avances en diferentes ejes de acción.

- 5.46 Con respecto a la adopción de buses eléctricos, Costa Rica comenzará en noviembre del 2020 a operar 3 e-buses en las rutas de San José-Alajuela, San José- Tres Ríos y San José-Desamparados. Este piloto se enmarca en una posible compra de e-buses por medio de concesión en el año 2021 (Portalmovilidad, 2020). En particular, el Gobierno deberá definir una cuota mínima de e-buses para el futuro proceso de licitación según la ley de Incentivos y Promoción al Transporte Eléctrico aprobada el 2018.
- 5.47 Entre los avances en transporte privado está el Plan Nacional de Transporte Eléctrico, y el marco normativo que reglamenta la operación, carga, mantenimiento y repuestos, directrices para recambio de flotas instituciones, incentivos y otras materias relevantes para la Electromovilidad. De esta forma, diferentes instituciones públicas ya han comprado más de 200 autos eléctricos. Esto se ve en distintos organismos, como el Correos de Costa Rica y la Policía de Tránsito, los que emplean motocicletas eléctricas, o el Instituto Costarricense de Energía (ICE), que posee 100 vehículos eléctricos (Presidencia del Gobierno de Costa Rica, 2020). Con todo lo anterior, a septiembre del 2020, Costa Rica ya cuenta con más de 1.200 autos eléctricos (Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica, 2020). A su vez, se deben sumar cerca de 650 motocicletas eléctricas y 1.192 otros vehículos eléctricos registrados. Con lo anterior, el país centroamericano supera los 3.000 vehículos eléctricos para septiembre del 2020 (Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica, 2020).
- 5.48 Con respecto a los puntos de carga, el país ya cuenta con más de 130 centros de carga rápida o semirápida a lo largo del país (Presidencia del Gobierno de Costa Rica, 2020).

#### **Estrategias aplicadas**

- 5.49 El año 2018 el Gobierno de Costa Rica presentó el plan de Descarbonización con miras al 2050. Este documento estratégico tiene como finalidad ser una hoja de ruta para consolidar el proceso de descarbonización de la economía costarricense. Para lo anterior, este plan contiene etapas, ejes temáticos, paquetes de medidas, objetivos por eje, líneas de acción y actividades específicas para avanzar en la descarbonización del país. El plan identifica 3 grandes etapas para lograr el objetivo propuesto: etapa inicial (2018 – 2022), etapa de inflexión (2023 - 2030) y etapa de normalización del cambio o despliegue masivo (2031-2050) (Gobierno de Costa Rica, 2018). De esta forma, se definen 10 ejes a descarbonizar, siendo los 2 primeros los ejes de Transporte Público y Transporte Privado. Para esto, se proponen paquetes de medidas que consideran políticas concretas, de implementación de proyectos y acceso a financiamiento (Gobierno de Costa Rica, 2018).
- 5.50 Con respecto a las metas, uno de los objetivos definidos fue que el 30% del total de vehículos deben ser eléctricos al 2035 y el 100% de las ventas de vehículos deben ser cero emisiones para el 2050. Otra meta fue que 70% de los taxis debían ser eléctricos para el 2035 y el 100% para el 2050. Finalmente, para este mismo año, se busca que el sistema de transporte público sustituya al automóvil particular como la primera opción en movilidad para la población de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM) (Agencia Internacional de Energía, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2018).
- 5.51 De estos objetivos se desprenden acciones para el transporte público y privado en cada etapa. En particular, aquí se presentan las más significativas para el periodo 2019-2022:

### *Transporte Público*

- Establecer el programa de electrificación del transporte público, el cual considera:
  - Implementación del piloto de tres e-buses en rutas del GAM
  - Diseño de alternativas de financiamiento e incentivos para la adquisición de esta tecnología en empresas de transporte
  - Diseño de un nuevo esquema tarifario que faciliten la inclusión de e-buses.
  - Establecimiento de un cronograma de adopción de buses eléctricos.
  - Alineación de los contratos de concesión 2021 con los objetivos y metas de este plan.
- Identificar y evaluar las opciones para electrificar la flota de taxis
- Diseñar un plan de Impulso al hidrógeno y otras tecnologías cero emisiones.

### *Transporte Privado*

- Implementar planes de transición a transporte cero emisiones en flotas institucionales:
  - Ajustar esquema de compras del Estado
  - Implementar programas piloto para el cambio de flotas institucionales
- Consolidar la Red de carga rápida
- Generar el Plan Nacional de Transporte Eléctrico y elaborar normas complementarias
  - Trabajar en la normativa de prohibición de importación de vehículos livianos de combustión interna

5.52 En particular, el Plan Nacional de Transporte Eléctrico tiene un horizonte de planificación de doce años y describe las acciones para fortalecer y promocionar el transporte eléctrico en Costa Rica (Gobierno de Costa Rica, 2018). Este plan busca generar una articulación integral que garantice la participación de instituciones públicas, la sociedad civil y sectores vinculados. Para esto, se establecen instancias de coordinación y se define la forma de seguimiento y evaluación (Subsecretaría de Planificación, Subsector Energía, 2019).

5.53 Finalmente, entre los incentivos más significativos de la normativa costarricense, está la Ley de Movilidad Eléctrica, la que exime de impuestos a todos los tipos de Electromovilidad por un periodo de tiempo, acelerando así la adopción de estas tecnologías.

### **Facilitadores**

#### *Matriz energética limpia*

5.54 Un aspecto relevante para impulsar la Electromovilidad en Costa Rica es la matriz energética del país. Para el año 2019, más del 99% de la generación eléctrica del país fue renovable. Además, el Sistema Eléctrico Nacional ha dado muestras de ser robusto, ya que, pese a la disminución de lluvias del último año, la matriz se ha mantenido limpia gracias al mayor aporte de las fuentes no hídricas (Presidencia del Gobierno de Costa Rica, 2020).

#### *Impulso de la sociedad civil*

5.55 La temprana participación de la sociedad civil, producto de un alto interés, ha permitido generar planes que sean significativos para toda la población. La elaboración del Plan de Descarbonización y el Plan Nacional de Transporte Eléctrico son ejemplos de aquello.

### *Prioridad Gubernamental*

- 5.56 La prioridad gubernamental fue crucial para acelerar la adopción de la Electromovilidad en Costa Rica. Las iniciativas como planes, leyes, regulaciones, proyectos y adquisiciones han permitido avanzar rápidamente en vehículos eléctricos. Además, esto ha ayudado a disminuir la incertidumbre que puede percibir la población general ante una nueva tecnología.

### *Apoyo Internacional*

- 5.57 Para el desarrollo del piloto en el transporte público, el Gobierno Alemán donó 3 buses eléctrico BYD. A su vez, este país a través de la Cooperación Alemana GIZ, entregó las respectivas estaciones de carga que funcionarán en San José. En este proceso, también participa ONU Ambiente, El Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Centroamericano de Integración Económica, entre otros (Presidencia del Gobierno de Costa Rica, 2020).

### *Características del Territorio nacional*

- 5.58 El tamaño del país hace que las distancias recorridas por los automóviles no sean largas. En particular, la mayor distancia ronda los 500 kilómetros. Esto facilita la adopción de la Electromovilidad, ya que, con un número no muy elevado de electrolinerías, se consigue recorrer el país sin problemas de autonomía.

## Chile

### **Contexto**

- 5.59 Durante los últimos años, Chile se ha convertido en el segundo país del mundo con el mayor número de buses eléctricos en su flota de transporte público. En el año 2017, como resultado de una asociación entre empresas de energía y operadores de buses, además del apoyo del Ministerio de Transporte, se probaron 3 e-buses en la operación de dos empresas de Transantiago en un período de 18 meses. Esta experiencia permitió la incorporación de 200 e-buses adicionales que operan en la ciudad de Santiago, y la posterior llegada de 208 e-buses para fines de 2019. Luego, durante 2020, se adicionó una nueva flota de e-buses al sistema. Con esto, el sistema de transporte público de Santiago llegó a más de 770 buses eléctricos, alcanzando cerca del 10% del total de la flota (Directorio de Transporte Público Metropolitano, 2019).
- 5.60 El proceso de licitación cancelado a principios de 2018, el cual establecía un mínimo de 15 buses limpios por cada unidad de negocio, preparó el contexto de negociación entre fabricantes de buses, empresas energéticas (como financistas) y operadores de buses. Esto último permitió concretar la posterior adopción de la actual flota de buses eléctricos, más allá del fallido proceso de licitación.
- 5.61 Con respecto a los vehículos privados, el desarrollo ha sido más lento. Para marzo del 2020 Chile contaba con cerca de 700 vehículos livianos y medianos eléctricos circulando. La venta de estos vehículos sigue teniendo características de nicho, representando solo el 0,09% de los vehículos ligeros y medianos comercializados en el país durante los primeros 3 meses de este año.

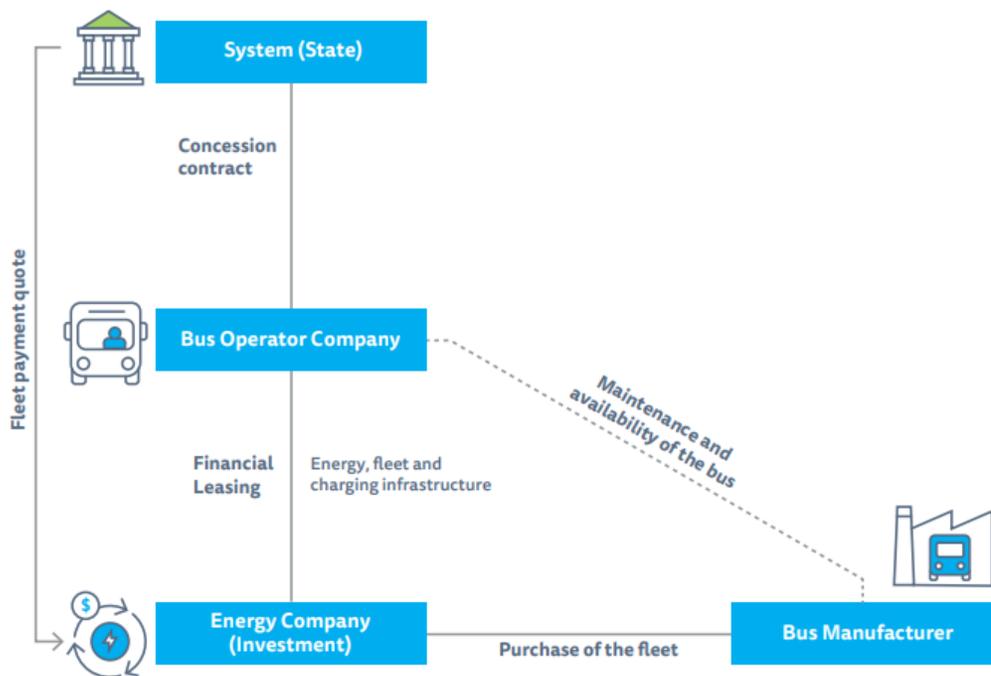
### **Estrategias aplicadas**

- 5.62 Desde hace unos años la legislación incorpora la Electromovilidad como una medida eficiente que debe ser impulsada. Estos incentivos van desde beneficios económicos hasta facilidades para la

operación de estos vehículos, los cuales también pueden ser monetizados. Los principales incentivos tienen un alcance nacional o regional, destacando la exención del pago del “impuesto verde” o el subsidio al Transporte Público Remunerado de pasajeros para renovar el parque de taxis colectivos a nivel nacional. Esto, además de disposiciones sectoriales, como el Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana, las disposiciones exigidas en material de licitaciones públicas e incluso contratación pública, las cuales en su conjunto promueven la elección de vehículos eléctricos. Además, dentro de los planes y objetivos nacionales, Chile definió que el 100% de su flota de buses en el transporte público debe ser eléctrica al 2040, y el 60% de los vehículos privados al 2050 (Ministerio de Energía, 2019).

- 5.63 Para la adopción de e-buses en el Transporte Público, el modelo de negocios usado fue una asociación público-privada (PPP) entre el Estado y las empresas involucradas. Los actores participantes fueron los operadores de buses, las empresas fabricantes de buses, las empresas de energía (como financistas), y diferentes instituciones del Estado. Las responsabilidades que asume cada actor podían variar ligeramente entre distintas PPP, pero la siguiente imagen esquematiza la estructura general de esta asociación.

Figura 5.1: Diagrama de organización de los actores involucrados en la PPP



Fuente: Lessons from Chile’s Experience with E-mobility: The Integration of E-Buses in Santiago, 2020

- 5.64 De esta forma, la PPP general considera un inversor que compra la flota de autobuses y tiene un contrato de *leasing* financiero con el operador de buses. En la mayoría de los casos, las empresas de energía Enel y Engie desempeñaron este papel, como empresas internacionales financieramente fuertes. Pese a que financiar buses no es parte de su negocio principal, vieron en esta inversión la oportunidad de acelerar la adopción de e-buses en el mercado y generar requerimientos de infraestructura y energía (lo cual si es parte de su *core business*). Este contrato

de *leasing* se basa en un pago mensual que considera la provisión de la flota, la infraestructura de carga y la venta de electricidad (World Bank, 2020).

- 5.65 Por su parte, el contrato de licitación entre el Estado y los operadores asegura estabilidad financiera, por lo que las empresas de energía visualizaron que podían realizar inversiones seguras. Para esto último fue clave un mecanismo que permite que el pago por el *leasing* lo abone directamente el Estado al inversionista. De esta forma, el Estado resta del pago mensual al operador el monto corresponde al contrato de *leasing*, y paga la suma directa al inversor, lo que minimiza el riesgo de no pago. A su vez, los operadores y los proveedores firmaron un contrato de provisión, aprobado por el Estado, que especifica que no importa qué empresa esté operando los e-buses, el Estado garantiza que los buses permanecerán dentro del sistema por un periodo determinado (World Bank, 2020).
- 5.66 Con respecto a la mantención y la disponibilidad de los e-buses, hay diferentes esquemas que van desde la responsabilidad total del operador hasta la responsabilidad total de la empresa manufacturera.

#### **Facilitadores**

- 5.67 Los facilitadores que permitieron la rápida adopción de buses eléctricos en Santiago de Chile son variados e interrelacionados. A continuación, se expondrán los más significativos.

#### *Pilotos de prueba y certificación de buses*

- 5.68 La realización de pilotos en condiciones reales de operación permitió conocer esta nueva tecnología en las condiciones entregadas por las calles de Santiago. Esta experiencia también permitió adaptar los estándares de los e-buses a las características de los servicios y la infraestructura de Santiago. A su vez, los pilotos permitieron generar un robusto proceso de certificación para los e-buses, el cual contaba con pruebas específicas para esta tecnología (World Bank, 2020).

#### *Desarrollo del mercado chino*

- 5.69 El desarrollo del mercado de e-buses ha sido impulsado principalmente por las manufactureras chinas. Desde la decisión del gobierno chino de adoptar buses eléctricos para combatir la contaminación de sus ciudades, el crecimiento de esta tecnología ha sido significativo. Por lo anterior, las empresas manufactureras han comenzado a expandirse a otros países, siendo BYD, Yutong y Futon las que han entrado en el mercado chileno. Esta entrada de varios actores los ha forzado a mejorar sus ofertas en precios y servicios adicionales (World Bank, 2020).

#### *Tratados de libre mercado de Chile y el bajo riesgo del país*

- 5.70 Chile tiene una política de mercados abiertos a través de varios acuerdos de libre comercio. Uno de estos tratados fue firmado con China, lo que permitió el libre tránsito de los productos sin el cobro de aranceles. Además, Chile cuenta con una baja calificación de riesgo financiero, lo cual es un aspecto clave para la participación de compañías como Enel o Engie en nuevos negocios (World Bank, 2020).

### Características contractuales

- 5.71 La posibilidad de generar un pago directo desde el Estado hacia el financista (Enel y Engie en este caso), facilitó la participación de estas empresas. Esta herramienta en el contrato de concesión entre el Estado y el operador permitió entregarles certeza a los financistas del pago, disminuyendo la incertidumbre.
- 5.72 Además, el aseguramiento de la continuidad del negocio para los financistas permitió impulsar esta PPP. El Estado de Chile firmó un contrato de provisión que aseguraba a los financistas que, sin importar el futuro operador, sus buses continuarán en el sistema hasta que hayan sido pagado en su totalidad.

### Prioridad Gubernamental: flexibilidad en los análisis y rapidez en los procesos para la construcción de e-terminales

- 5.73 Santiago no hubiese estado apto para tener cientos de e-buses en las calles si no fuese por el impulso del Estado. La acción del Gobierno fue crucial para catalizar los facilitadores y resolver las barreras que se podían presentar (World Bank, 2020).

## Facilitadores y barreras de casos de estudio

- 5.74 En la siguiente tabla se presenta el resumen de los facilitadores y barreras para cada uno de los casos de estudio, destacando las lecciones aprendidas para el contexto colombiano.

**Tabla 5.4: Resumen de estrategias y facilitadores de casos de estudio**

País	Estrategias aplicadas	Facilitadores
China	<p>Para 2025 el objetivo es que el 25% de las nuevas ventas sean NEV</p> <p>Política central de subsidios en el año 2009 enfocada en el transporte público para luego transitar también a vehículos privados.</p> <p>En 2014 disminuyen subsidios y se introduce política de créditos o montos para NEV.</p> <p>Cuota reservada para NEV dentro de máximo permitido de vehículos registrados en algunas ciudades.</p> <p>Incentivos tarifarios, estacionamientos públicos, prioridad de acceso a ciudades y puntos de carga para NEV</p>	<p>Acciones del gobierno central para limpiar diferentes procesos productivos. La transformación del transporte en ciudades como Beijing, Shanghái, Shenzhen, Hangzhou o Tianjin han permitido que más del 12% de las ventas de vehículos del año 2019 sean de NEV.</p> <p>Política de subsidio: ha acelerado la transformación tecnológica, dinamizando el mercado y generando economías de escala en la producción, infraestructura y reparación y repuestos.</p> <p>La industrial nacional: le permite a China definir nuevas estrategias productivas y con esto modificar el comportamiento de sus ciudadanos.</p> <p>Planes macro: permitieron delimitar objetivos y orientaron el desarrollo de políticas específicas a partir de las definiciones estratégicas.</p>
Unión Europea	<p>Varios países de la UE definen sus propios hitos hasta el año 2040 en cuanto a venta de vehículos de bajas emisiones, su porcentaje en el parque automotor y prohibición de vehículos de combustión interna.</p>	<p>En abril de 2019 se aprobaron nuevos estándares de emisiones de CO2 para vehículos ligeros</p> <p>Se introdujo un nuevo estándar de emisiones de CO2 para vehículos pesados, que aplican</p>

País	Estrategias aplicadas	Facilitadores
	<p>Austria: Subsidios de 1,500 Euros para vehículos eléctricos y de celdas de combustible y 750 Euros para vehículos híbridos.</p> <p>Bélgica: Subsidios entre 2,000 y 4,000 Euros.</p> <p>Francia: Subsidios entre 6,000 y 3,000 Euros para vehículos BEV, FCEV y PHEV de menos de 20 gCO<sub>2</sub>/km. Adicionalmente, no hay impuesto por registro de vehículos en varias regiones del país.</p> <p>Alemania: Subsidios entre 5,000 y 6,000 Euros para vehículos de batería eléctrica.</p> <p>Italia: Subsidios entre 6,000 y 2,500 Euros dependiendo del nivel de emisiones del vehículo.</p> <p>Noruega: Exención de IVA para vehículos de batería eléctrica.</p> <p>Portugal: Subsidios de 3,000 Euros.</p> <p>España: Subsidios entre 1,300 y 5,500 Euros para vehículos híbridos y eléctricos.</p> <p>Suecia: Subsidios de 60,000 Coronas Suecas (aproximadamente 6,000 dólares americanos) para vehículos eléctricos y de celdas de combustible.</p> <p>Reino Unido: Subsidios de hasta 3,000 libras esterlinas para vehículos eléctricos e híbridos</p>	<p>para los camiones grandes que, en promedio, deberán ser un 15% más eficientes en su consumo de combustible para 2025 y al menos un 30% en 2030.</p> <p>Los países de la UE deben establecer objetivos de despliegue de cargadores públicos para vehículos eléctricos con una proporción indicativa de 1 cargador por cada 10 vehículos eléctricos.</p> <p>Varios países de la UE han implementado subsidios para la compra de vehículos eléctricos con el fin de disminuir la brecha de costos de adquisición existente entre vehículos de combustión interna y vehículos de cero y bajas emisiones.</p>
Estados Unidos	<p>Desde 1970 se iniciaron los procesos que permitieron el fomento de vehículos que emplearan cero y bajas emisiones. Controles de calidad de los combustibles, promoción del uso de combustibles alternativos, subsidios para combustibles limpios y programas de subsidios e incentivos fiscales para la producción y uso de combustibles alternativos.</p> <p>3,3 millones de vehículos eléctricos en ocho estados combinados para 2025.</p> <p>Mandato ZEV en diez estados: 22% de ventas a crédito ZEV en turismos y camiones ligeros para 2025.</p> <p>California: 1,5 millones de ZEV y 15% de las ventas efectivas para 2025, y 5 millones de ZEV para 2030.</p>	<p>Como facilidades tributarias se incluyen los diferentes créditos fiscales que representa una reducción en los impuestos por la adquisición de vehículos nuevos que usan combustibles alternativos o son eléctricos.</p> <p>Programas de subsidios que proveen fuentes de financiación relacionado con el mercado de los vehículos limpios y los combustibles.</p> <p>Normativas que brindan mayores ventajas sobre los vehículos tradicionales.</p> <p>La misión de Clean Cities tiene como objetivo promover la seguridad energética, económica y ambiental del país, apoyando iniciativas locales que reduzcan el uso del petróleo.</p> <p>Cuentan con sistemas de financiamiento de inversiones estratégicas para facilitar la adquisición de vehículos de cero y bajas emisiones.</p> <p>Gran ambición de desplegar instalaciones de carga rápida a lo largo de las carreteras.</p>

País	Estrategias aplicadas	Facilitadores
Costa Rica	<p>Programa de electrificación del transporte público, el cual considera alternativas de financiamiento e incentivos para la adquisición de nuevas tecnologías, diseño de un nuevo esquema tarifario que faciliten la inclusión de e-buses, cronograma de adopción de buses eléctricos, alineación de los contratos de concesión 2021 con los objetivos y metas de este plan, evaluar las opciones para electrificar la flota de taxis y un plan de impulso al hidrógeno y otras tecnologías cero emisiones.</p> <p>Para transporte privado: implementar planes de transición a transporte cero emisiones en flotas institucionales, consolidar la Red de carga rápida, generar el Plan Nacional de Transporte Eléctrico y elaborar normas complementarias</p>	<p>Matriz energética del país: Para el año 2019, más del 99% de la generación eléctrica del país fue renovable.</p> <p>Temprana participación de la sociedad civil que ha permitido generar planes que sean significativos para toda la población.</p> <p>La prioridad gubernamental fue crucial para acelerar la adopción de la Electromovilidad en Costa Rica.</p> <p>Apoyo internacional: para el desarrollo del piloto en el transporte público, el Gobierno Alemán donó 3 buses eléctrico BYD. También, a través de la Cooperación Alemana GIZ, entregó las respectivas estaciones de carga que funcionarán en San José.</p> <p>El tamaño del país hace que las distancias recorridas por los automóviles no sean largas. En particular, la mayor distancia ronda los 500 kilómetros.</p>
Chile	<p>Incentivos con alcance nacional o regional, destacando la exención del pago del “impuesto verde” o el subsidio al Transporte Público Remunerado de pasajeros para renovar el parque de taxis colectivos a nivel nacional.</p> <p>Disposiciones sectoriales como el Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana.</p> <p>Chile definió que el 100% de su flota de buses en el transporte público debe ser eléctrica al 2040, y el 60% de los vehículos privados al 2050</p> <p>Asociaciones público-privadas entre operadores, fabricantes, empresas de energía e instituciones del Estado como modelo de negocio para la adopción de e-buses.</p>	<p>La realización de pilotos en condiciones reales de operación permitió conocer esta nueva tecnología en las condiciones entregadas por las calles de Santiago.</p> <p>El desarrollo del mercado de e-buses ha sido impulsado principalmente por las manufactureras chinas. BYD, Yutong y Futon han entrado en el mercado chileno.</p> <p>Política de mercados abiertos a través de varios acuerdos de libre comercio.</p> <p>La posibilidad de generar un pago directo desde el Estado hacia el financista, que permite entregarles certeza a los financistas del pago, disminuyendo la incertidumbre.</p>

Fuente: 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 | Productos 1 al 6

## Etapa II

## 6 Análisis de motores de cambio

- 6.1 En este capítulo se presenta la definición y análisis los motores de cambio (drivers) que pueden condicionar la adopción de tecnologías de cero y bajas emisiones, en las diferentes clases de vehículos y modalidades de transporte a nivel nacional.
- 6.2 El enfoque propuesto requiere de la identificación de dimensiones que definen los eventos en cada escenario, los motores de cambios de cada dimensión y las trayectorias de estos. Las diferentes combinaciones de las trayectorias de los motores de cambio explican el comportamiento de la dimensión a la que pertenecen.
- 6.3 Para reconocer y evaluar cómo se desarrollará una determinada dimensión en el futuro se debe considerar cómo evolucionarán los factores relevantes que la rodean. A partir de estos supuestos, es posible formular perspectivas consistentes sobre el futuro y los impactos asociados a este.
- 6.4 La selección de las dimensiones procura explicar la totalidad del contexto que puede desarrollarse en cada uno de los escenarios, sin embargo, es importante reconocer que en el futuro podrían aparecer otras dimensiones o condicionantes que tendrían un impacto que no se menciona en este documento. Esta selección se realizó a partir de los resultados de la etapa 1 del estudio incluyendo el análisis de casos internacionales y la revisión de literatura relacionada con nuevas tecnologías vehiculares. Las dimensiones seleccionadas para este análisis son:
- Socioeconómica
  - Financiera
  - Tecnológica
  - Movilidad
- 6.5 Para definir los condicionantes (motores de cambio) para cada dimensión se realizaron análisis teniendo en cuenta los siguientes criterios:
- Existencia de indicadores o variables cuantitativas
  - Disponibilidad de información
  - Relevancia del motor de cambio
  - Nivel de incidencia en el largo plazo
- 6.6 En la siguiente tabla se presenta el resumen de los motores de cambio definidos con sus respectivas dimensiones y fuentes de información.

**Tabla 6.1: Motores de cambio para el análisis de escenarios**

Dimensión	Motor de cambio	Fuente
Socioeconómica	Crecimiento poblacional	Proyecciones de población del DANE calculadas con base en los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda -CNPV- 2018
	Crecimiento del PIB	Proyecciones del PIB para Colombia del Latin American Consensus Forecasts
Financiera	Precio de energéticos	Para combustibles líquidos: tendencia histórica de precios de referencia de la Gasolina Motor Corriente y el ACPM. Sicom. Para Energía eléctrica: publicaciones tarifarias empresas e información de Asocodis. GNV: información empresas y naturgas.
	Precio de compra de vehículos	Comportamiento histórico de precios de vehículos disponibles en Colombia publicados por Fasecolda
	Costo de operación y mantenimiento anual	Entrevistas e información secundaria
Tecnológica	Disponibilidad de tecnologías vehiculares	Resultados Etapa 1 del presente estudio
	Disponibilidad de infraestructura de recarga de energéticos	Entrevistas e información secundaria
	Edad del parque automotor	Política pública relacionada con reposición del parque automotor
Movilidad	Restricción a la compra de vehículos de combustión interna	Supuesto de política pública
	Zonas de cero y bajas emisiones en áreas urbanas	Supuesto de política pública

Fuente: Steer, 2020.

6.7 A continuación, se realiza una breve explicación de la relevancia de cada dimensión en el marco de este estudio.

### Dimensión socioeconómica

6.8 Esta dimensión se incluye dentro del análisis debido a que el crecimiento de la economía y la caracterización de la población ayuda a determinar la cantidad, modos y características del parque automotor. El nivel de ingresos y la actividad económica están altamente correlacionados con la demanda de vehículos.

6.9 La dimensión socioeconómica incluye principalmente temas relacionados con la demografía y economía. La demografía se refiere a la caracterización de la población y generalmente está limitada a medidas del tamaño de la población, su estructura básica y su cambio en el tiempo. La

economía, por otro lado, presenta una alta influencia sobre la compra de vehículos y la elección de tecnología vehicular. Los motores de cambio seleccionados para esta dimensión son:

- Crecimiento poblacional
- Crecimiento del PIB nacional

6.10 Estos motores de cambio afectan directamente la compra de vehículos de uso particular y el crecimiento de la flota de servicio público. Adicionalmente, el PIB tiene una incidencia directa en el sector de carga y logística del país, afectando el tamaño y crecimiento de la flota de carga.

### Dimensión financiera

6.11 Esta dimensión hace referencia a los gastos relacionados con la compra de un vehículo incluido el gasto inicial y los gastos asociados a impuestos y mantenimiento. La importancia de esta dimensión es considerar las variables que influyen sobre la demanda de vehículos de cero y bajas emisiones y los determinantes de compra de los usuarios. Los motores de cambio seleccionados para esta dimensión son:

- Precio de energéticos
- Precio de compra de vehículos
- Costo de operación y mantenimiento anual

6.12 A partir del Plan Nacional de Desarrollo, el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Hacienda y Crédito Público establecen la metodología de cálculo del ingreso al productor y de los factores de remuneración de la cadena de transporte, distribución y comercialización de los combustibles líquidos para uso automotor en Colombia.

6.13 La estructura del precio final de la gasolina corriente motor y el ACPM se divide en cuatro grandes partes de la cadena de producción y comercialización del combustible: producción o importación, transporte, distribución mayorista y distribución minorista. En la siguiente tabla se presentan los componentes de la estructura del precio de la gasolina y el ACPM.

**Tabla 6.2: Componentes de la estructura del precio de la gasolina y el ACPM**

Gasolina	ACPM
Ingreso al productor	Ingreso al productor
Impuesto nacional	Impuesto nacional
IVA	IVA
Impuesto al carbono	Impuesto al carbono
Tarifa de marcación	Tarifa de marcación
Tarifa de transporte poliductos	Tarifa de transporte poliductos
Tarifa de transporte alcohol	Tarifa de transporte biocombustible
Margen de plan de continuidad	Margen de plan de continuidad
Margen del distribuidor mayorista	Margen del distribuidor mayorista
IVA al margen de distribuidor mayorista	IVA al margen de distribuidor mayorista
Sobretasa	Sobretasa
Margen del distribuidor minorista	Margen del distribuidor minorista
Perdida de evaporación	Transporte de planta de abasto a estación de servicio

Gasolina	ACPM
Transporte de planta de abasto a estación de servicio	

Fuente: SICOM, 2020.

6.14 Por otro lado, la CREG es la entidad encargada de definir metodologías y fórmulas tarifarias para que las empresas determinen el cobro de tarifa a usuarios finales del gas natural en el país. La CREG por medio de las Resoluciones CREG 202 de 2013, 138 de 2014, 090 y 132 de 2018, y 011 de 2020, estableció los criterios generales para remunerar las actividades de distribución y comercialización de gas combustible. La tarifa del gas natural se afectada por los siguientes factores:

- Costo del gas.
- Tasa representativa del mercado.
- Condiciones económicas de los contratos de compra y transporte de gas que adquieren los comercializadores.
- Origen y la trayectoria del gas comprado.
- Variación de los indicadores económicos IPC e IPP.

6.15 En cuanto al GLP, la CREG mediante la Resolución CREG 180 de 2009 aprobó la fórmula tarifaria de la prestación del servicio de Gas Licuado del Petróleo - GLP, que incorpora los siguientes elementos:

- Costo de GLP para el distribuidor (incluye los costos de la producción en refinería, los insumos utilizados en las mezclas, la tasa representativa del mercado y el costo de transporte según la fuente)
- Transporte por ductos
- Distribución
- Comercialización

### Dimensión tecnológica

6.16 Esta dimensión comprende los temas relacionados con la disponibilidad de tecnologías vehiculares en el país y la infraestructura de carga asociada a estos.

- Disponibilidad de tecnologías vehiculares
- Disponibilidad de infraestructura de recarga de energéticos
- Edad del parque automotor

6.17 En este estudio se consideran las tecnologías vehiculares actualmente disponibles en el país y se incluyen tecnologías que aunque no estén disponibles en el mercado nacional se espera que a futuro exista oferta de estas. La disponibilidad de esta oferta depende de varios factores, sin embargo se considera que desde el gobierno nacional se pueden generar acciones para promover la entrada de nuevas tecnologías vehiculares al país.

6.18 Uno de los factores relacionados con la masificación de nuevas tecnologías vehiculares es la disponibilidad de infraestructura de recarga. Para el caso de la energía eléctrica es importante considerar no solo la recarga pública sino también la regulación asociada a la recarga en el hogar. Un factor determinante para la expansión de esta infraestructura es la implementación de una política pública para precios de distribución masiva para vehículos.

- 6.19 En materia de infraestructura de carga eléctrica pública, las estaciones deben pagar la contribución del 20% de la tarifa haciendo menos atractivo el servicio para usuarios sin contribución o con subsidios en su lugar de residencia o trabajo (estratos 1 a 4 e industriales).

### Dimensión de movilidad

- 6.20 La dimensión de movilidad está relacionada con políticas públicas de movilidad a nivel nacional y a nivel local. La selección de los motores de cambios obedece a tendencias internacionales y a políticas relacionadas con planes de movilidad que deben adoptar los municipios del país con más de 100,000 habitantes.
- 6.21 En ese sentido, se han identificado dos políticas de movilidad urbana viables de implementar y que se identifican como motores de cambio:
- Restricción a la compra de vehículos de combustión interna
  - Zonas de cero y bajas emisiones en áreas urbanas

## 7 Construcción de escenarios

7.1 A partir de la definición de los motores de cambio se realiza la construcción de los escenarios de evaluación. El primer paso es definir una trayectoria para los motores de cambio. Estas trayectorias tienen un horizonte temporal de 30 años (2050) y pueden ser cualitativas o cuantitativas. Las trayectorias se definen a partir de su comportamiento histórico. En la siguiente tabla se presenta la trayectoria propuesta para cada uno de los motores de cambio, se definen dos trayectorias para cada uno, las cuales serán parte de la narrativa de los escenarios.

**Tabla 7.1: Trayectoria de motores de cambio**

Dimensión	Motor de cambio	Trayectoria 1	Trayectoria 2
Socioeconómica	Crecimiento poblacional	Proyecciones oficiales del DANE	Proyecciones oficiales del DANE
	Crecimiento del PIB	Proyecciones Latin American Consensus Forecasts Recuperación lenta	Proyecciones Latin American Consensus Forecasts Recuperación rápida
Financiera	Precio de energéticos	Se mantienen las condiciones actuales	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos
	Precio de compra de vehículos	Precio de vehículos impulsados por gasolina y diésel es menor que para vehículos de cero y bajas emisiones.	Precio de vehículos de tecnologías de cero y bajas emisiones es menor que para vehículos impulsados por gasolina y diésel.
	Impuestos a vehículos	Se eliminan beneficios en impuestos a vehículos de bajas y cero emisiones.	Se mantienen los beneficios en impuestos a vehículos de cero y bajas emisiones.
	Costo de operación y mantenimiento anual	Se mantienen las condiciones actuales Aumentan impuestos a vehículos de combustión interna Aumenta tarifa al impuesto al carbono	Sector automotriz capacitado en vehículos de cero y bajas emisiones, lo cual disminuye costos de mantenimiento.

Dimensión	Motor de cambio	Trayectoria 1	Trayectoria 2
Tecnológica	Disponibilidad de tecnologías vehiculares	Se mantiene tendencia con tecnologías disponibles actualmente.	Se amplía el número de tecnología y de modelos de tecnologías de cero y bajas emisiones.
	Disponibilidad de infraestructura de recarga de energéticos	Se mantiene oferta actual.	Relación 1 a 1 con infraestructura actual de combustibles líquidos.
	Edad del parque automotor	Política de renovación de flota de transporte público con vida útil de máximo 15 años	Política de renovación de flota de transporte público y camiones con vida útil de máximo 15 años
Movilidad	Restricción a la compra de vehículos de combustión interna	No existe.	Se implementa en el mediano plazo (2030)
	Zonas de cero y bajas emisiones en áreas urbanas	No existe	Se implementa en el mediano plazo (2030)

Fuente: Steer, 2020.

- 7.2 A partir de las trayectorias se define la estructura de los escenarios, es decir, se establece la combinación de trayectorias que sustentan un futuro determinado. Para esto se construye una matriz con todas las combinatorias posibles de trayectorias, cada una de estas combinaciones puede entenderse como un escenario preliminar ya que se tiene un número elevado de posibles escenarios.
- 7.3 Para reducir el número de escenarios, se realiza un análisis de consistencia lógica entre las trayectorias, la consistencia se puede definir como el nivel de concordancia entre dos proyecciones particulares y lo realista que sería si ambas aparecen simultáneamente en un escenario. En este sentido, el análisis de consistencia lógica establece la concordancia (o falta de concordancia) entre las proyecciones de todos los motores de cambio. Con la combinación de trayectorias realistas se obtiene una matriz final de escenarios con combinatorias y trayectorias consistentes.
- 7.4 En la siguiente tabla se presentan las trayectorias seleccionadas para la construcción de escenarios. En total, se analizan 32 escenarios dentro de los que se encuentran no solo las proyecciones más probables, sino también proyecciones extremas que pueden ser usadas para describir “ventanas de oportunidad”.

**Tabla 7.2: Escenarios de evaluación**

Esce- nario	Crecimiento del parque	Política pública de vida útil	Precios vehículos	Precio de energéticos	Infraestructura de recarga
E1	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	No existe política pública de reposición de flota	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual
E2	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	No existe política pública de reposición de flota	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E3	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	No existe política pública de reposición de flota	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual
E4	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	No existe política pública de reposición de flota	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E5	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	No existe política pública de reposición de flota	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual
E6	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	No existe política pública de reposición de flota	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones

Esce- nario	Crecimiento del parque	Política pública de vida útil	Precios vehículos	Precio de energéticos	Infraestructura de recarga
E7	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	No existe política pública de reposición de flota	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual
E8	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E9	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual
E10	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E11	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual
E12	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E13	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual

Escenario	Crecimiento del parque	Política pública de vida útil	Precios vehículos	Precio de energéticos	Infraestructura de recarga
E14	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E15	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual
E16	Crecimiento conservador asociado a proyecciones del PIB de la OECD.	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E17	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual
E18	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E19	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual
E20	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones

Esce- nario	Crecimiento del parque	Política pública de vida útil	Precios vehículos	Precio de energéticos	Infraestructura de recarga
E21	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual
E22	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E23	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual
E24	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E25	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual
E26	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E27	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual

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 | Productos 1 al 6

Esce- nario	Crecimiento del parque	Política pública de vida útil	Precios vehículos	Precio de energéticos	Infraestructura de recarga
E28	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios tendenciales de venta de vehículos de bajas y cero emisiones	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E29	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Se mantiene situación actual
E30	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Precios tendenciales	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones
E31	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Se mantiene situación actual
E32	Crecimiento optimista asociado a proyecciones del PIB de la OECD	Política de reposición de flota para carga y pasajeros	Precios de vehículos de bajas y cero emisiones igual a precios de vehículos de combustión interna	Política pública para precios de distribución masiva para vehículos	Expansión de la red de carga para tecnologías de cero y bajas emisiones

Fuente: Steer, 2020.

## Estimación del crecimiento del parque automotor

### Aproximación metodológica

- 7.5 Los modelos de motorización son una herramienta matemática cuyo fin es estimar la posesión vehicular dentro de una determinada población. Estos modelos son usados por diversos actores y para diversos fines. Los fabricantes de vehículos suelen emplearlos para estimar la percepción de los consumidores sobre las características de vehículos que aún no están en el mercado; las compañías petroleras los emplean con el fin de predecir la demanda de sus productos; pueden ser empleados también por parte de organizaciones internacionales con el fin de tomar decisiones de inversión en ciertos países y también ser un insumo de los planificadores de transporte en la estimación de la demanda, niveles de emisión y consumo de energía futuros (GERARD DE JONG, 2004).
- 7.6 La experiencia sugiere que la motorización en un país suele crecer lentamente en su fase inicial para luego presentar un crecimiento acelerado y finalmente comenzar a llegar a un punto de estancamiento o saturación (Tanner, 1983) y (Kenneth Button, 1993). Lo anterior sugiere una función de forma sigmoide, dentro de las cuales una de las más empleadas es la función logística. En este estudio se utilizará una función cuasi logística de la forma:

$$P = \frac{S}{1 + e^{-aX_1^{-b_1}X_2^{-b_2}\dots X_n^{-b_n}}}$$

- 7.7 Donde  $P$  representa la cantidad de vehículos en el país por cada 1,000 habitantes,  $S$  representa el nivel de saturación final de dicha tasa y  $X_1, X_2, \dots, X_n$  es un conjunto de variables socioeconómicas que determinan la motorización con parámetros constantes  $a, b_1, b_2, \dots, b_n$ . Aplicando la función logarítmica, la función anterior puede ser linealizada en la forma:

$$\ln\left(\frac{P}{S-P}\right) = a + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + \dots + b_n \ln X_n$$

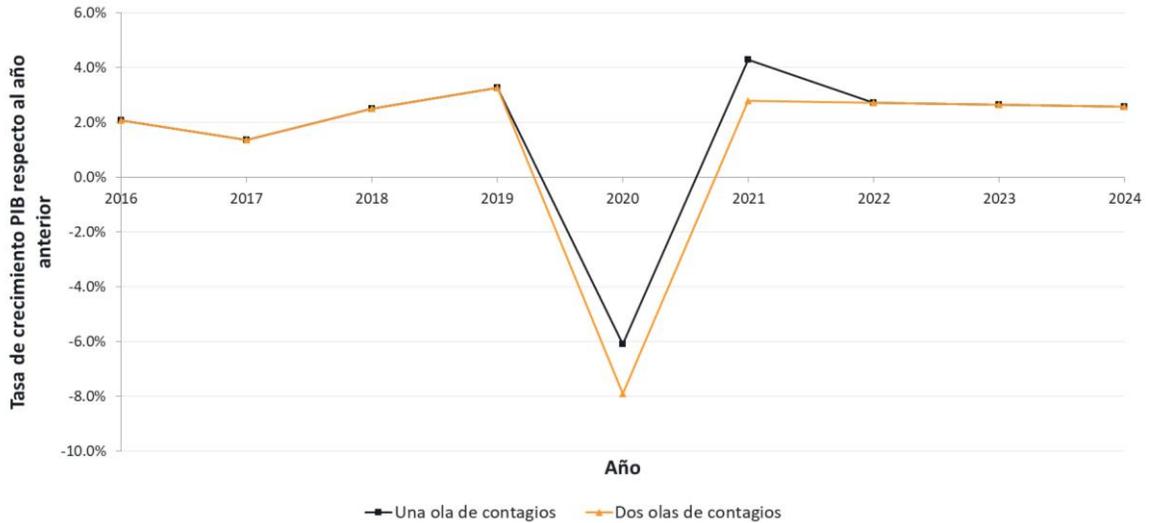
- 7.8 El objetivo del modelo de motorización es lograr estimar la cantidad de vehículos por segmento vehicular hasta el año 2050, para el presente estudio se empleó el Producto Interno Bruto (PIB) como variable socioeconómica explicativa y considerando las proyecciones de dicha variable (OECD, 2020). Cabe resaltar que, si bien la población no entra de manera explícita como una de las variables socioeconómicas, sí lo hace como razón con la cantidad de vehículos, por lo que la variable  $P$  contiene la información poblacional del modelo.

### Escenarios de proyección del producto interno bruto

- 7.9 A partir del estudio del clima económico en países analizados individualmente, la economía mundial y una combinación entre análisis basados en modelos y el criterio de expertos, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) llevó a cabo estimaciones del PIB en términos de la tasa de crecimiento en comparación con años anteriores. Teniendo en cuenta la contingencia global ocasionada por la pandemia del COVID-19, se estimaron dos posibles escenarios. El primero de estos escenarios (optimista) considera los efectos económicos de una ola de contagios por COVID-19, mientras que el segundo (pesimista) considera los efectos adicionales de una segunda ola de contagios. En Colombia, estos efectos se ven reflejados en las tasas de crecimiento del PIB tanto para 2020 como 2021. Para años posteriores, se emplearon las

tasas de crecimiento de las proyecciones a largo plazo del mismo estudio, como lo muestra la gráfica a continuación.

**Figura 7.1: Tasa de crecimiento anual del PIB en dos escenarios basados en los efectos de la pandemia por COVID-19**



Fuente: (OECD, 2020)

### Vehículos livianos de uso particular

*Automóviles, camionetas y camperos*

7.10 Tomando como referencia para el valor de saturación los valores de motorización encontrados en (European Commission) y (Kenneth Button, 1993) y agregando las clases vehiculares camioneta y campero, se construyeron las siguientes funciones para el modelo de motorización de vehículos livianos de uso particular:

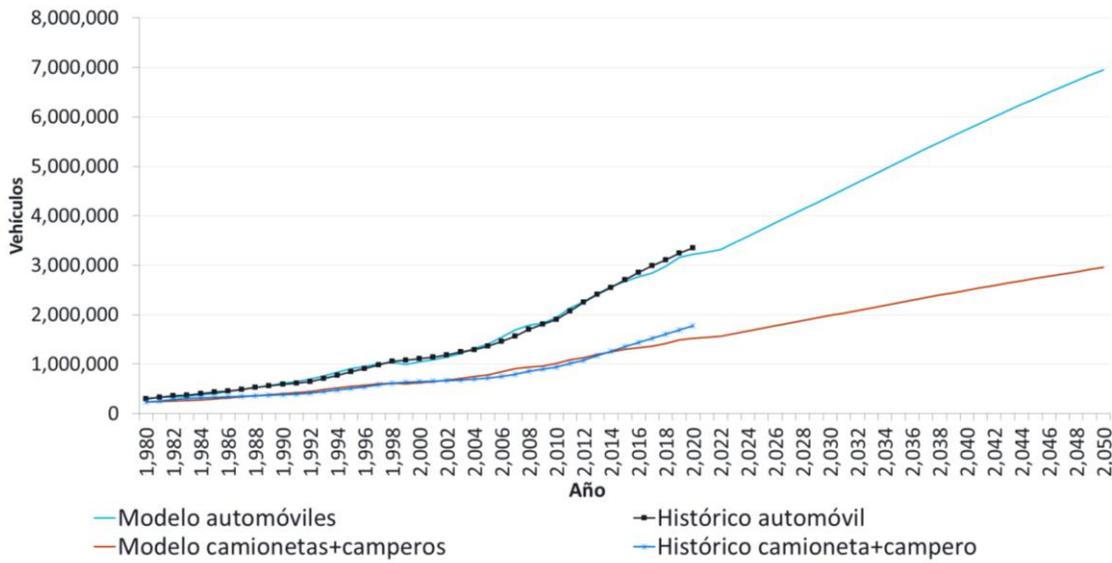
**Tabla 7.3: Funciones de motorización para automóviles, camionetas y camperos particulares.**

Clase vehicular	Función de motorización
Automóviles particulares por cada 1,000 habitantes	$P_{auto} = \frac{250}{1 + e^{21.417 PIB^{-1.486}}}$
Camionetas y camperos particulares por cada 1,000 habitantes	$P_{cam} = \frac{150}{1 + e^{15.878 PIB^{-1.059}}}$

Fuente: Steer, a partir de datos RUNT.

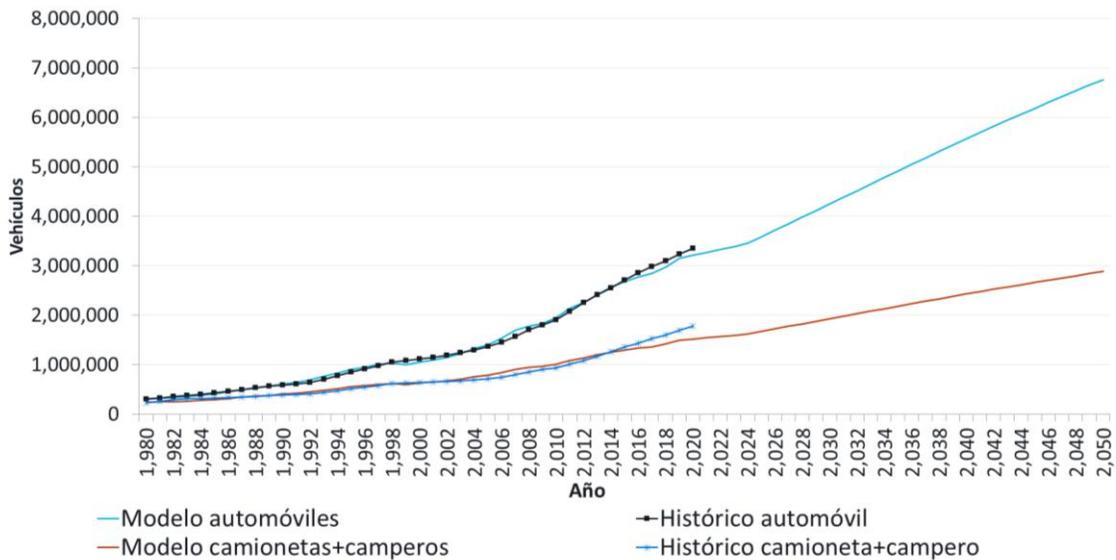
7.11 Al estimar la cantidad anual de vehículos a partir de los vehículos por cada 1,000 habitantes  $P$  y la población anual proyectada (DANE, 2020), se obtuvieron las siguientes curvas de motorización para la cantidad total de automóviles, camionetas y camperos de uso particular en el país para cada escenario de crecimiento del PIB.

Figura 7.2: Curvas de motorización estimadas para vehículos livianos de uso particular en escenario con PIB optimista



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones DANE 2020 y (OECD, 2020).

Figura 7.3: Curvas de motorización estimadas para vehículos livianos de uso particular en escenario con PIB pesimista

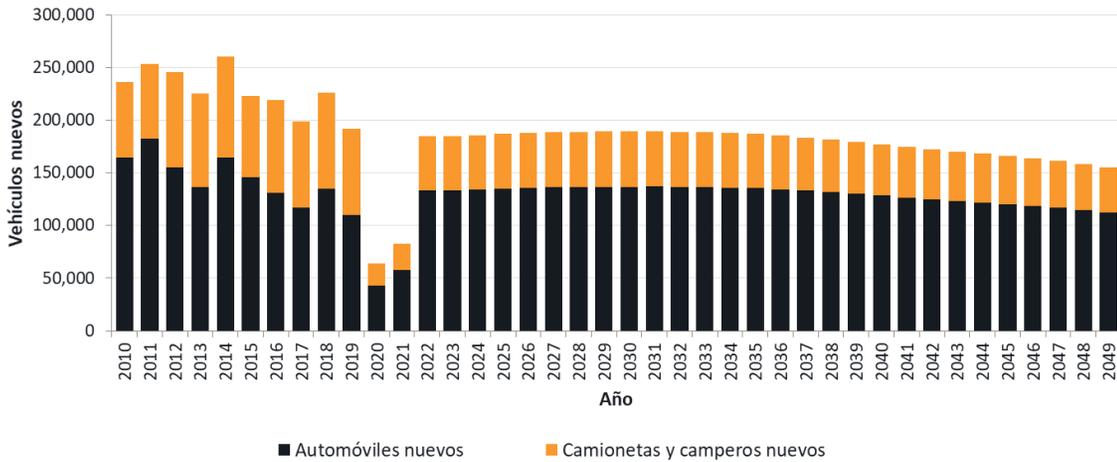


Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones DANE 2020 y (OECD, 2020).

7.12 A partir de los modelos anteriores, es posible obtener la cantidad estimada de vehículos nuevos por año para cada escenario, como lo muestran las siguientes gráficas:

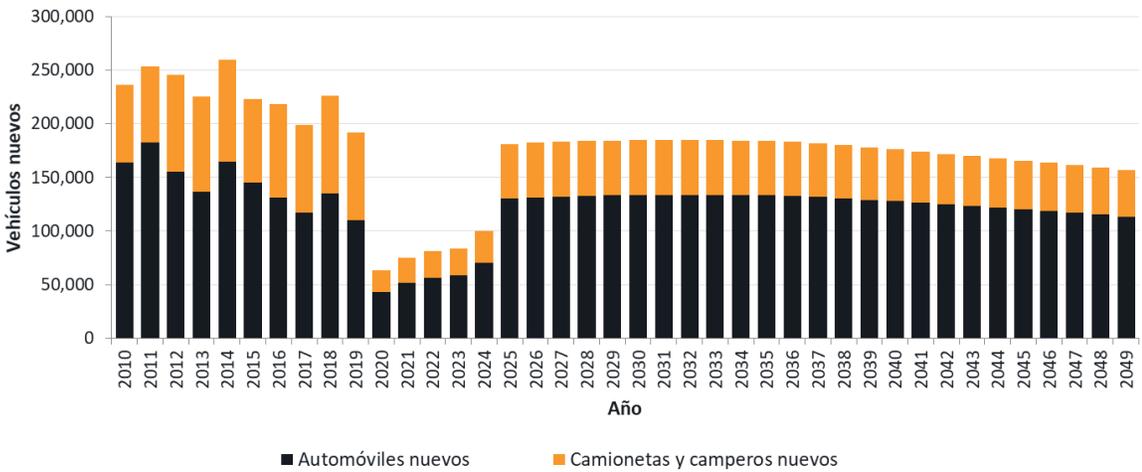
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6

**Figura 7.4: Vehículos livianos particulares nuevos por año en escenario con PIB optimista**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones (DANE, 2020) y (OECD, 2020).

**Figura 7.5: Vehículos livianos particulares nuevos por año en escenario con PIB pesimista**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones (DANE, 2020) y (OECD, 2020).

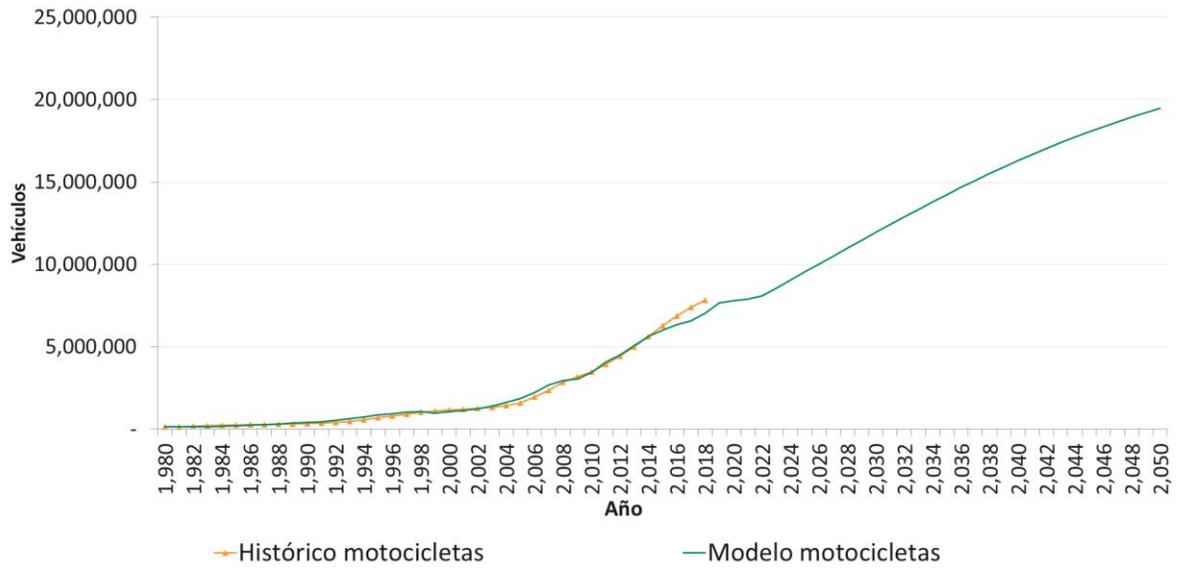
### Motocicletas

- 7.13 De manera análoga a como se procedió para el modelo de vehículos livianos, se obtuvo la siguiente función para el modelo de motorización de motocicletas en el país.

$$P_{moto} = \frac{400}{1 + e^{41.912 PIB^{-3.028}}}$$

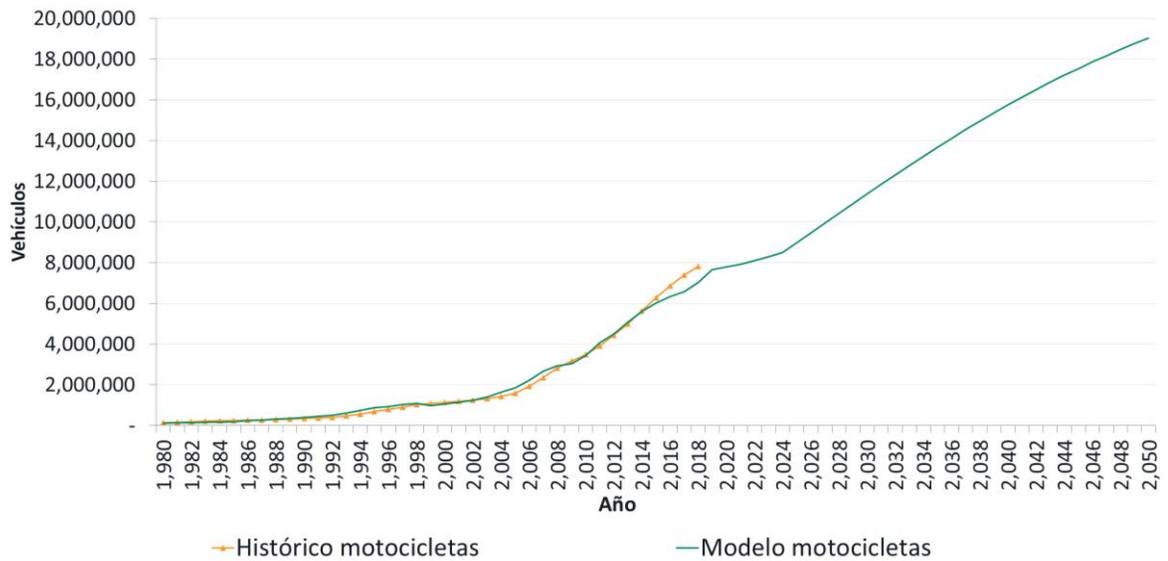
- 7.14 Con base en las proyecciones de población de (DANE, 2020) y las proyecciones del PIB de (OECD, 2020), se obtuvieron las siguientes curvas proyectadas para el total de motocicletas en el país hasta el año 2050:

**Figura 7.6: Curva de motorización estimada para motocicletas**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones (DANE, 2020) y (OECD, 2020).

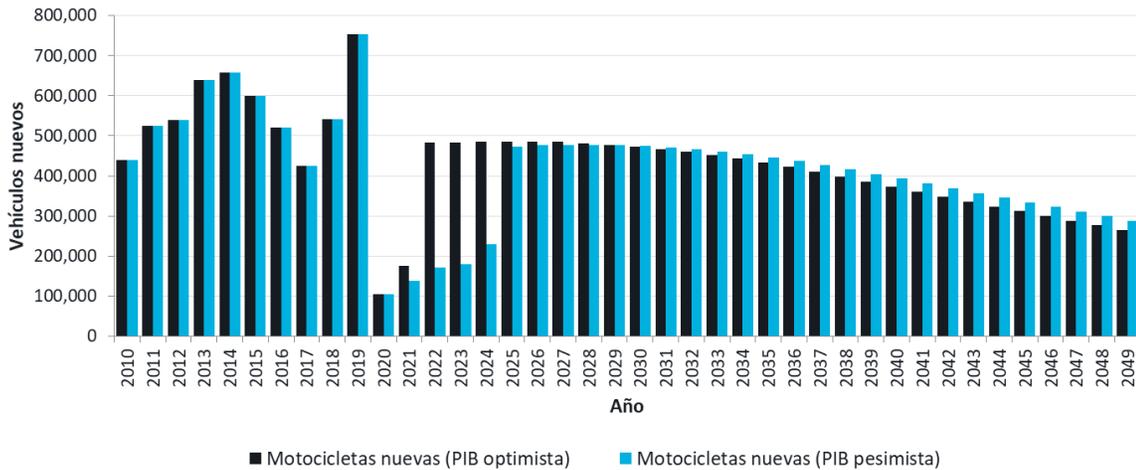
**Figura 7.7: Curva de motorización estimada para motocicletas**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones (DANE, 2020) y (OECD, 2020).

7.15 De lo anterior, se deriva la siguiente gráfica de motocicletas nuevas por año:

**Figura 7.8: Motocicletas nuevas por año en ambos escenarios de PIB**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones (DANE, 2020) y (OECD, 2020).

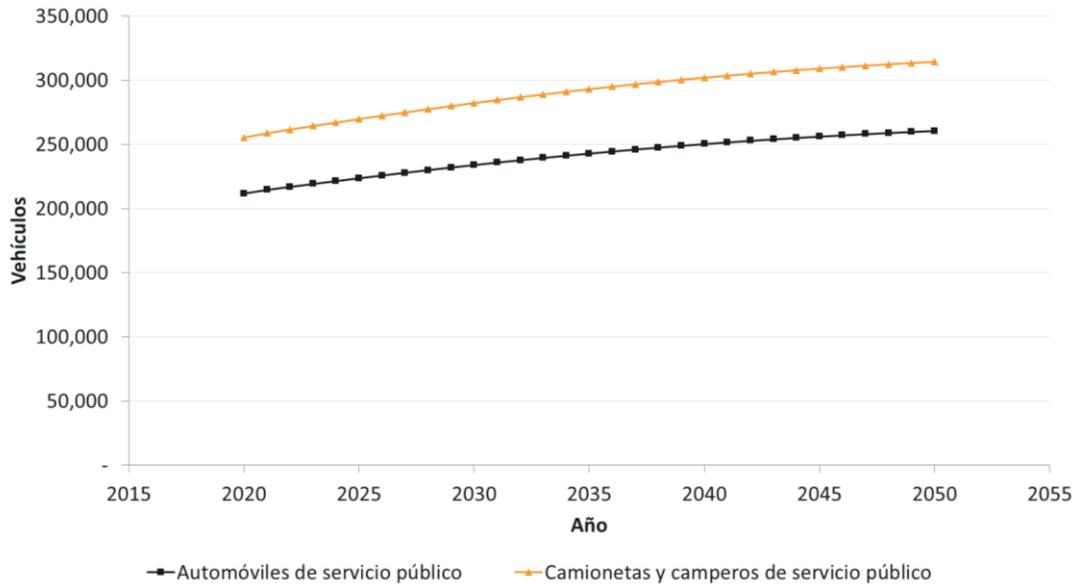
### Vehículos livianos de servicio público

- 7.16 Dado que el tamaño de la flota de vehículos de servicio público en el país obedece a decisiones en materia de política pública y no directamente al crecimiento de la economía y la población, la aproximación metodológica para la estimación del crecimiento de este segmento vehicular fue distinta a la de los vehículos particulares y fue llevada a cabo en dos etapas: i) estimación del tamaño de la flota nacional de vehículos livianos de servicio público y ii) estimación de la reposición anual de vehículos de esta categoría.

#### *Crecimiento de flota*

- 7.17 Con el fin de estimar el crecimiento anual de la flota de vehículos livianos de servicio público en el país, se hizo el supuesto de que la tasa nacional entre la cantidad de estos vehículos y la población se mantiene constante en el tiempo. De esta forma, a partir de las proyecciones de población se obtienen las siguientes curvas de crecimiento:

**Figura 7.9: Proyección de vehículos livianos de servicio público por año en Colombia**



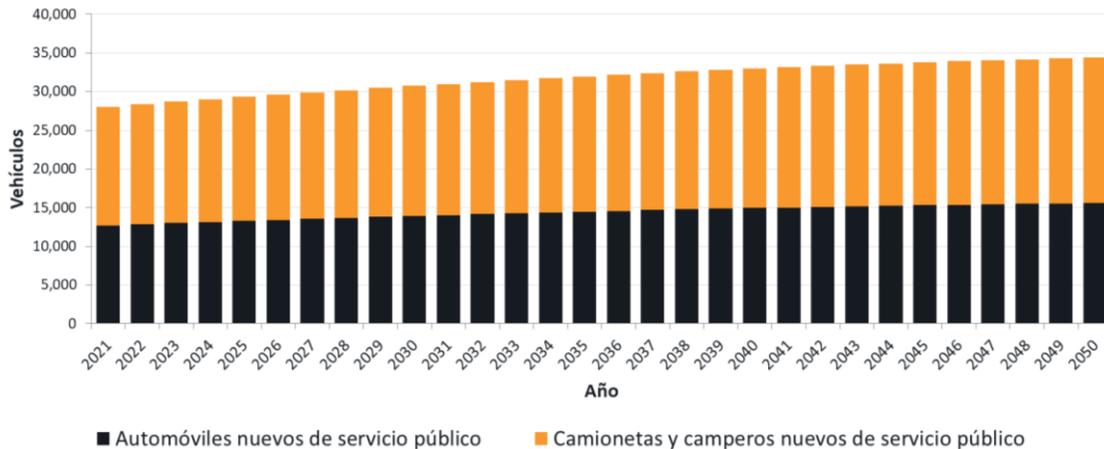
Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones (DANE, 2020).

### Tasa anual de reposición

7.18 A partir de los datos del RUNT es posible calcular el histórico de la cantidad de vehículos nuevos por año. Con esto, se encontró que la tasa media anual de vehículos nuevos respecto al año anterior es del 6%, por lo que la cantidad nueva de vehículos por motivo tanto de reposición como de aumento de flota debe significar un aumento de tal porcentaje sobre el año anterior. Así, la cantidad anual de vehículos nuevos por motivo de reposición debe ser tal que, en conjunto con el crecimiento de flota estimado en el punto anterior, signifique un 6% del acumulado de vehículos.

7.19 A partir de lo anterior, se obtiene la siguiente gráfica de vehículos livianos de servicio público nuevos por año:

**Figura 7.10: Vehículos livianos de servicio público nuevos por año**

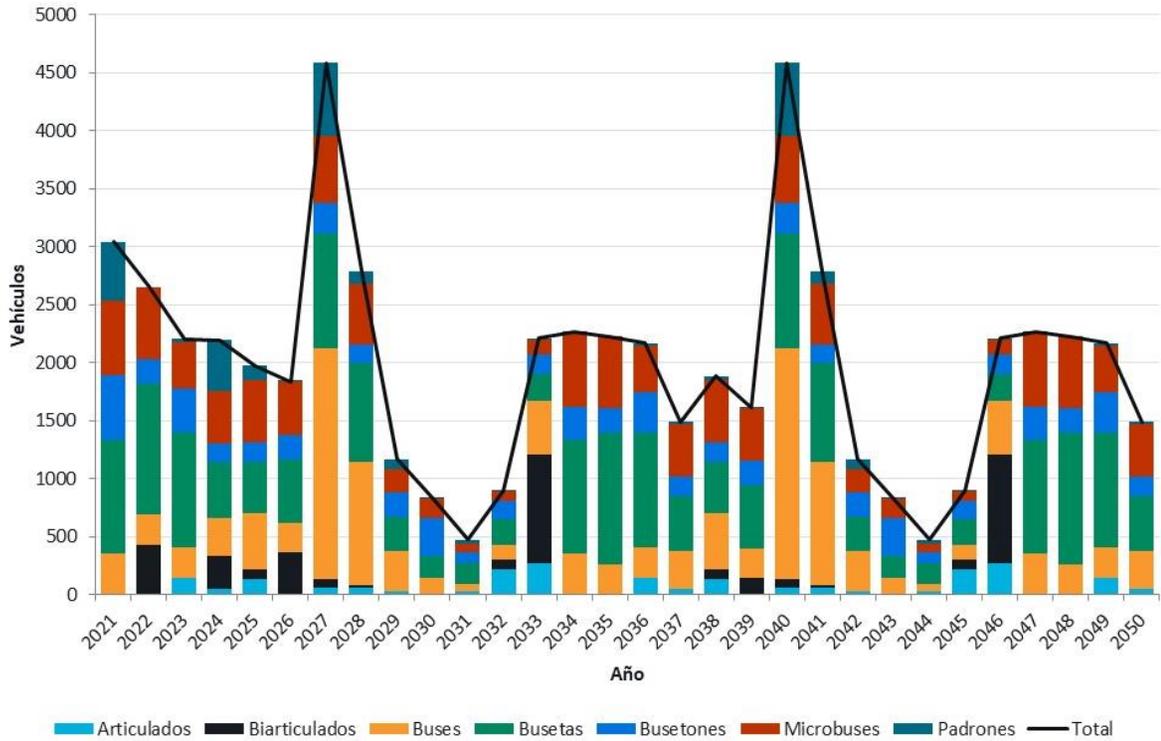


Fuente: Steer, 2020.

## Vehículos de pasajeros

- 7.20 El crecimiento de la flota de vehículos de pasajeros tiene dos componentes. El primero, es la sustitución de flota por vida útil, el segundo es la entrada de nueva flota debido a nueva infraestructura o estructuraciones de nuevos sistemas de transporte público.
- 7.21 Para estimar la sustitución de la flota al cumplir su vida útil se parte de la información contenida en el RUNT de número de buses registrados en los organismos de tránsito con su respectivo modelo. De acuerdo con la Ley 276 de 1996, la cual establece que la “vida útil máxima de los vehículos terrestres de servicio público colectivo de pasajeros y/o mixto será de veinte (20) años”, sin embargo, la tendencia muestra que el país está migrando hacia sistemas de transporte público con flotas con una vida útil entre 12 y 15 años, por lo tanto, para propósitos de este estudio se asume que desde el 2021 se realizará la reposición de vehículos que cumplan una vida útil de 12 años.
- 7.22 Al analizar los factores que influyen en el cambio tecnológico se observa que para el caso de los vehículos de transporte público este cambio se facilita para los Sistemas Integrados de Transporte Masivo – SITM y para los Sistemas Estratégicos de Transporte Público – SETP, esto debido a los procesos de adquisición y de operación de la flota. Por lo tanto, se realiza el análisis específico para las ciudades que cuentan con estos sistemas y para las que planean tenerlo en un corto o mediano plazo. Estas ciudades son:
- Bogotá – Soacha
  - Área Metropolitana del Valle de Aburrá
  - Cali
  - Barranquilla
  - Bucaramanga
  - Pereira
  - Cartagena
  - Santa Marta
  - Popayán
  - Pasto
  - Armenia
  - Sincelejo
  - Montería
  - Valledupar
  - Neiva
  - Ibagué (planeado)
  - San Andrés (planeado)
- 7.23 Para las ciudades mencionadas anteriormente se considera la adquisición de nueva flota, asociada a los cambios en el sistema de transporte público y la implementación de nueva infraestructura de transporte.
- 7.24 En la siguiente figura se observa el número de vehículos de pasajeros nuevos cada año, incluyendo la sustitución de flota, considerando 12 años de vida útil, y la entrada en operación de nueva infraestructura de transporte público.

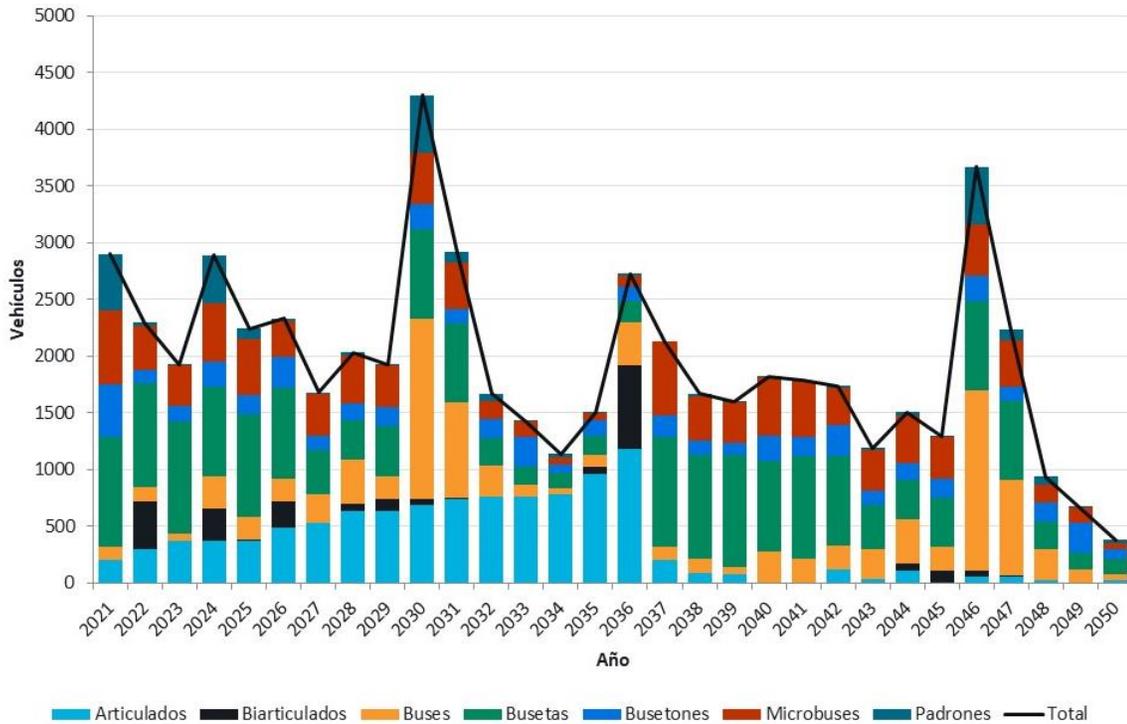
**Figura 7.11: Sustitución de flota de buses para ciudades con SITM y SETP con política de vida útil de máximo 12 años**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT con corte a septiembre de 2020.

7.25 Como complemento a lo anterior y con el propósito de estimar un escenario menos optimista de sustitución de flota por vida útil, se estimó la cantidad de vehículos nuevos por año en el caso en que la sustitución se lleva a cabo a los 15 años de edad del vehículo. De lo anterior, se obtienen las siguientes figuras para el nivel nacional y ciudades con SITM y SETP, respectivamente.

**Figura 7.12: Sustitución de flota de buses para ciudades con SITM y SETP con vida útil de máximo 15 años**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT con corte a septiembre de 2020.

### Vehículos de carga

7.26 El crecimiento del parque automotor de vehículos de carga fue modelado para dos escenarios distintos: i) modelo de motorización en escenario de PIB optimista y ii) modelo de motorización en escenario de PIB optimista en conjunto con política de sustitución de vehículos de más de 15 años de antigüedad.

#### Modelo de motorización

7.27 La función de motorización de los vehículos de carga fue modelada únicamente a partir del PIB como variable explicativa. Adicionalmente, la cantidad modelada fue el número total de camiones en el país —en lugar de tasas por población como se hizo con anterioridad. Dado que este segmento está dividido en tres clases vehiculares, se obtuvieron tres funciones de motorización, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 7.4: Funciones de motorización**

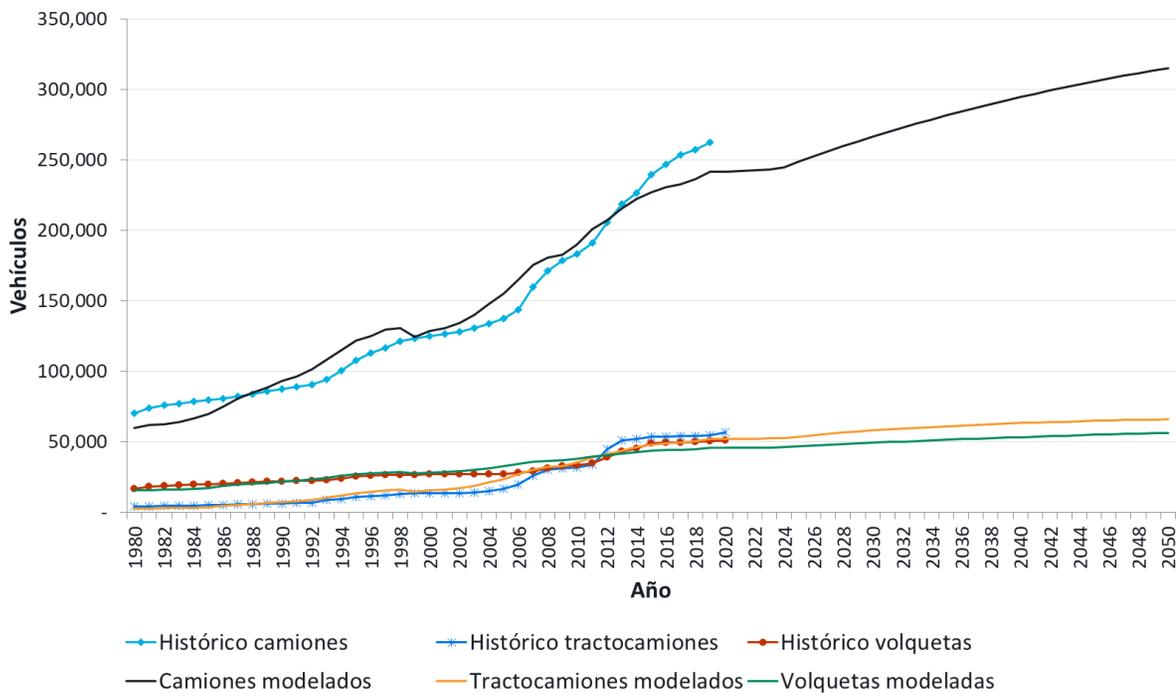
Clase vehicular	Función de motorización
Camiones	$P_{cam} = \frac{4.0 \times 10^5}{1 + e^{21.993 PIB - 1.638}}$
Tractocamiones	$P_{trac} = \frac{7.0 \times 10^4}{1 + e^{43.263 PIB - 3.238}}$

Clase vehicular	Función de motorización
Volquetas	$P_{volq} = \frac{7.0 \times 10^4}{1 + e^{19.070 PIB^{-1.440}}}$

*Escenarios de adquisición vehicular*

7.28 Tal y como se mencionó anteriormente, el primer escenario estimado consiste en el crecimiento del parque automotor de carga en las condiciones de PIB optimista. Esto se llevó a cabo de tal manera debido a la poca diferencia evidenciada entre los distintos escenarios de crecimiento del PIB. Así, el crecimiento del parque de carga resultante del modelo de motorización puede ser apreciado en la siguiente figura:

**Figura 7.13: Curva de motorización estimada para vehículos de carga**



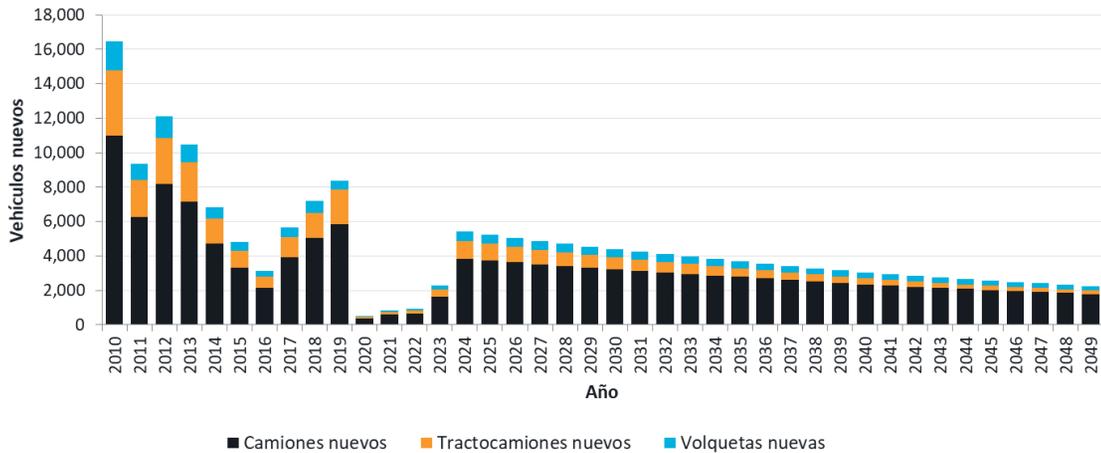
Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones del PIB (OECD, 2020).

7.29 Una particularidad por destacar de este modelo es la estabilización de la cantidad de vehículos con alta capacidad de carga. Esto obedece a las medidas aplicadas por el gobierno nacional mediante las cuales se establecen mecanismos de reposición vehicular para la entrada de nuevos vehículos de carga con Peso Bruto Vehicular (PBV) superior a las 10.5 toneladas (Decreto número 1079 de 2015).

7.30 A partir del modelo de motorización, se obtiene la siguiente cantidad de vehículos de carga nuevos por año:

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 | Productos 1 al 6

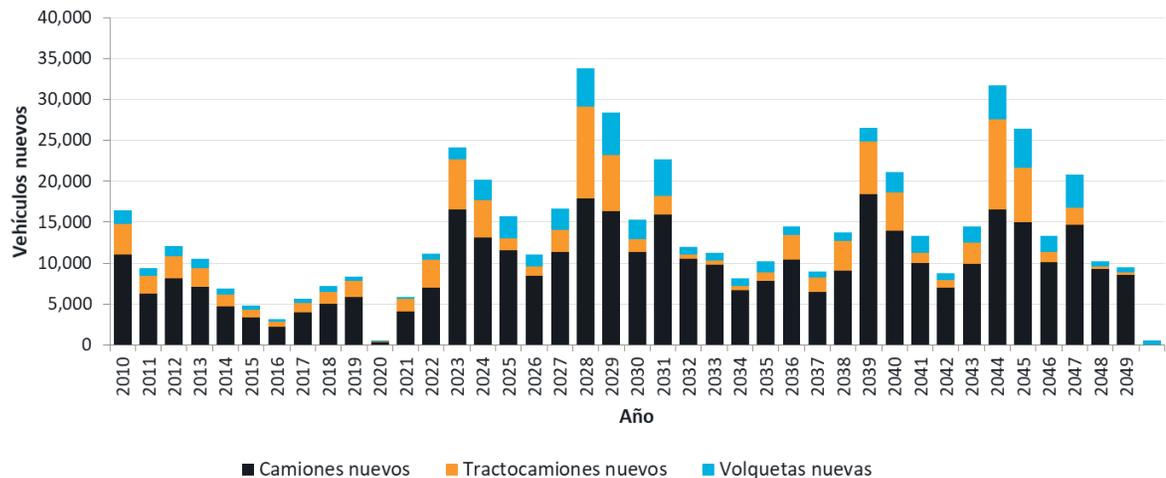
**Figura 7.14: Cantidad anual de vehículos de carga nuevos estimados a partir del modelo de motorización.**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones del PIB (OECD, 2020).

7.31 Para estimar el escenario con política de sustitución de vehículos mayores a 15 años, se empleó la base de datos RUNT para estimar la cantidad anual de vehículos que cumplen con dicho criterio. Así, se obtuvo la siguiente cantidad de vehículos de carga nuevos al año bajo la política de sustitución considerada:

**Figura 7.15: Cantidad anual de vehículos de carga nuevos estimados a partir del modelo de motorización y política de sustitución vehicular.**



Fuente: Steer a partir de datos RUNT y proyecciones del PIB (OECD, 2020).

## Estimación de cambio tecnológico

### Vehículos livianos de uso particular y motocicletas

7.32 Con el fin de determinar la participación de las diferentes tecnologías en el parque automotor de vehículos privados en Colombia y evaluar el impacto que puedan tener decisiones de política sobre ésta, se complementa el modelo de motorización con la estimación de la demanda de los

vehículos privados con estas tecnologías mediante la construcción de modelos de elección discreta de tecnología vehicular y la aplicación de una encuesta de preferencias declaradas.

- 7.33 Las encuestas de preferencias declaradas (PD) son aquellas que presentan situaciones de elección hipotéticas pero realistas, definidas por las características de las alternativas disponibles de selección; permiten analizar atributos que no están presentes en el mercado al momento de la aplicación de la encuesta o que tienen una cuota baja en el mismo (Brownstone et al., 2000 citado por Soto, 2013), y se utilizan frecuentemente para determinar precios de productos, desarrollar estrategias de segmentación de mercados, así como estimar parámetros importantes para uso en modelos de demanda, entre otros.
- 7.34 La modelación discreta permite determinar la demanda de diferentes alternativas tecnológicas según la clase del vehículo analizado: automóviles, camionetas o camperos y motocicletas, y otros factores que influyen en la selección de compra de un vehículo sobre otro, como lo son su energético, precio, y la disponibilidad de estaciones de repostaje, entre otros, así como la caracterización socioeconómica de sus compradores.
- 7.35 Este tipo de modelación se basa en la estimación de la utilidad de las alternativas presentadas y en el supuesto que al elegir las personas toman decisiones racionalmente y tienen en cuenta los atributos de cada una (McFadden, 2001), así como suponen que la probabilidad de que los individuos escojan una determinada alternativa es función de sus características y de la relativa atractividad de la alternativa (Ortúzar y Willumsen, 2011).
- 7.36 Según lo anterior, se encontró pertinente el uso de estas encuestas como la herramienta de recolección de información para este estudio, dado que actualmente la participación de vehículos con tecnología de bajas y cero emisiones en la composición del parque vehicular colombiano es menor a 5%. Posteriormente, se llevó a cabo la construcción de modelos discretos basados en una encuesta PD para proyectar la segmentación del parque vehicular de uso privado.

#### *Diseño del cuestionario de encuesta de preferencias declaradas*

- 7.37 Para este estudio, se utilizó un cuestionario conformado por 5 secciones que fue aplicado a propietarios/as actuales o futuros/as de vehículos de uso privado. El cuestionario de la encuesta fue diseñado en el software Lighthouse Studio de Sawtooth Software, tuvo una duración media de aproximadamente 10 min, y fue aplicado a través de un panel online a residentes en el territorio colombiano, dando especial interés a las ciudades que reportan el 80% de los vehículos matriculados en sus Organismos de Tránsito de acuerdo con la información contenida en el RUNT. Las secciones del cuestionario son:

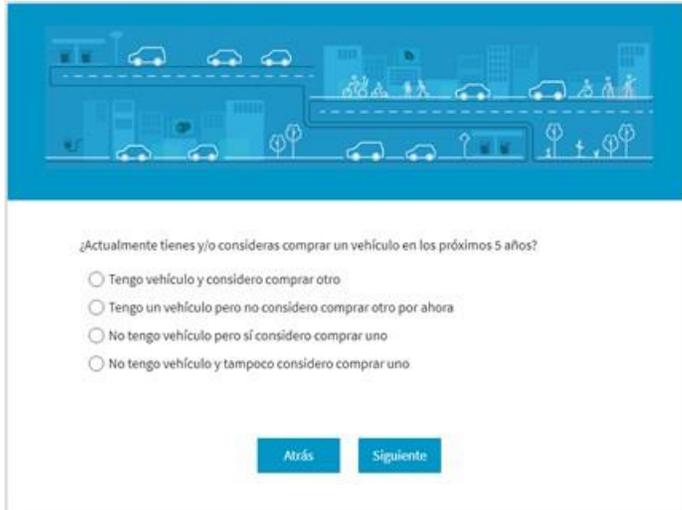
- Introducción y filtro de la encuesta
- Sección de verificación de muestra
- Caracterización del vehículo actual de la persona encuesta y/o del vehículo deseado
- Ejercicios de preferencias declaradas
- Caracterización socioeconómica de la persona encuestada y comentarios

#### Introducción y filtro de la encuesta

- 7.38 Esta sección tuvo como propósito presentar la encuesta, el aviso de confidencialidad, y establecer si la persona que recibió la encuesta se encuentra dentro del grupo de la población objetivo, así

como identificar el tipo de preguntas a aplicar: vehículos livianos o motocicletas. Las personas que podían participar en el estudio debían poseer un vehículo y/o tener las intenciones de comprar uno, caso contrario eran descartadas para el estudio y se finalizaría el diligenciamiento del formulario.

**Figura 7.16: Pregunta filtro de grupo de población objetivo**



¿Actualmente tienes y/o consideras comprar un vehículo en los próximos 5 años?

Tengo vehículo y considero comprar otro

Tengo un vehículo pero no considero comprar otro por ahora

No tengo vehículo pero sí considero comprar uno

No tengo vehículo y tampoco considero comprar uno

Atrás Siguiente

Fuente: Steer, 2020.

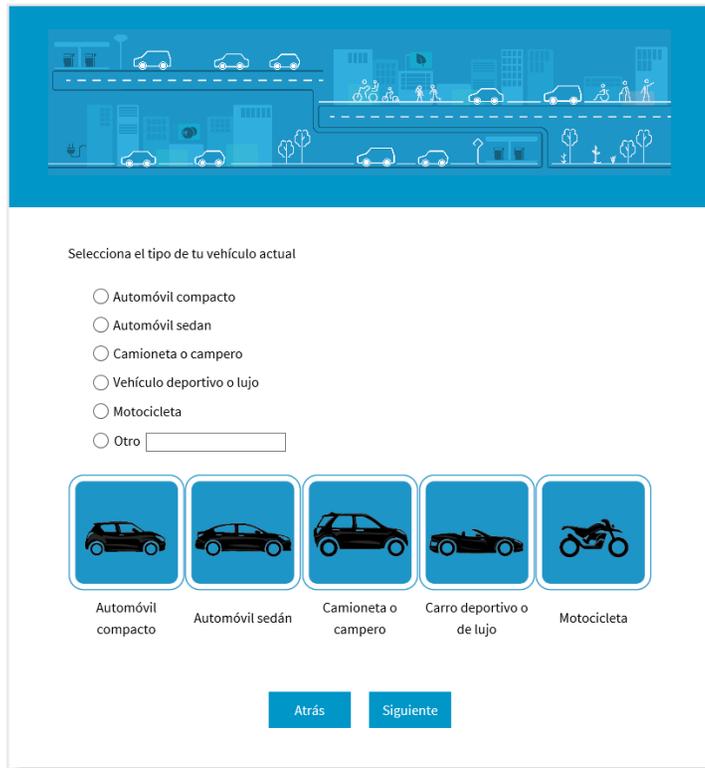
### Sección de verificación de muestra

- 7.39 Dado que la construcción del modelo de motorización tiene como insumo las proyecciones de población del DANE y las proyecciones de PIB Nacional, en esta parte del cuestionario se hizo una verificación de la muestra con el propósito de garantizar que se tomaran el número necesario de encuestas para el análisis y modelación de los segmentos de interés, definidos coherentemente con los insumos mencionados. También, se solicita a las personas encuestadas indicar la ciudad en la que viven para monitorear la distribución geográfica de los/as participantes.

### Caracterización del vehículo actual de la persona encuesta y/o del vehículo deseado

- 7.40 En el caso de que la persona encuestada indicara poseer vehículo(s), se solicita información general de caracterización del vehículo que utiliza con mayor frecuencia. También, se indaga por la clase de vehículo que la persona encuestada desea comprar y su rango de precio. Los datos capturados en esta pregunta asignaron el ejercicio de elección que salió más adelante en la encuesta, considerando la clase y gama de vehículo que desean comprar los encuestados o que poseen actualmente.

Figura 7.17: Ejemplo de pregunta de caracterización de vehículo actual



Selecciona el tipo de tu vehículo actual

- Automóvil compacto
- Automóvil sedán
- Camioneta o campero
- Vehículo deportivo o lujo
- Motocicleta
- Otro



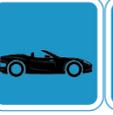
Automóvil compacto



Automóvil sedán



Camioneta o campero



Carro deportivo o de lujo



Motocicleta

AtrásSiguiente

Fuente: Steer, 2020.

### Ejercicios de preferencias declaradas

- 7.41 Esta sección describe las tecnologías de bajas y cero emisiones vehiculares de interés para el proyecto y presenta 9 ejercicios o escenarios de elección, con dos alternativas cada uno. En cada uno de los ejercicios de PD se eligió qué vehículo compraría considerando los atributos de las dos opciones que se presentaron. La primera alternativa es un vehículo con el energético actual del vehículo que posee la persona o a gasolina, en caso de que la persona encuestada no sea propietaria de uno; la segunda alternativa presenta otro vehículo de esta o superior clase, pero con uno de los energéticos de bajas o cero emisiones. Cada alternativa tuvo también atributos adicionales de acuerdo con el diseño del experimento de elección.

Figura 7.18: Pantalla de descripción de las tecnologías de bajas y cero emisiones vehiculares

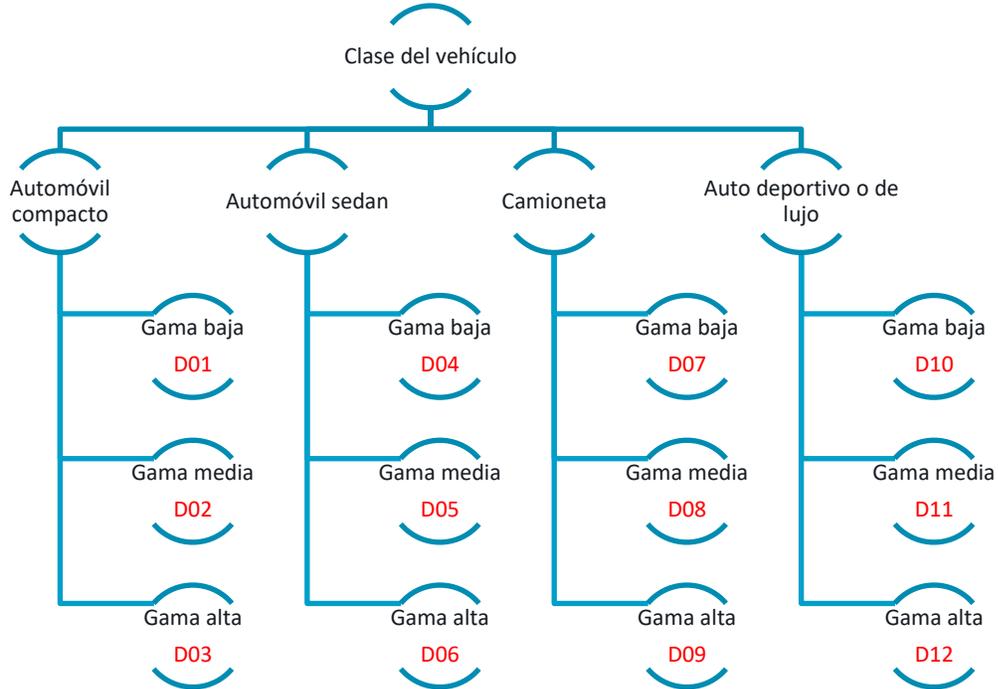


Fuente: Steer, 2020.

- 7.42 El diseño de los ejercicios de elección partió de la revisión de artículos científicos y otros documentos que abordaron la modelación de elecciones y preferencias declaradas en la compra de vehículos de nuevas tecnologías vehiculares de uso privado. Luego, continuó con la identificación preliminar de las variables a incluir como atributos para las alternativas de cada escenario de elección. Y finalmente, de acuerdo con el contexto del estudio y entrevistas cortas con propietarios/as de vehículos, se definió qué atributos presentar y los valores que éstos podrían tomar en cada caso.
- 7.43 Según lo mencionado en la descripción de la sección anterior, los ejercicios se asignaron utilizando como referencia la respuesta de los/as encuestados/as de manera que los ejercicios presentados fueron realistas y acordes a cada persona. De esta manera, y tomando en cuenta la diversidad de

las alternativas de clases vehiculares y gamas o rangos de precio en cada una, se encontró necesario realizar 12 diseños de ejercicios de elección diferentes para los vehículos livianos, tal como se muestra en el árbol de opciones de la figura siguiente.

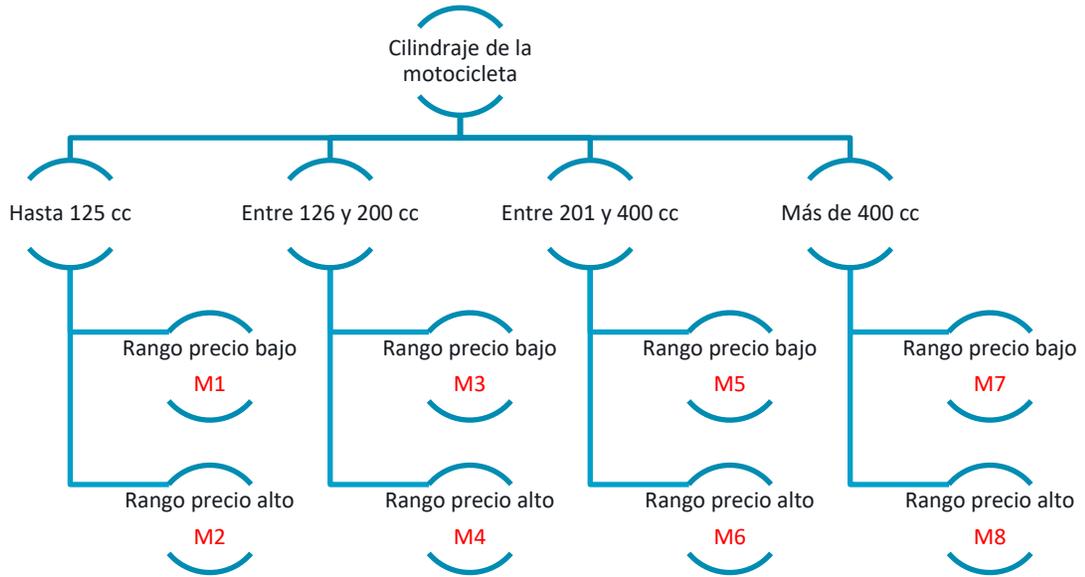
Figura 7.19: Árbol de diseños de ejercicios de elección – vehículos livianos



Fuente: Steer, 2020.

- 7.44 Cuando la clase del vehículo que posee o que espera comprar la persona encuestada es la motocicleta, la asignación de los ejercicios de elección se realizó considerando el cilindraje del motor, en 4 niveles: las de bajo cilindraje en 2 categorías, la primera son motocicletas hasta 125 centímetros cúbicos (cc) de cilindrada, y la segunda entre 126 cc y 200 cc; las de medio cilindraje, motocicletas entre 201 cc y 400 cc; y las de alto cilindraje, de 401 cc en adelante. De esta forma, en la encuesta se incluyeron 8 ejercicios diferentes.

**Figura 7.20: Árbol de diseños de ejercicios de elección – motocicletas**



Fuente: Steer, 2020.

7.45 Los ejercicios de elección se definieron mediante 7 variables, que se describen en la tabla siguiente. Los ejercicios PD de motocicletas, no incluyeron el cambio de clase de vehículo o cilindraje, sino que ésta fue asumida como constante.

**Tabla 7.5: Descripción de los atributos de las alternativas de los ejercicios de elección**

Atributo	Descripción	Niveles
Clase del vehículo	Clase del vehículo actual o superior	2
Tecnología de energético	Energético del vehículo	3
Precio del vehículo	Valor de adquisición del vehículo	3
Autonomía	Periodicidad máxima de repostaje en días	3
Costo de la recarga	Valor del repostaje completo del	3
Valor anual por impuestos y mantenimiento	Valor anual pagado por los impuestos y mantenimiento	3
Disponibilidad de estaciones de repostaje	Disponibilidad tomando como referencia la disponibilidad de las estaciones de gasolina	3

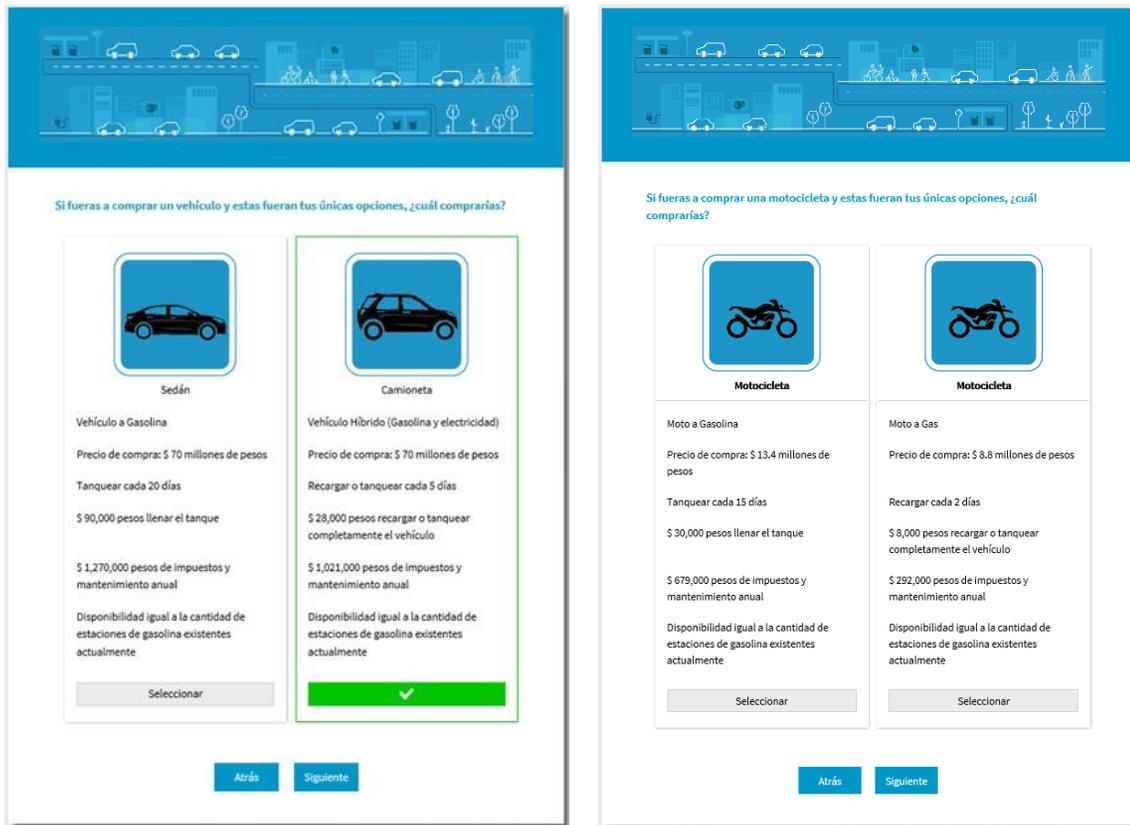
Fuente: Steer, 2020.

7.46 La determinación del diseño se convierte en un reto para definir las combinaciones entre los diferentes niveles o valores de los atributos de cada alternativa, por esto se adoptó un método de optimización para el diseño y se utilizó el software especializado *Ngene* de *ChoiceMetrics Pty Ltd*.

7.47 A continuación, se muestra cómo se visualizan los ejercicios de elección. Las respuestas a estos ejercicios son obligatorias en la encuesta.

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 | Productos 1 al 6

Figura 7.21: Ejemplo de las tarjetas de los ejercicios de elección



Fuente: Steer, 2020.

7.48 Al finalizar los ejercicios de elección, se solicita a la persona encuestada aclarar si no consideró alguno de los atributos de la encuesta y explicar la razón en una pregunta abierta, así como organizar de importante a menos importante algunos aspectos que podrían mejorar la venta de vehículos de tecnologías de bajas y cero emisiones en el país.

Figura 7.22: Ejercicio de jerarquización

¿Qué aspectos consideras que mejorarían la venta de vehículos de tecnologías de bajas y cero emisiones?

Arrastra las opciones de la izquierda en el cuadro de la derecha indicando cuál es la más importante a la menos importante para ti.

Beneficios	Más importante
Carriles prioritarios para esos vehículos	1 Disponibilidad de infraestructura de recarga
Estacionamiento gratuito	2 Disponibilidad de mantenimiento especializado - respuestas y reparaciones
Descuentos o beneficios en el pago de impuestos vehiculares	
No pico y placa	

Menos importante

Atrás    Siguiente

Fuente: Steer, 2020.

### Caracterización socioeconómica de la persona encuestada y comentarios

- 7.49 La encuesta finaliza con algunas preguntas de caracterización socioeconómica de la persona encuestada y una sección abierta de comentarios sobre la de la encuesta o sobre la incursión de tecnologías de bajas y cero emisiones en el mercado automotriz en Colombia.

### **Aplicación de la encuesta y resultados**

- 7.50 La aplicación de la encuesta tuvo dos etapas y se llevó a cabo mediante el uso de un panel online. La primera de las etapas consistió en una fase piloto para probar el cuestionario y los diseños realizados, así como cuantificar la tasa de respuesta. En esta fase se recogieron 118 encuestas y se realizaron ajustes de redacción y forma al cuestionario, y se testearon los diseños. Durante la segunda fase de recolección de datos, que utilizó el cuestionario definitivo, se completaron 1,221 encuestas.
- 7.51 Los experimentos de PD son estadísticamente eficientes dado que una persona produce el mismo número de observaciones que la cantidad de ejercicios de elección que realice en el mismo contexto de elección. De esta forma, por cada encuesta completa recabada en este estudio se

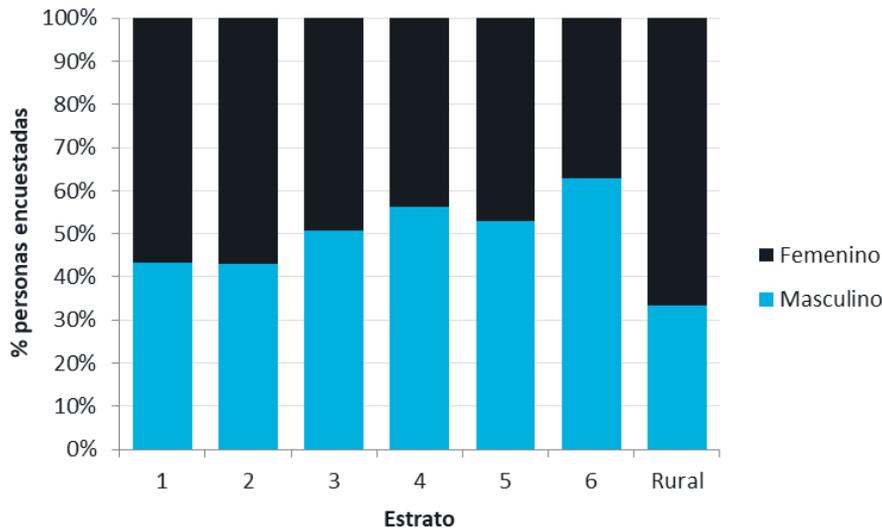
obtuvieron 9 observaciones, las cuales pueden ser consideradas como pseudo individuos o respuestas independientes, por lo cual el estudio contó con 10,989 observaciones en total para la construcción de los modelos.

#### Caracterización de las personas encuestadas

7.52 Durante la toma de información, la pregunta de lugar de residencia de la persona encuestada permitió verificar que la encuesta se aplicara en distintas áreas del país. La población encuestada es residente de 14 departamentos de Colombia, donde el 79% vive en las ciudades principales de Barraquilla (12%), Bogotá (41%), Cali (18%) y Medellín (10%).

7.53 Adicionalmente, se realizó el monitoreo de la muestra con el propósito de que ésta incluyera proporciones similares de personas encuestadas por género y estrato, de manera que los modelos resultantes de su análisis incorporaran las preferencias de los distintos segmentos socioeconómicos del país. En términos de género, la muestra presentó proporciones similares de participación de hombres y mujeres en todos los estratos, y en relación con la edad de los participantes, se observó una mayor participación de personas con edades entre 26 y 45 años, alcanzando una participación del 60% dentro del total.

Figura 7.23: Porcentaje de personas encuestadas por género según el estrato de su vivienda

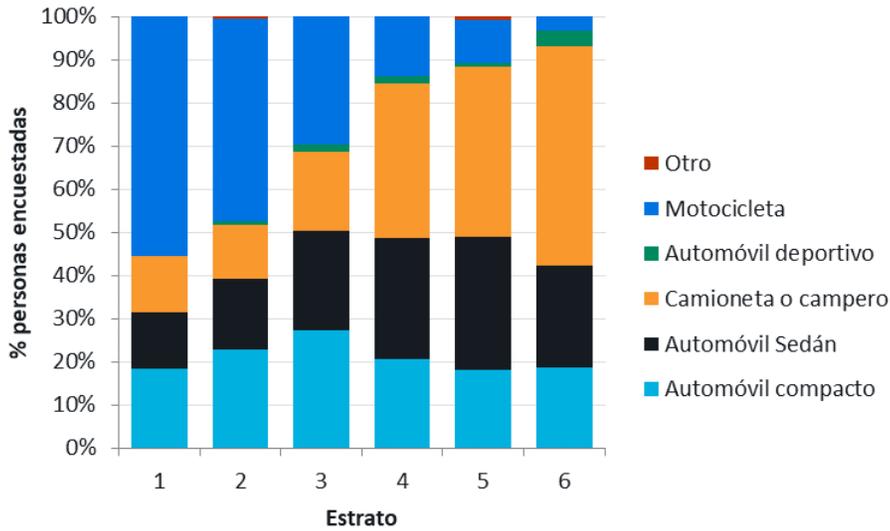


Fuente: Steer, 2020.

7.54 Al considerar las relaciones entre el estrato y la edad con la clase de vehículos que la persona encuestada reportó poseer o desear comprar, se observó que:

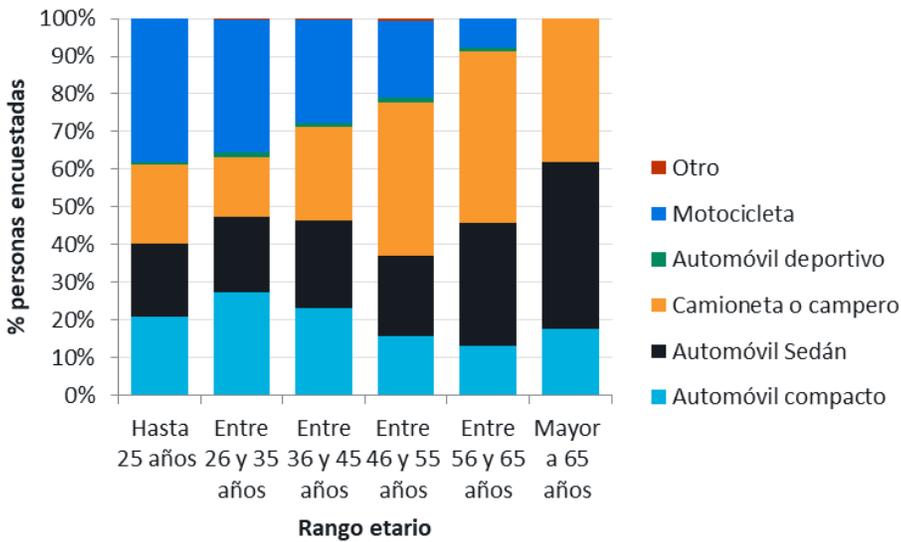
- Las motocicletas son más atractivas para las personas más jóvenes y que residen en viviendas de estratos 1 y 2 principalmente.
- La camioneta y el campero tienden a ser más atractivos en la medida que aumenta el estrato del hogar de la persona encuestada.
- El automóvil compacto es atractivo en similares proporciones para las personas encuestadas en los distintos estratos, siendo ligeramente más atractivo para las personas que viven en hogares estrato 3.

**Figura 7.24: Relación entre el estrato de la vivienda y la clase vehicular**



Fuente: Steer, 2020.

**Figura 7.25: Relación entre la edad de la persona encuestada y la clase vehicular**



Fuente: Steer, 2020.

### Modelación de elecciones

7.55 Una vez finalizada la toma de información, se realizó la validación y limpieza de la base de datos depurando encuestas 179, y se consolidaron 1,221 encuestas completas que son el insumo para la modelación de elecciones, que permite entender el comportamiento y preferencias de las personas cuando se enfrentan a la compra de vehículos de diferentes tecnologías de energéticos y características.

7.56 La modelación de elecciones se basó en la construcción de una función de utilidad para las alternativas de tecnología vehicular, considerando la segmentación definida en la proyección del parque vehicular de livianos de uso privado:

- Automóviles
- Camionetas y Camperos
- Motocicletas

7.57 Las funciones de utilidad se construyeron para cada alternativa de cada segmento, y consistieron de dos elementos:

- Una parte determinística integrada por atributos observables y medibles por el modelador (ejemplo: precio del vehículo, autonomía, etc.).
- Una parte aleatoria que incluye todos los aspectos que el modelador no puede conocer o medir.

7.58 A continuación, se presenta la estructura de la función de utilidad:

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{in}$$

Donde,

$V_{ni}$  es la utilidad determinística, observable o medible asociada al vehículo y/o la tecnología del energético  $i$  e individuo  $n$ .

$\varepsilon_{in}$  corresponde al error aleatorio asociado a la clase del vehículo y/o la tecnología del energético  $i$  e individuo  $n$ ; es decir, todo aquello que el modelador no conoce.

En este caso particular la variable  $V_{ni}$  está definida:

$$V_{ni} = \beta_i \cdot x_i + \beta_n \cdot x_n$$

Donde,

$x_i$  es el conjunto de atributos de la alternativa

$x_n$  es el conjunto de características del individuo

Y  $\beta_i$  y  $\beta_n$  representan el efecto de las características de cada alternativa y del individuo en la "utilidad" o "satisfacción" percibida, y son los parámetros por estimar.

7.59 De esta forma, y con la estimación de los parámetros mencionados, se puede entender la relevancia de los atributos de las alternativas respecto de las otras.

7.60 En este estudio se estimaron 3 modelos discretos de elección de tecnología vehicular, que consideran parámetros para la población en general, es decir que no detallan segmentaciones por género u otras características de los encuestados, dado que el modelo de motorización no tiene insumos asociados a ellas y de incorporarse no serían compatibles.

7.61 A continuación, se presentan los resultados de los modelos estimados, con referencia a la tecnología actual del vehículo de la persona encuestada o la gasolina.

**Tabla 7.6: Modelo multinomial para la compra de automóviles de uso privado**

Parámetros	Coefficiente	Estadístico Z
Constante Vehículo Eléctrico	0.42466	4.61
Constante Vehículo Híbrido	0.51221	5.47
Constante Vehículo GNV	-0.24286	-2.45
Constante Vehículo Hidrógeno	0.14012	1.55
Precio del vehículo	-0.0155	-8.12
Autonomía	0.04982	12.23
Costo de la recarga	-0.00909	-6.09
Valor anual por impuestos y mantenimiento	-0.00035	-8.76
Disponibilidad de estaciones de repostaje	0.31463	3.89

Fuente: Steer, 2020.

- 7.62 En el modelo resultante para la compra de automóviles de uso privado se resalta la relevancia que dan las personas a la disponibilidad de estaciones de repostaje y a la autonomía y precio del vehículo, por encima del costo de la recarga y el valor anual por impuestos y mantenimiento. Adicionalmente, en este modelo se evidencia que los automóviles eléctricos e híbridos resultan ser más atractivos que los demás. Para esta tipología vehicular, el GNV como combustible impacta negativamente en la evaluación de compra del vehículo.

**Tabla 7.7: Modelo multinomial para la compra de camionetas de uso privado**

Parámetros	Coefficiente	Estadístico Z
Constante Vehículo Eléctrico	1.21262	6.03
Constante Vehículo Híbrido	0.89129	5.74
Constante Vehículo GNV	0.64294	3.86
Constante Vehículo Hidrógeno	0.68792	4.36
Precio del vehículo	-0.01127	-7.32
Autonomía	0.05357	7.81
Costo de la recarga	-0.00214	-2.17
Valor anual por impuestos y mantenimiento	-0.00018	-6.82
Disponibilidad de estaciones de repostaje	0.78385	4.66

Fuente: Steer, 2020.

- 7.63 Inicialmente fue evaluado un modelo general para vehículos livianos considerando automóviles y camionetas de manera agregada. Sin embargo, dado que existen diferencias en el valor de los parámetros de las funciones de utilidad, mostrando que los compradores de automóviles y

camionetas valoran diferente las variables consideradas y que los parámetros estimados con esta segmentación son significativos estadísticamente, se escogió mantener la segmentación separando automóviles de camionetas y camperos.

- 7.64 El modelo escogido para el análisis de la estimación del cambio tecnológico en motocicletas no incluye las tecnologías de energético GVN e hidrógeno. Inicialmente se contemplaron las mismas tecnologías de energético que los automóviles y camionetas, pero en el desarrollo del modelo general de estimación de cambio tecnológico se tuvieron limitaciones de insumos para la evaluación de estas dos tecnologías dado que no existe la tecnología en el país actualmente, causando que se descartaran de este análisis.
- 7.65 En el caso de las motocicletas a hidrógeno, no se encontró su precio comercial a pesar de que se logró identificar un vehículo con este tipo de tecnología, y que haya sido incluido en las fichas anexas a este documento. Lo anterior está estrechamente relacionado con la mencionada inexistencia de esta tecnología en Colombia y de su temprano nivel de maduración a nivel mundial, generando que esta tecnología no pueda ser contemplada en los modelos de cambio tecnológico en este momento debido a la falta de información que los alimenta. Las motocicletas a diésel tampoco fueron incluidas en el análisis por las mismas razones.

**Tabla 7.8: Modelo multinomial para la compra de motocicletas de uso privado**

Parámetros	Coficiente	Estadístico Z
Constante Vehículo Eléctrico	0.15753	1.95
Constante Vehículo Híbrido	0.50897	4.90
Precio del vehículo	-0.06283	-3.87
Autonomía	0.07303	11.31
Costo de la recarga	-0.0002	-0.97
Valor anual por impuestos y mantenimiento	-0.03319	-6.54
Disponibilidad de estaciones de repostaje	0.19898	1.53

Fuente: Steer, 2020.

- 7.66 De acuerdo a los resultados obtenidos, se resalta la poca relevancia que le dan las personas encuestadas al costo del energético en los tres segmentos vehiculares analizados.
- 7.67 Los modelos anteriores presentan:
- **Coficiente:**
    - Signo negativo de los coeficientes de precio del vehículo, costo de recarga y valor anual por impuestos y mantenimiento: demuestra que entre mayor sean sus valores, menor sería la utilidad que generaría a las personas.
  - **Estadístico Z:**
    - Valor z: Los valores superiores a 1.96 (valor absoluto) indican un nivel de confianza superior al 95%, mostrando que los resultados obtenidos son confiables a un nivel muy alto. Esta condición está directamente asociada al tamaño de la muestra y a la bondad de ajuste del modelo calibrado.

7.68 A modo de ejemplo, a continuación se presenta la función de utilidad para la compra de una camioneta híbrida:

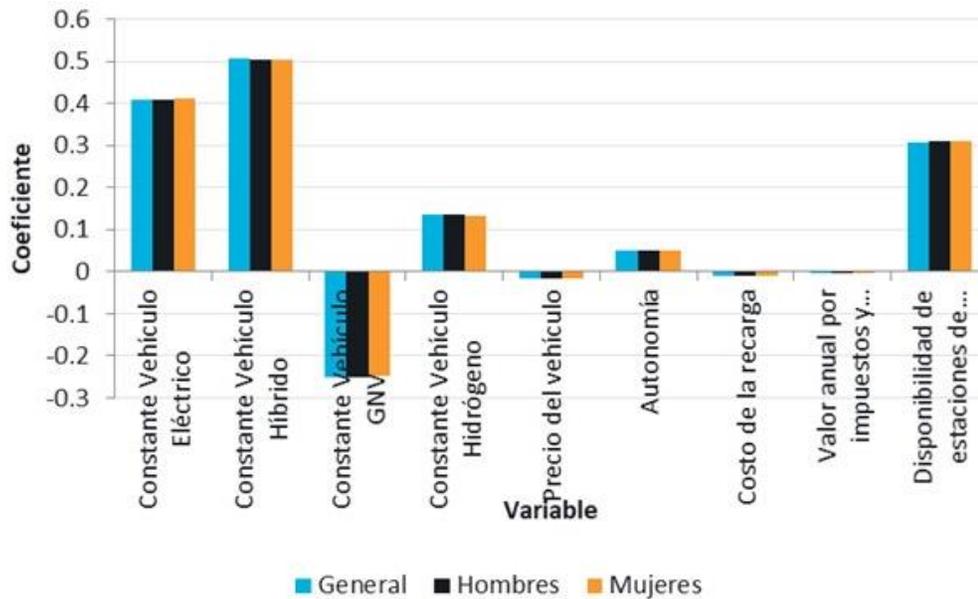
$$U_{Camionetahib} = 0.89129 - 0.01127 \cdot \text{precio} + 0.05357 \cdot \text{autonomía} - 0.00214 \cdot \text{costo recarga} - 0.00018 \cdot \text{valor anual} + 0.78385 \cdot \text{disponibilidad de estaciones} + \varepsilon_{in}$$

7.69 Adicionalmente a los modelos presentados, se construyeron otros modelos complementarios que pretenden observar si existen diferencias en las preferencias de compra vehicular considerando distintos segmentos de población. Se estimaron modelos para los mismos tres segmentos vehiculares discriminando el género de la persona encuestada, y también segmentando según el estrato de su lugar de residencia, agregando los resultados en niveles socioeconómicos:

- Nivel socioeconómico bajo: agrupa respondientes que residen en viviendas de estratos 1 y 2
- Nivel socioeconómico medio: agrupa respondientes que residen en viviendas de estratos 3 y 4
- Nivel socioeconómico alto: agrupa respondientes que residen en viviendas de estratos 5 y 6

7.70 Estos modelos evidenciaron que las personas al comprar un automóvil valoran de forma similar las variables evaluadas en este estudio e indistintamente a su identificación de género. En la figura a seguir se observa que los coeficientes son muy cercanos en magnitud para ambos segmentos y al modelo general.

Figura 7.26: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de automóviles considerando el género

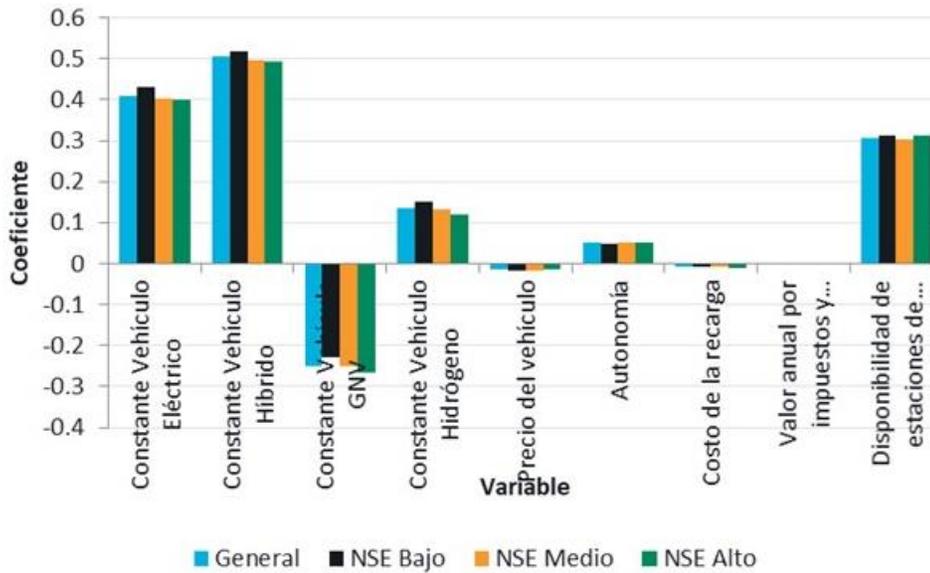


Fuente: Steer, 2020.

7.71 Al considerar el nivel socioeconómico de la persona encuestada para la compra de automóviles, se encontró que los valores de los coeficientes también son cercanos entre los segmentos, pero presentan una mayor variación en las constantes modales que el modelo segmentado por género, lo que se puede entender como la atraktividad que tendrían automóviles de las diferentes tecnologías vehiculares en comparación a un automóvil a gasolina.

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 | Productos 1 al 6

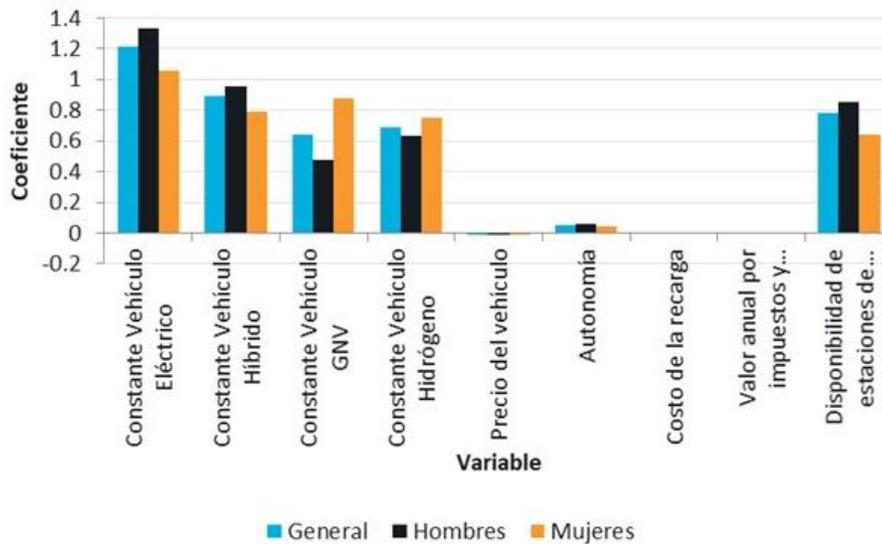
Figura 7.27: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de automóviles considerando el nivel socioeconómico



Fuente: Steer, 2020.

- 7.72 Los modelos estimados para camionetas y camperos presentan mayor variabilidad en la magnitud de los coeficientes al segmentar tanto por la identidad de género como por el nivel socioeconómico de la persona encuesta.
- 7.73 En la figura siguiente se aprecia que los hombres prefieren más a los vehículos eléctricos e híbridos que las mujeres, y que ellas valoran más positivamente a las camionetas y camperos con energéticos como el GNV y el hidrógeno, se observa también que para los hombres es más importante la disponibilidad de las estaciones de repostaje y la autonomía.

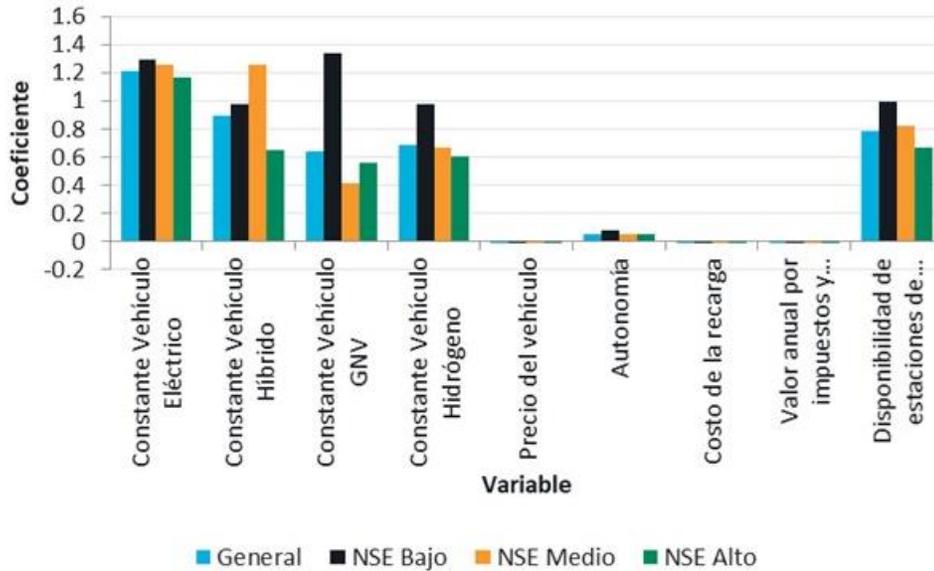
Figura 7.28: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de camionetas y camperos considerando el género



Fuente: Steer, 2020.

7.74 Considerando el nivel socioeconómico, resaltan las diferencias en las constantes de los vehículos híbridos y GNV, ya que evidencian una mayor preferencia de parte de las personas encuestadas de nivel socioeconómico medio y bajo correspondientemente.

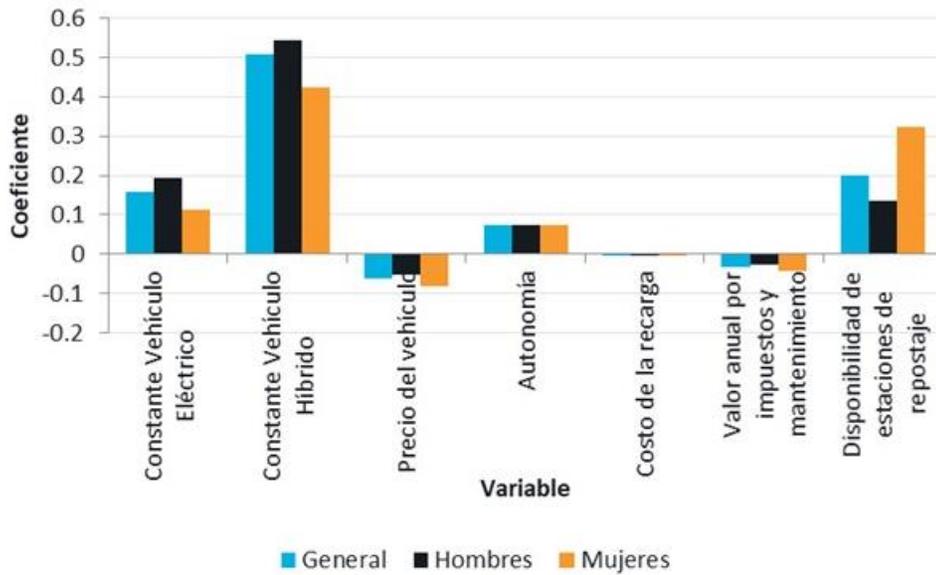
Figura 7.29: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de camionetas y camperos considerando el nivel socioeconómico



Fuente: Steer, 2020.

7.75 El comportamiento en la elección de compra para el segmento de motocicletas presenta también valoraciones diferenciadas en relación a las tecnologías vehiculares, el precio del vehículo y la disponibilidad de las estaciones de repostaje. Se observa que los hombres prefieren más las motocicletas eléctricas e híbridas que las mujeres y que para ellas tiene más relevancia el precio del vehículo y la disponibilidad de las estaciones de repostaje.

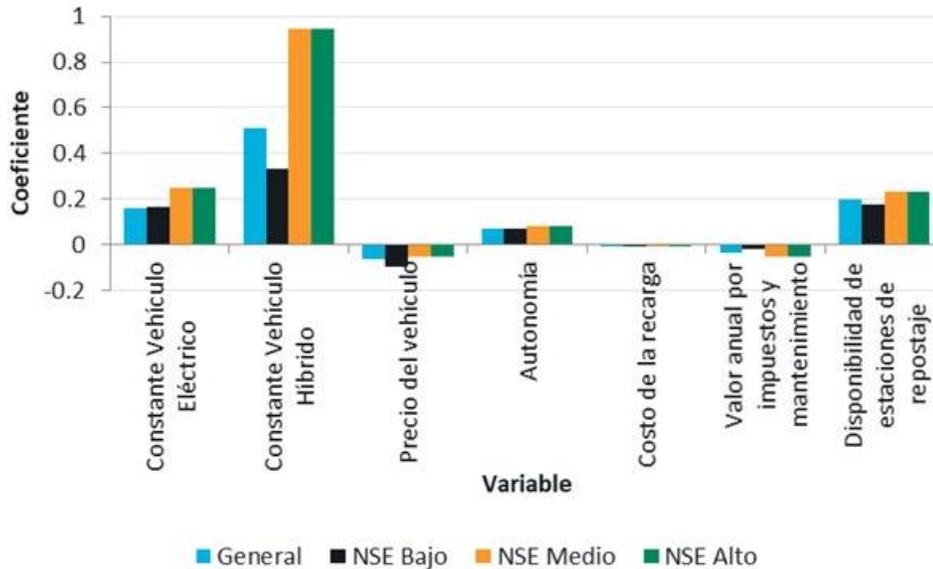
Figura 7.30: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de motocicletas considerando el género



Fuente: Steer, 2020.

7.76 Según el nivel socioeconómico de la persona encuestada, se evidencia una marcada diferencia en la magnitud de la constante de los vehículos híbridos. Las personas de niveles socioeconómicos alto y medio prefieren este tipo de tecnología aproximadamente 1.5 veces que las personas de nivel socioeconómico bajo. En las demás variables se evidencia también la semejanza de la valoración de las variables en los niveles socioeconómicos alto y medio.

Figura 7.31: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de motocicletas considerando el nivel socioeconómico



Fuente: Steer, 2020.

### *Cambio tecnológico*

- 7.77 Para la estimación del cambio tecnológico se aplicaron los modelos logit multinomial estimados para los tres segmentos, ya que permiten modelar estructuras sencillas donde todos los errores  $\varepsilon_{in}$  provienen de funciones Gumbel<sup>18</sup> idénticamente distribuidas y toman la forma general siguiente:

$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_{A_j \in A(n)} e^{V_{nj}}}$$

Donde,

$P_{ni}$  es la probabilidad de que el individuo “n” escoja la alternativa “i”

$A(n)$ : alternativas

- 7.78 De esta forma, es posible conocer la probabilidad de compra de vehículos de las diferentes tecnologías según el valor de los atributos que definen su función de utilidad. Conforme el planteamiento anterior, se construyeron 3 modelos de cambio tecnológico para los años 2021 a 2050. Estos modelos tuvieron como insumo varios tipos de información que define el valor de las variables en cada función de utilidad:

- Proyecciones de compra de vehículos livianos nuevos de uso privado en el país para los años 2021 – 2050, proveniente de los modelos de motorización por tipología vehicular en dos trayectorias.
- Información de los vehículos moda de las fichas de tecnología vehicular:
  - Precio del vehículo
  - Rendimiento
  - Autonomía
- Precios y proyecciones de variación del precio de los energéticos respecto a la gasolina para los años 2021 – 2050
- Valor del SOAT en 2020
- Supuestos y proyecciones de implementación de infraestructura para el repostaje de energéticos de bajas y cero emisiones en el país versus la disponibilidad actual de estaciones de gasolina
- Supuesto de uso promedio por día en kilómetros recorridos por vehículo de 24 km/día
- Supuestos de igualación de precios de vehículos de las diferentes tecnologías

- 7.79 Las variables de precio del vehículo, costo de recarga y disponibilidad de estaciones consideraron dos escenarios cada una.

- **Precio del vehículo**
  - Escenario 1:
    - Los automóviles, camionetas y motocicletas eléctricas igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2035

---

<sup>18</sup> Tipo de distribución de probabilidad

- Los automóviles y camionetas híbridas igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2028
- Los automóviles y camionetas GNV igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2025
- Los automóviles y camionetas a hidrógeno igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2040
- Las motocicletas a hidrógeno aparecen en el mercado colombiano en 2026 e igualan su precio a las de gasolina en 2033
- Escenario 2:
  - Los automóviles, camionetas y motocicletas eléctricas igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2030
  - Los automóviles y camionetas híbridas igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2023
  - Los automóviles y camionetas GNV igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2025
  - Los automóviles y camionetas a hidrógeno igualan linealmente su precio a los de gasolina en 2035
  - Las motocicletas a hidrógeno aparecen en el mercado colombiano en 2026 e igualan su precio a las de gasolina en 2033
- **Costo de recarga**
  - Escenario 1: Considera que el valor comercial del kg de hidrógeno en 2040 será dos veces el valor de un galón de gasolina y que la variación del precio será lineal
  - Escenario 2: Considera que el valor comercial del kg de hidrógeno en 2035 será dos veces el valor de un galón de gasolina y que la variación del precio será lineal
- **Disponibilidad de estaciones**
  - Escenario 1:
    - Disponibilidad de estaciones de gasolina: disponibilidad actual
    - Disponibilidad de electrolinerías públicas: 1 cada 7 estaciones de gasolina en 2022, creciendo linealmente hasta igualar oferta en 2035
    - Disponibilidad de estaciones de GNV: 1 cada 7 estaciones de gasolina en 2020, creciendo linealmente hasta igualar oferta en 2025
    - Disponibilidad de estaciones de hidrógeno: 1 cada 14 estaciones de gasolina en 2026, creciendo linealmente hasta igualar oferta en 2040
  - Escenario 2:
    - Disponibilidad de estaciones de gasolina: disponibilidad actual
    - Disponibilidad de electrolinerías públicas: 1 cada 7 estaciones de gasolina en 2022, creciendo linealmente hasta igualar oferta en 2030
    - Disponibilidad de estaciones de GNV: 1 cada 7 estaciones de gasolina en 2020, creciendo linealmente hasta igualar oferta en 2025
    - Disponibilidad de estaciones de hidrógeno: 1 cada 14 estaciones de gasolina en 2026, creciendo linealmente hasta igualar oferta en 2035

- 7.80 Las variables de autonomía y costo anual por impuestos y mantenimientos se mantuvieron constantes en los escenarios evaluados y cambian su valor únicamente entre los segmentos vehiculares considerados.
- 7.81 La combinación de los escenarios descritos de cada variable derivaron en la conformación de 16 escenarios de estimación de cambio tecnológico para los tres segmentos de vehículos livianos de uso privado.

**Tabla 7.9: 16 escenarios para estimación de cambio tecnológico para los 3 segmentos vehiculares de uso privado**

Escenario	Proyección de compra de vehículos nuevos	Precio del vehículo	Costo de recarga	Disponibilidad de estaciones
1	E1	E1	E1	E1
2	E1	E2	E1	E1
3	E1	E1	E2	E1
4	E1	E1	E1	E2
5	E1	E2	E2	E1
6	E1	E1	E2	E2
7	E1	E2	E1	E2
8	E1	E2	E2	E2
9	E2	E1	E1	E1
10	E2	E2	E1	E1
11	E2	E1	E2	E1
12	E2	E1	E1	E2
13	E2	E2	E2	E1
14	E2	E1	E2	E2
15	E2	E2	E1	E2
16	E2	E2	E2	E2

Fuente: Steer, 2020.

- 7.82 Los resultados obtenidos de la evaluación estos escenarios permitieron observar que en el contexto de elección y evaluación del cambio tecnológico, la preferencia por los vehículos a gasolina y diésel tiende a disminuir a medida que cobran fuerza las otras tecnologías de bajas y cero emisiones.
- 7.83 La proyección de la participación de las diferentes tecnologías vehiculares en el nuevo parque de vehículos livianos de uso privado, en los diferentes escenarios, se presenta a continuación.

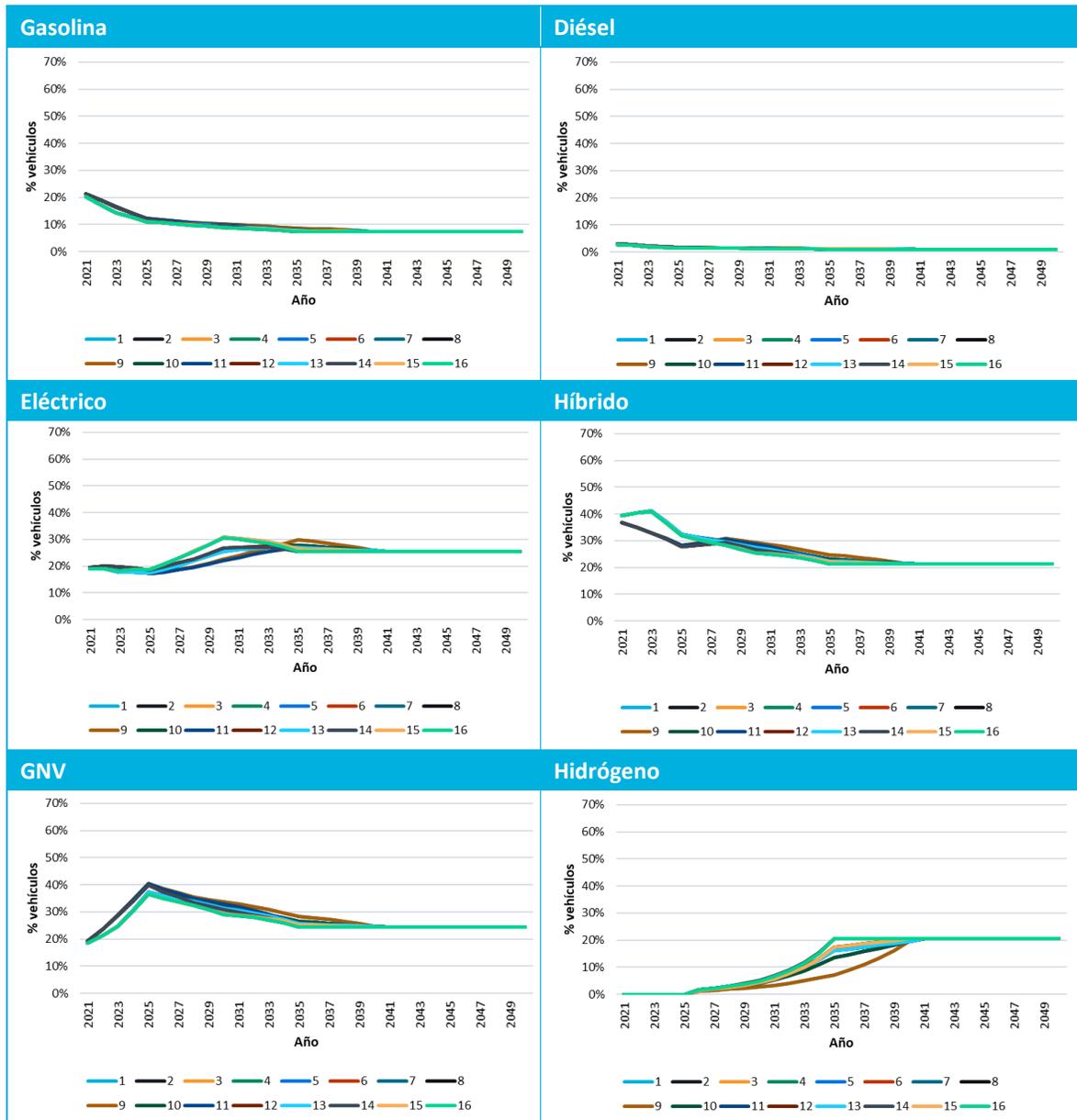
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6

Tabla 7.10: Porcentaje de vehículos según tecnología vehicular en los 16 escenarios evaluados - Automóviles



Fuente: Steer, 2020.

**Tabla 7.11: Porcentaje de vehículos según tecnología vehicular en los 16 escenarios evaluados – Camionetas y camperos**

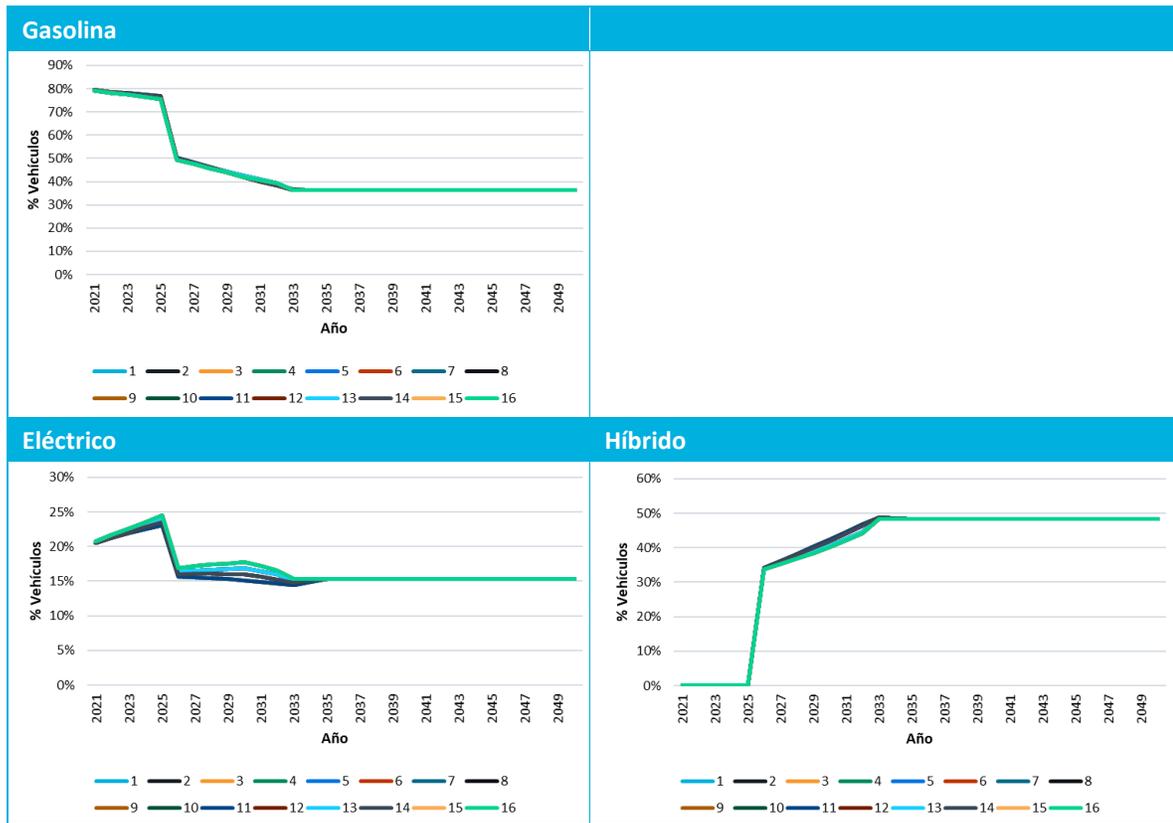


Fuente: Steer, 2020.

7.84 En el caso de las motocicletas, se observa la entrada de la tecnología híbrida atraerá un gran porcentaje de las personas que pretendan comprar este tipo de vehículo, afectando principalmente la venta de motocicletas a gasolina.

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 | Productos 1 al 6

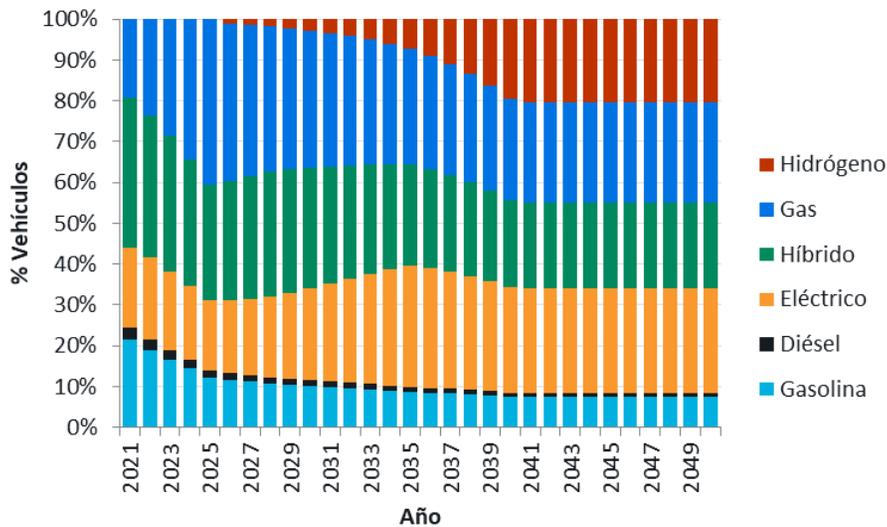
**Tabla 7.12: Porcentaje de vehículos según tecnología vehicular en los 16 escenarios evaluados – Motocicletas**



Fuente: Steer, 2020.

7.85 A modo de ejemplo, a continuación se presenta un escenario prospectivo de cambio tecnológico para camionetas, incluyendo las 6 tecnologías evaluadas.

**Figura 7.32: Escenario 1 de cambio tecnológico – Camionetas y camperos**



Fuente: Steer, 2020.

### Vehículos livianos de servicio público

7.86 La construcción del modelo de distribución tecnológica para vehículos livianos se realiza a partir del análisis de la disponibilidad vehicular y del mercado actual y potencial del país. Las tecnologías vehiculares que se consideran para este segmento son:

- Vehículos eléctricos
- Vehículos híbridos (gasolina/eléctrico)
- Vehículos dedicados a GNV
- Vehículos de GLP
- Vehículos de celda de combustible de hidrógeno

7.87 En la siguiente tabla se presentan los supuestos para la estimación de cambio tecnológico.

**Tabla 7.13: Supuestos para estimación de cambio tecnológico de vehículos livianos de servicio público**

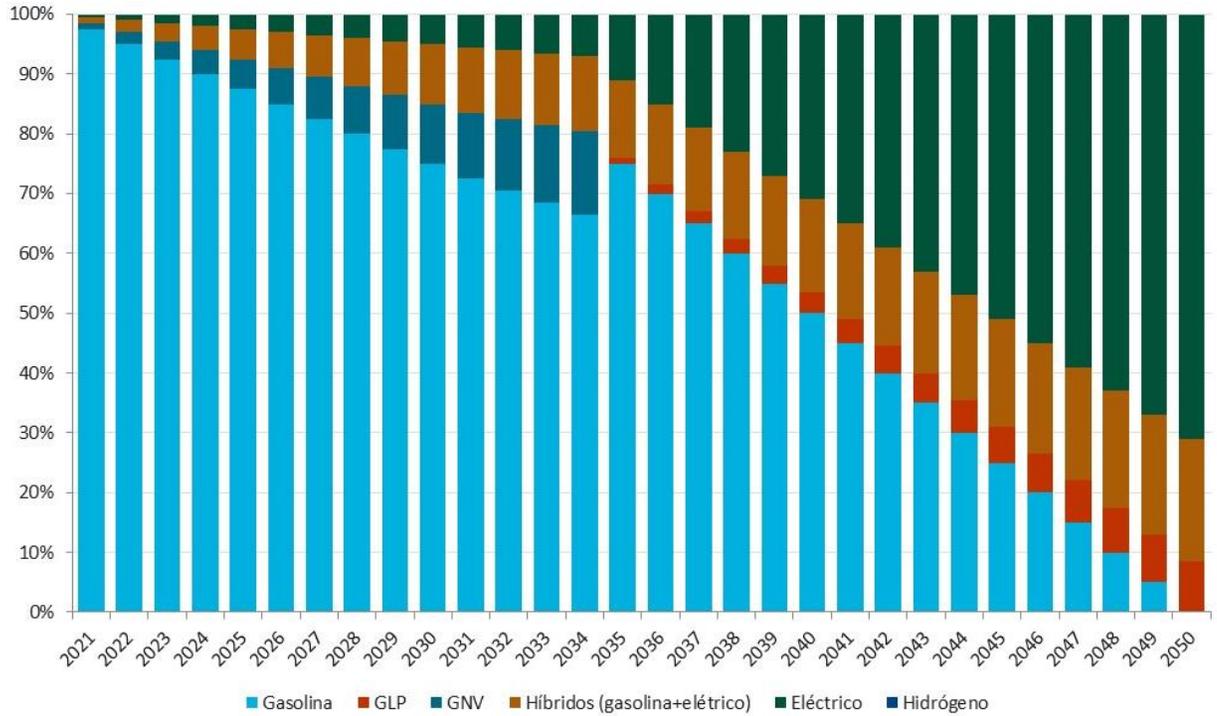
Tecnología vehicular	Trayectoria 1	Trayectoria 1
Eléctrico	En 2035 los precios de vehículos eléctricos se igualan a los de vehículos de combustión interna	En 2030 los precios de vehículos eléctricos se igualan a los de vehículos de combustión interna
GNV	Como combustible de transición tiene espacio en el mercado hasta 2035	Como combustible de transición tiene espacio en el mercado hasta 2030
Híbridos (gasolina+el eléctrico)	Tasa de crecimiento mayor que vehículos eléctricos hasta 2035	Tasa de crecimiento mayor que vehículos eléctricos hasta 2030
GLP	Entra al mercado en 2035	Entra al mercado en 2030
Hidrógeno		Entra al mercado en 2040

Fuente: Steer, 2020.

7.88 A partir de estos supuestos se tienen los siguientes resultados para cada trayectoria.

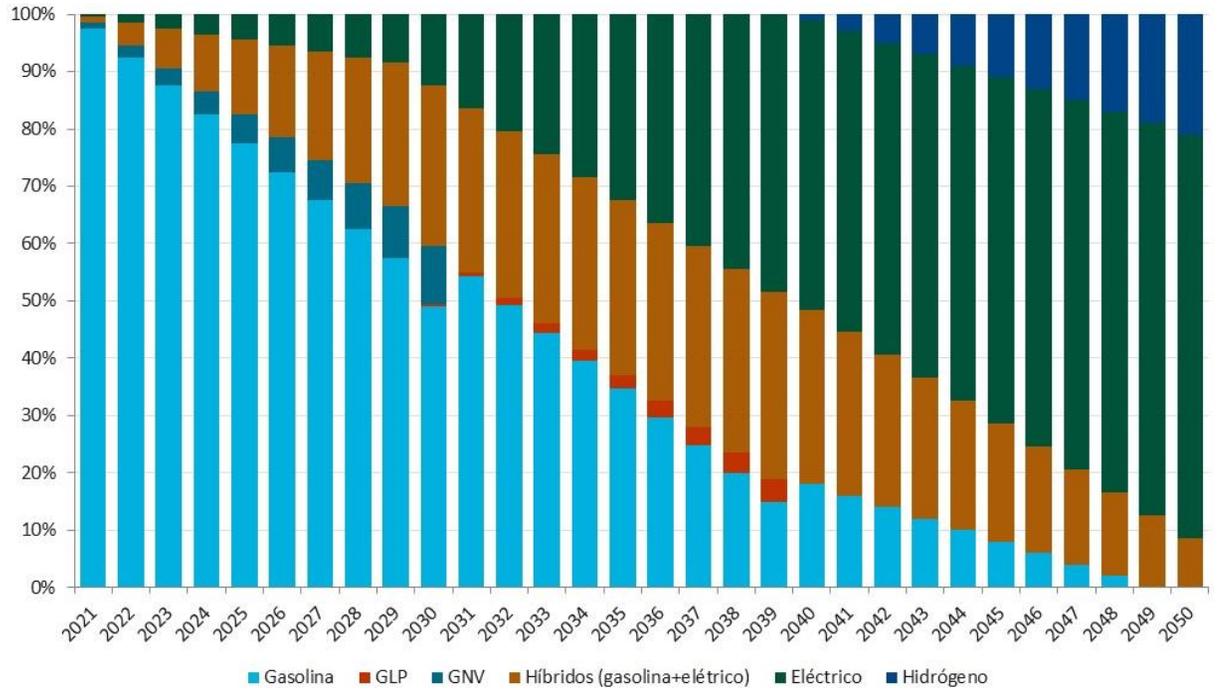
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6

**Figura 7.33: Cambio tecnológico para trayectoria 1 – vehículos livianos de servicio público**



Fuente: Steer, 2020.

**Figura 7.34: Cambio tecnológico para trayectoria 2 – vehículos livianos de servicio público**



Fuente: Steer, 2020.

### Vehículos de pasajeros

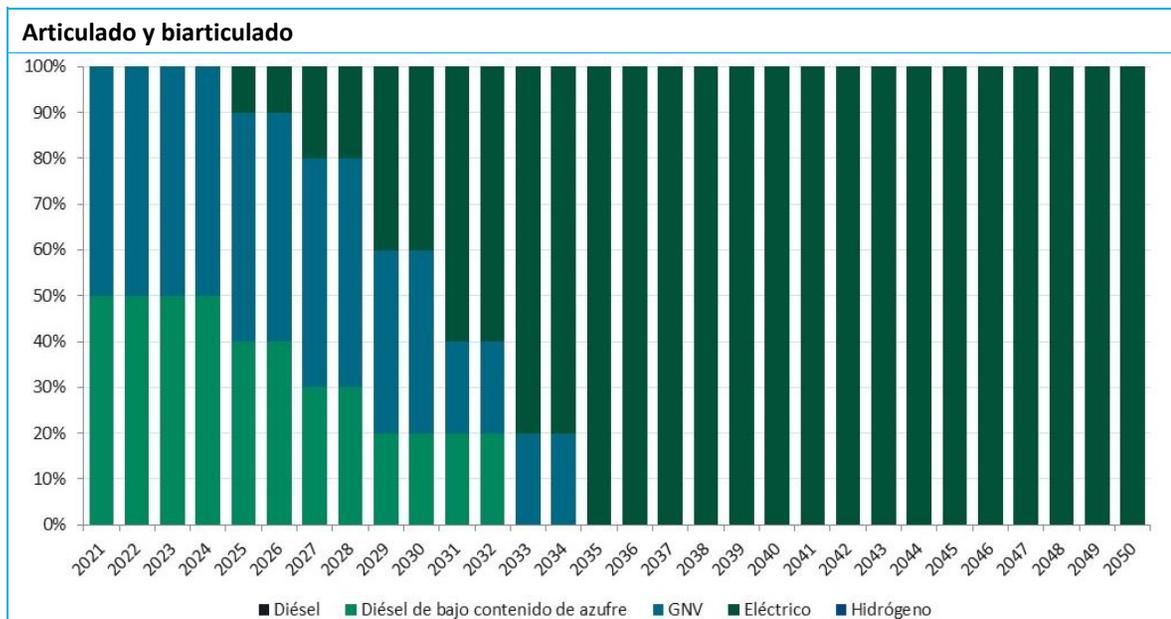
7.89 En el caso de los vehículos de pasajeros de transporte público, la estimación de cambio tecnológico está relacionada con decisiones de política pública. Como se mencionó previamente, los vehículos analizados corresponden a los que hacen parte de los SITM y SETP del país y se segmentan en tres grandes grupos: articulados y biarticulados, padrones y buses. Las tecnologías vehiculares consideradas en el análisis son las siguientes.

- Vehículos a diésel Euro V y Euro VI
- Vehículos dedicados a GNV
- Vehículos eléctricos
- Vehículos de hidrógeno

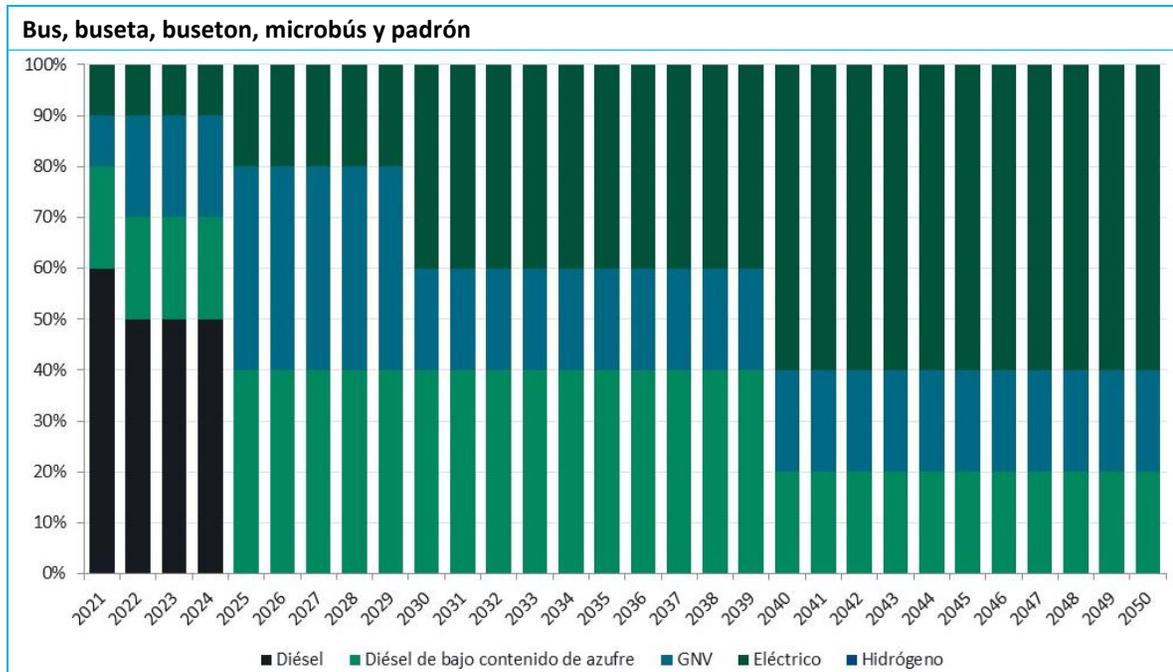
7.90 En las siguientes figuras se presentan las dos trayectorias propuestas para el cambio tecnológico de vehículos de pasajeros, en esta estimación se consideran factores como la disponibilidad de tecnologías vehiculares y políticas relacionadas con la flota vehicular de transporte público en las ciudades. Es importante mencionar que la trayectoria 1 tiene en cuenta el escenario planteado por la Ley de Movilidad Eléctrica (Ley 1964 de 2019) en la que se establece lo siguiente, para los Sistemas Integrados de Transporte Masivo, la trayectoria dos incluye proyecciones optimistas en relación con lo establecido por la Ley:

- A partir de 2025, mínimo el diez (10) por ciento de los vehículos adquiridos.
- A partir de 2027, mínimo el veinte (20) por ciento de los vehículos adquiridos.
- A partir de 2029, mínimo el cuarenta (40) por ciento de los vehículos adquiridos.
- A partir de 2031, mínimo el sesenta (60) por ciento de los vehículos adquiridos.
- A partir de 2033, mínimo el ochenta (80) por ciento de los vehículos adquiridos.
- A partir de 2035, mínimo el cien (100) por ciento de los vehículos adquiridos.

Figura 7.35: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de pasajeros de transporte público – Trayectoria 1

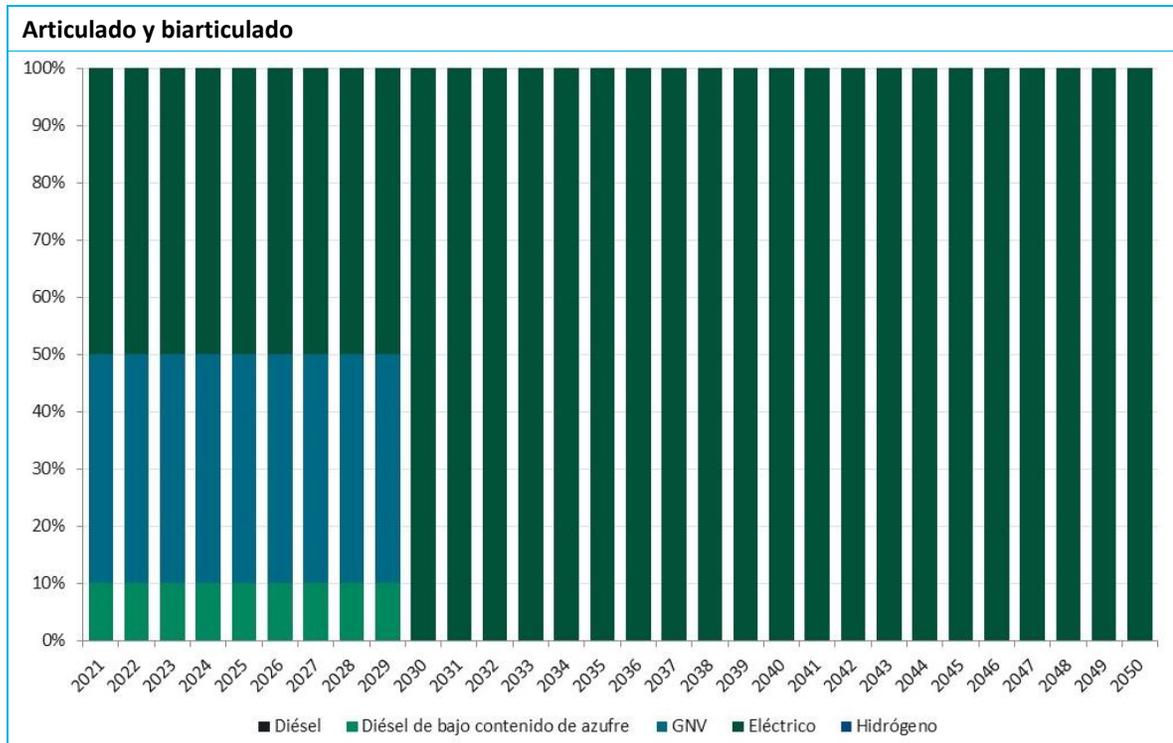


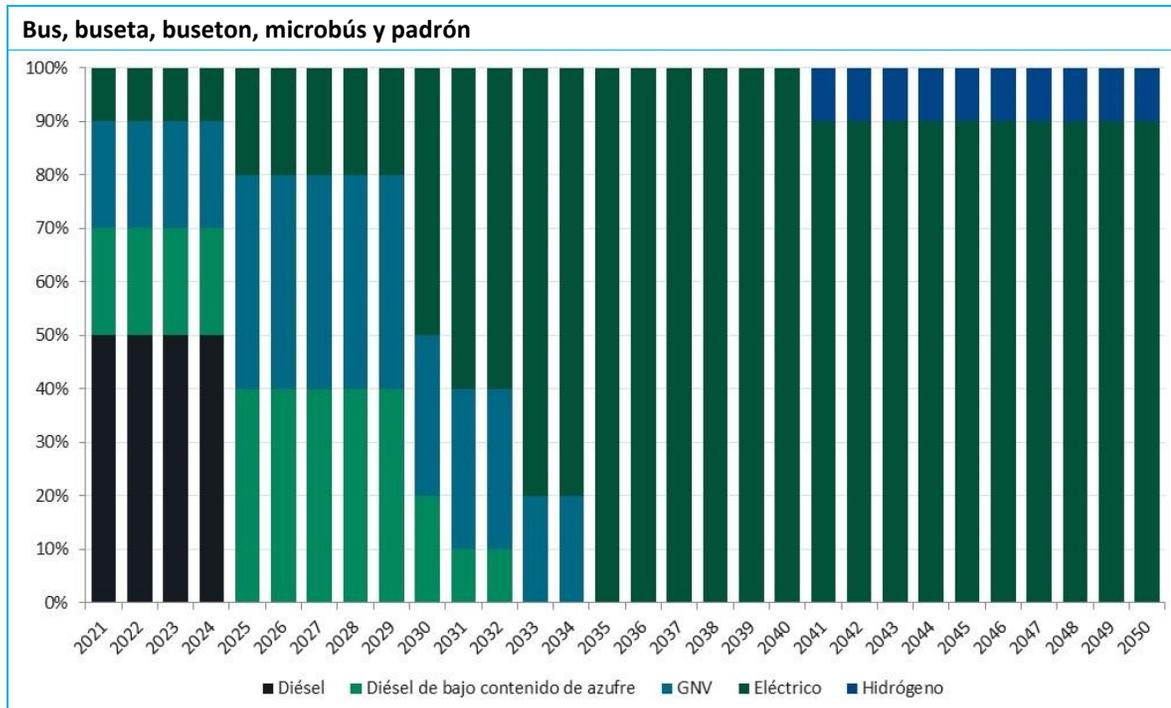
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6



Fuente: Steer, 2020.

Figura 7.36: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de pasajeros de transporte público – Trayectoria 2





Fuente: Steer, 2020.

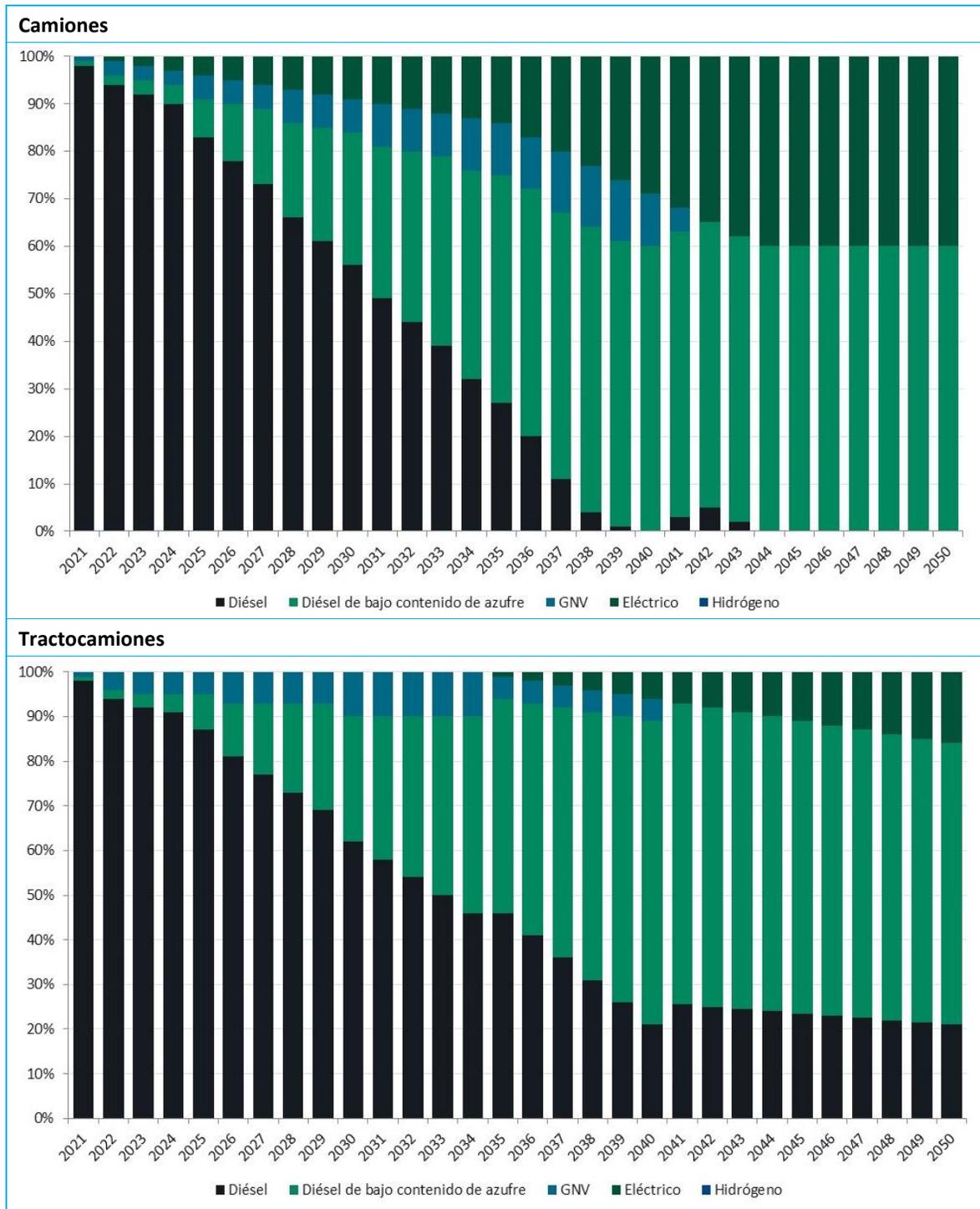
### Vehículos de carga

7.91 Para los vehículos de carga se consideran dos categorías, una para tractocamiones y otra para camiones y volquetas. Para las dos categorías se consideran las siguientes tecnologías vehiculares.

- Vehículos a diésel Euro V y Euro VI
- Vehículos dedicados a GNV
- Vehículos eléctricos
- Vehículos de hidrógeno

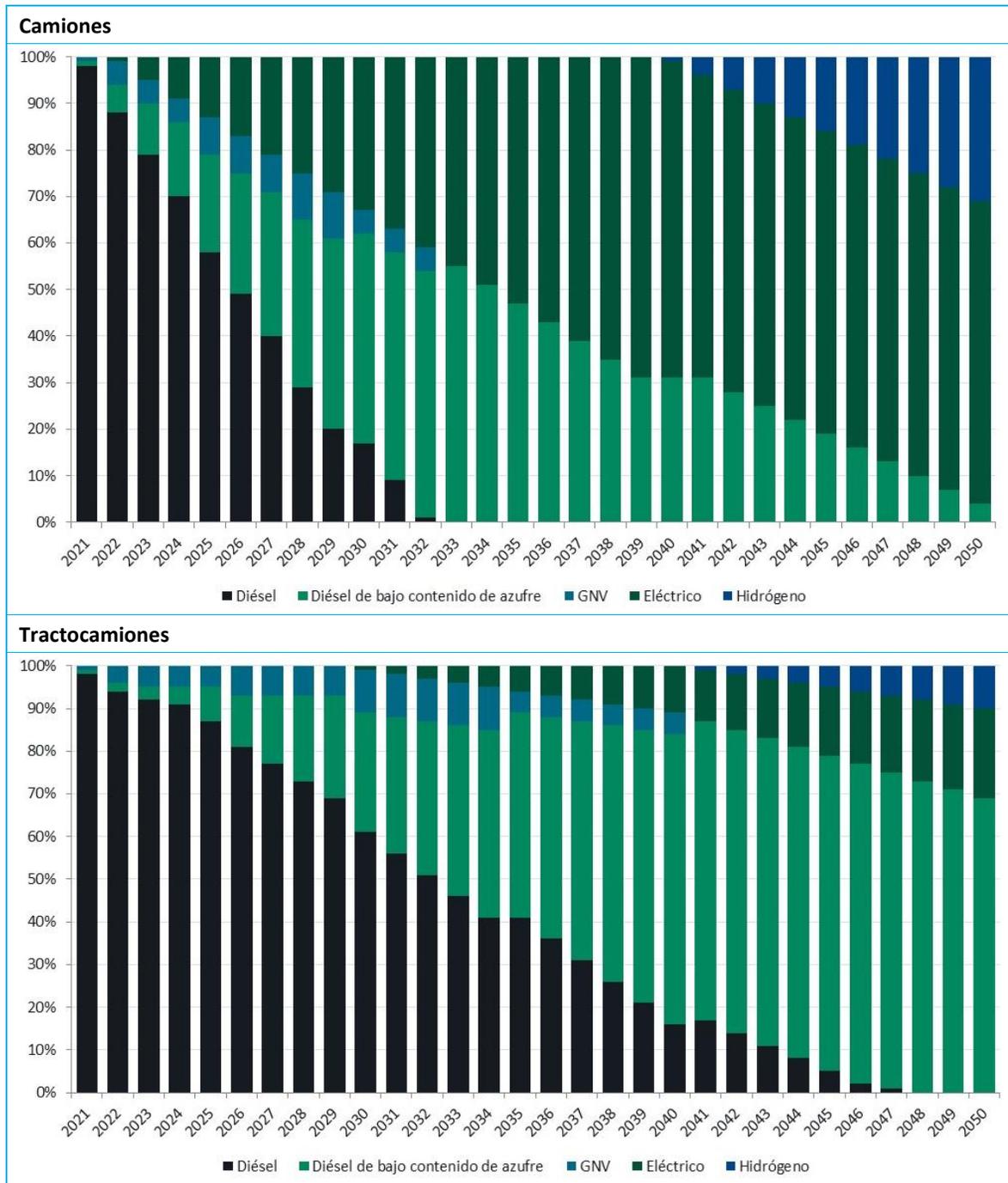
7.92 A continuación se presenta estimación de cambio tecnológico para dos trayectorias propuestas, en la primera se estima que los vehículos de cero y bajas emisiones se masifican a partir del 2030, mientras que en la segunda trayectoria se estima que estas tecnologías se masifican en el 2030 para este segmento vehicular.

**Figura 7.37: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de carga – Trayectoria 1**



Fuente: Steer, 2020.

**Figura 7.38: Estimación de cambio tecnológico para vehículos de carga – Trayectoria 2**



Fuente: Steer, 2020.

## 8 Evaluación de escenarios

- 8.1 Este capítulo contiene la evaluación de los escenarios construidos anteriormente, la cual consiste en la cuantificación de los principales parámetros relacionados al ascenso tecnológico del parque automotor del país. Entre estos parámetros se destacan las emisiones generadas por el uso de los vehículos automotores, el gasto energético de estos, la inversión requerida para adquisición de vehículos y el consumo de los diferentes energéticos. La estimación de estos parámetros, además de presentar insumos para realizar algunas comparaciones entre los escenarios, es el insumo principal para la priorización del escenario con las medidas más efectivas o deseables para el ascenso tecnológico.
- 8.2 Para realizar las estimaciones descritas se requiere contar con información referente a la cantidad de vehículos nuevos por tipología y por tecnología vehicular para cada año de análisis hasta el 2050, el uso o actividad en kilómetros recorridos de esos vehículos, los factores de rendimiento energético, los factores de emisión, el precio de adquisición de los vehículos y los rendimientos de consumo de los diferentes energéticos. La cantidad de vehículos nuevos para cada año es el resultado del capítulo anterior y difiere de un escenario a otro. Por su parte, la fuente y uso de los demás elementos se presentará a continuación.
- 8.3 El resultado de este capítulo será contar con las estimaciones de emisiones generadas, consumo energético, costo de adquisición de vehículos y costo de consumo de energéticos para cada escenario de análisis.

### Estimación de uso

- 8.4 Con el fin de estimar el consumo de energético por tipo de vehículo y las emisiones contaminantes asociadas en cada uno de los escenarios, se determinaron los kilómetros anuales recorridos. Lo anterior, basado en información secundaria disponible y validación con actores del sector transporte. A continuación se describen brevemente los supuestos y fuentes utilizadas en la estimación.
- 8.5 Para la tipología de buses articulados y biarticulados, se revisaron indicadores de los sistemas integrados de transporte masivo – SITM de las ciudades de Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla y Bucaramanga, definiendo un valor de 200 Km diarios.
- 8.6 En el caso de los padrones, bus, buseta y colectivo, en los casos que aplican se toman como referencia las mismas ciudades y se incluyen datos para las ciudades con Sistemas Estratégicos de Transporte, encontrando un promedio diario de 200 Km para los vehículos padrones y 160 Km para buseta, buseton, bus y microbús.
- 8.7 Por otra parte, en transporte público individual se tomaron como referencia los estudios de tarifa de taxis en la ciudad de Bogotá y se contrastó con un sondeo a propietarios de vehículos de

servicio especial. El valor asumido es de 200 km diarios que se encuentra en el rango de 180 km para vehículos de servicio especial y 250 km para taxis.

- 8.8 En la tipología de vehículo privado, que incluye auto, camioneta, campero y motocicleta, se emplearon los valores estándar de zonas urbanas, en este caso 24 km en automóviles y 30 para motocicletas.
- 8.9 Por último, en camiones se consideraron valores de referencia de la Encuesta Nacional Logística realizada por el DNP en 2018, específicamente se utiliza el factor de uso reportado por las empresas del sector transporte.
- 8.10 Una vez identificado el recorrido diario promedio se procedió a la expansión anual de día hábil a año, basados en información secundaria. La tabla a continuación presenta un resumen de los supuestos para la estimación de kilómetros anuales recorridos por tipo de vehículo.

**Tabla 8.1: Indicador de uso por tipo de vehículo**

Tipo de vehículo	Indicador de uso	Unidad	Factor de expansión	Km-veh anuales
Articulado/Biarticulado	220	km-día	330	72,600
Padrón	200	km-día	330	66,000
Buseta/buseton/bus/microbús	160	km-día	330	52,800
Auto de servicio público	200	km-día	340	68,000
Camioneta de servicio público	200	km-día	340	68,000
Auto	24	km-día	365	8,760
Camioneta/campero	24	km-día	365	8,760
Camión	5,443	Km-mes	12	65,316
Volqueta	5,443	Km-mes	12	65,316
Tractocamión	8,165	Km-mes	12	97,974
Motocicleta	30	km-día	365	10,950

Fuente: Steer, 2020.

- 8.11 Estos valores promedio se usaron para todos los vehículos del segmento vehicular en cuestión, independientemente de la tecnología de los vehículos, con el fin de cuantificar el impacto del cambio tecnológico y no cuantificar variaciones en las dinámicas de movilidad que puedan ser resultado de otras medidas complementarias.

### Consumo de energéticos

- 8.12 La siguiente expresión presenta la forma como se calcula el consumo energético en cada escenario. La expresión describe la suma de los productos del rendimiento energético de un tipo de vehículo con la actividad o el uso que se le da a cada tipo de vehículo, expresado en kilómetros recorridos en un periodo de tiempo definido, en este caso en un año.

$$C_e = \sum \sum \frac{R_{ij} \cdot FA_{ij}}{100}$$

Donde,

i: Tipo de vehículo agrupado por segmento vehicular.

j: Tipo de energético empleado por el vehículo.

$C_j$ : Consumo anual del energético j.

$R_{ij}$ : Rendimiento del energético del vehículo i con combustible j, expresado en L/100 km, m<sup>3</sup>/100 km, kg/100 km o kWh/100 km.

$FA_{ij}$ : Factor de actividad del tipo de vehículo i con combustible j en el periodo de análisis, presentado en km.

- 8.13 El uso de los vehículos, o factor de actividad, es el mismo presentado en la sección de Estimación de uso; mientras que para el rendimiento de los energéticos se realizó un estudio de mercado con información secundaria disponible. El resultado de este estudio de mercado en cuanto a los rendimientos de energéticos por segmento y tecnología vehicular se presentan en los Anexos.
- 8.14 Para evaluar el efecto que tiene el precio de compra de los vehículos en el cambio de tecnología, se consideraron los precios de mercado actuales de los vehículos y el supuesto de que a futuro los vehículos con tecnologías de baja y cero emisiones igualarán al precio de aquellos a gasolina o diésel. Así, se proyectó una disminución lineal en el precio de adquisición de los vehículos de estas tecnologías limpias hasta el año de igualación previsto.

### Resultados

- 8.15 Para cada escenario se cuantificó el consumo de los diferentes energéticos, únicamente para los vehículos adquiridos a partir del 2021 hasta el 2050 durante su operación dentro del parque automotor del país.
- 8.16 La siguiente tabla y figura presentan los resultados del cálculo de consumo de energéticos para el E1 a modo de ejemplo.

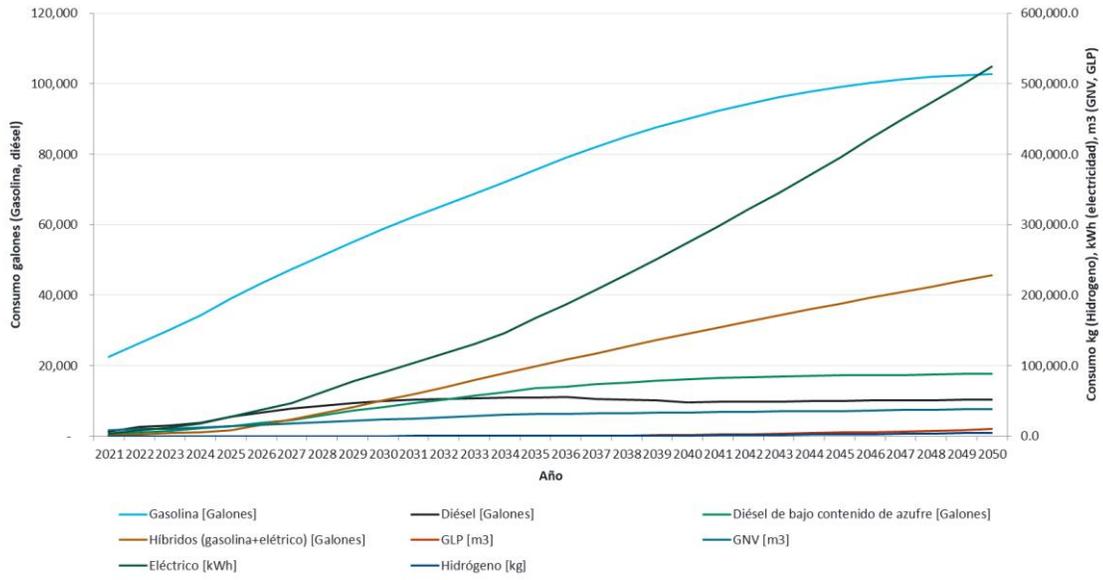
**Tabla 8.2: Consumo energéticos – E1**

Energético	Unidad	Consumo 2021 - 2025
Gasolina	[mill Galones]	2,164,385
Diésel	[mill Galones]	263,682
Diésel de bajo contenido de azufre	[mill Galones]	342,705
GLP	[mill m3]	61,948
GNV	[mill m3]	819,374
Híbridos (gasolina+eléctrico)	[mill Galones]	626,500
Eléctrico	[mill kWh]	6,294,482
Hidrógeno	[mill kg]	30,614

Fuente: 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 | Productos 1 al 6

**Figura 8.1: Consumo de energéticos – E1. 2021 – 2050**



Fuente: Steer, 2020

8.17 Por su parte, al comparar los diferentes escenarios en el consumo de los energéticos principales se obtuvo lo siguiente:

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 | Productos 1 al 6

**Tabla 8.3: Consumo de energéticos por escenario. 2021 - 2050**

Escenario	Gasolina [MGal]	Diésel [MGal]	Diésel bajo azufre [MGal]	GLP [Mm3]	GNV [Mm3]	Híbridos [MGal Gasolina]	Eléctrico [MkWh]	Hidrógeno [Mkg]
E1	2,164,385	263,682	342,705	61,948	819,374	626,500	6,294,482	30,614
E2	2,160,466	263,204	342,705	61,948	807,098	620,896	6,326,709	38,787
E3	2,185,571	265,622	342,705	61,948	853,332	607,004	6,434,409	44,432
E4	2,181,631	265,311	342,705	61,948	845,395	602,392	6,508,955	46,718
E5	1,872,398	256,740	291,351	45,900	738,461	731,962	7,653,825	48,040
E6	1,868,699	256,462	291,351	45,900	731,132	727,124	7,734,699	49,842
E7	1,892,955	258,788	291,351	45,900	775,685	713,581	7,854,733	55,394
E8	1,888,788	256,040	291,745	45,900	762,017	708,661	8,113,326	57,074
E9	2,163,359	284,264	350,357	61,948	824,463	620,850	6,384,706	30,614
E10	2,160,466	283,785	350,357	61,948	812,188	687,639	6,381,405	38,787
E11	2,185,571	286,204	350,357	61,948	858,422	607,004	6,489,105	44,432
E12	2,181,631	285,893	350,357	61,948	850,484	602,392	6,563,651	46,718
E13	1,872,398	280,999	297,610	45,900	730,665	731,962	7,776,041	46,274
E14	1,868,699	280,722	297,610	45,900	723,337	727,124	7,856,915	48,076
E15	1,892,955	283,047	297,610	45,900	767,889	713,581	7,976,949	53,627
E16	1,888,788	282,722	297,610	45,900	759,610	708,661	8,060,170	55,870
E17	2,231,175	265,699	342,705	61,948	856,983	642,539	6,474,477	31,020
E18	2,225,568	265,202	342,705	61,948	844,291	635,382	6,526,833	39,363
E19	2,253,404	267,881	342,705	61,948	895,142	620,127	6,643,173	45,119
E20	2,249,187	267,554	342,705	61,948	886,861	615,359	6,722,245	47,452
E21	1,933,854	258,376	291,351	45,900	769,432	749,494	7,846,692	48,573
E22	1,929,905	258,087	291,351	45,900	761,821	744,486	7,931,949	50,412

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 | Productos 1 al 6

Escenario	Gasolina [MGal]	Diésel [MGal]	Diésel bajo azufre [MGal]	GLP [Mm3]	GNV [Mm3]	Híbridos [MGal Gasolina]	Eléctrico [MkWh]	Hidrógeno [Mkg]
E23	1,956,790	260,663	291,351	45,900	810,802	729,601	8,062,076	56,073
E24	1,952,355	257,900	291,745	45,900	796,816	724,508	8,325,285	57,799
E25	2,231,175	286,280	350,357	61,948	862,073	642,539	6,529,172	31,020
E26	2,225,568	285,783	350,357	61,948	849,381	635,382	6,581,529	39,363
E27	2,253,404	288,463	350,357	61,948	900,231	620,127	6,697,868	45,119
E28	2,249,187	288,136	350,357	61,948	891,950	615,359	6,776,941	47,452
E29	1,933,854	282,636	297,610	45,900	761,636	749,494	7,968,908	46,807
E30	1,929,905	282,346	297,610	45,900	754,025	744,486	8,054,166	48,646
E31	1,956,790	284,922	297,610	45,900	803,006	729,601	8,184,292	54,307
E32	1,952,355	284,582	297,610	45,900	794,409	724,508	8,272,129	56,595

Fuente: Steer, 2020

## Emisiones generadas

- 8.18 Las emisiones generadas por una flota vehicular pueden ser expresadas como se indica a continuación. Esta ecuación describe la suma de los productos de los factores de emisión de un contaminante de interés teniendo en cuenta el energético y el tipo de vehículo empleado con la actividad o el uso de los vehículos y energéticos usados.

$$E_x = \sum \sum \frac{FE_{xij} \cdot FA_{ij}}{10^6}$$

Donde,

x: Contaminante analizado de GEI (CO<sub>2eq</sub>) o criterio (PM).

i: Tipo de vehículo agrupado por segmento vehicular.

j: Tipo de energético empleado por el vehículo.

E<sub>x</sub>: Emisiones del contaminante x generadas por la flota de las entidades de orden nacional y sus oficinas territoriales, presentado en Ton del contaminante emitido.

FE<sub>xij</sub>: Factor de emisión del contaminante x para el tipo de vehículo i con combustible j, presentado en g/km.

FA<sub>ij</sub>: Factor de actividad del tipo de vehículo i con combustible j en el periodo de análisis, presentado en km.

- 8.19 Los insumos requeridos para la estimación de las emisiones generadas son los factores de emisión por contaminante, tipo de vehículo y energético empleado y los factores de actividad que al igual que en el caso de consumo energético son resultado de la sección de estimación de uso.

- 8.20 Por su parte, para la definición de los factores de emisión a usar se realizó una revisión de distintas fuentes que podrían usarse en el contexto colombiano y se optó por usar los factores del *International Vehicle Emissions Model* (IVE) el cual posee factores de emisión para cerca de 450 tecnologías vehiculares clasificadas de acuerdo con la tipología vehicular, energético, peso, entre otros (International Sustainable Systems Research Center, 2010). Para fines del ejercicio de estimación se propone la cuantificación de emisiones de CO<sub>2eq</sub> y contaminantes criterio como CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM. Los factores de emisión empleados para cada segmento vehicular se presentan en los Anexos.

- 8.21 De forma similar al caso de los rendimientos energéticos, se decidió mantener constantes en el tiempo los factores de emisión, asumiendo que la diferencia en avances en tecnología va a ser la misma en todos los escenarios por lo que dichas diferencias se cancelarían al comparar los escenarios.

### Resultados

- 8.22 Para cada escenario se cuantificaron las emisiones de PM y CO<sub>2eq</sub>, únicamente para los vehículos adquiridos a partir del 2021 hasta el 2050 durante su operación dentro del parque automotor del país.

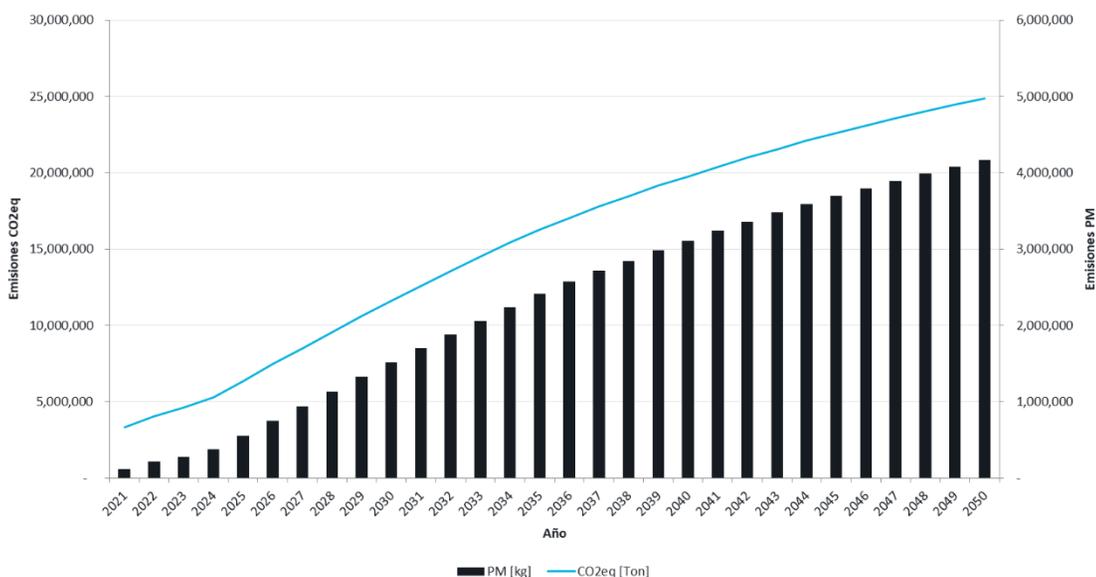
8.23 Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se presentan los resultados obtenidos de la generación de las emisiones del Escenario 1 – E1, a modo de ejemplo.

**Tabla 8.4: Emisiones contaminantes – E1**

Contaminante	Emisión 2021 – 2050
PM [kg]	69,013,268
CO <sub>2eq</sub> [Ton]	463,584,818

Fuente: Steer, 2020

**Figura 8.2: Emisiones contaminantes – E1. 2021 – 2050**



Fuente: Steer, 2020

8.24 Al comparar todos los escenarios se encontró lo presentado en la siguiente tabla. Puede verse que el ascenso tecnológico tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones generadas. Los escenarios E16 y E14 son los que presentan menores emisiones de CO<sub>2eq</sub> y PM, correspondientemente, en comparación con todos los demás, lo cual puede explicarse por la política de sustitución de vehículos pesados y la disposición a adquirir un vehículo liviano de bajas y cero emisiones, además de contar con una menor cantidad de vehículos rodando por el modelo de motorización:

**Tabla 8.5: Emisiones generadas por CO<sub>2eq</sub> y PM. 2021 - 2050**

Escenario	CO <sub>2eq</sub> [Ton]	PM [kg]
E1	463,584,818	69,013,268
E2	460,821,779	68,945,222
E3	461,186,737	69,386,593
E4	459,162,290	69,186,335

Escenario	CO <sub>2eq</sub> [Ton]	PM [kg]
E5	436,914,652	66,651,416
E6	434,923,754	66,446,821
E7	435,125,458	66,882,100
E8	432,591,794	66,613,308
E9	458,893,268	66,312,050
E10	464,723,173	69,866,045
E11	457,314,673	67,030,799
E12	455,290,226	66,830,541
E13	432,947,686	64,384,667
E14	430,956,788	64,180,072
E15	431,158,492	64,615,351
E16	429,012,150	64,402,536
E17	480,857,679	72,611,173
E18	477,600,508	72,371,874
E19	478,098,207	72,857,534
E20	475,976,513	72,644,888
E21	453,433,831	70,017,097
E22	451,351,955	69,800,293
E23	451,662,836	70,278,415
E24	449,032,345	69,997,082
E25	476,985,615	70,255,379
E26	473,728,443	70,016,081
E27	474,226,143	70,501,740
E28	472,104,449	70,289,094
E29	449,466,864	67,750,348
E30	447,384,989	67,533,543
E31	447,695,869	68,011,666
E32	445,452,702	67,786,309

Fuente: Steer, 2020

## Inversión para adquisición de vehículos

- 8.25 Para el cálculo de inversión requerida para la sociedad colombiana por la compra de vehículos en todos los escenarios analizados fue necesario contar con los datos de cantidad de vehículos nuevos por segmento y por tecnología vehicular y el precio unitario de cada vehículo. El cálculo anual de esta inversión se presenta a continuación:

$$I_a = \sum \sum P_{ij} \cdot C_{ij}$$

Donde,

$I_a$ : Inversión requerida para adquisición de vehículos en un periodo analizado

$i$ : Tipo de vehículo agrupado por segmento vehicular.

$j$ : Tipo de energético empleado por el vehículo.

$P_{ij}$ : Precio unitario del vehículo  $i$  y el energético  $i$ .

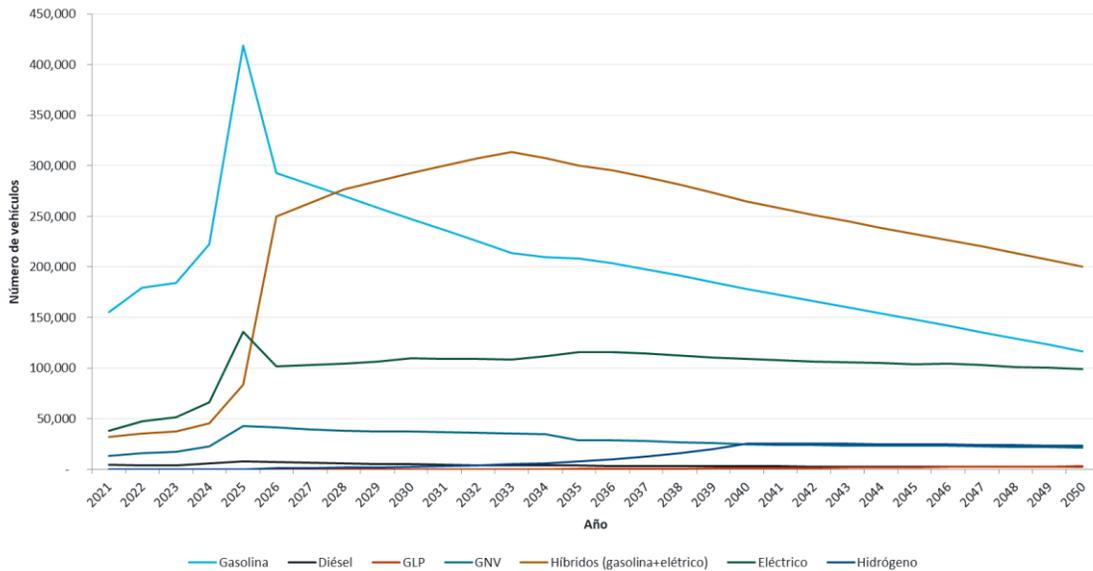
$C_{ij}$ : Cantidad de vehículos  $i$  con el energético  $i$ .

8.26 La cantidad de vehículos nuevos por tecnología vehicular para cada año es el resultado del capítulo anterior para cada escenario; mientras que para el precio unitario del vehículo se realizó un estudio de mercado con información secundaria disponible. Los precios por segmento y tecnología vehicular se encuentran en el anexo de fichas de vehículos y se asumen constantes en el horizonte de modelación.

### Resultados

8.27 La siguiente figura presenta los resultados del cálculo de inversión requerida para la adquisición de los vehículos nuevos para el escenario E1 a modo de ejemplo. Para este Escenario la inversión total a 2021 es de \$ 481,186,372 millones de pesos.

**Figura 8.3: Número de vehículos nuevos por tecnología vehicular – E1. 2021 – 2050**



Fuente: Steer, 2020

8.28 Al comparar la inversión requerida a 2021 para cada escenario se encontró lo siguiente. Puede notarse que en el escenario sin ascenso tecnológico se requiere la menor inversión, y en la medida

que aumenta el parque automotor y las medidas de ascenso aumenta el costo de inversión requerido para obtener los beneficios en emisiones y consumos de energéticos.

**Tabla 8.6: Costo de inversión para adquisición de vehículos a 2021. 2021 – 2050.**

Escenario	Inversión [Millones de pesos]
E1	\$ 483,816,003
E2	\$ 487,882,344
E3	\$ 488,167,412
E4	\$ 492,221,457
E5	\$ 502,883,751
E6	\$ 506,219,951
E7	\$ 506,763,758
E8	\$ 516,667,452
E9	\$ 549,956,917
E10	\$ 563,218,154
E11	\$ 554,308,325
E12	\$ 558,362,371
E13	\$ 572,965,807
E14	\$ 576,302,007
E15	\$ 576,845,814
E16	\$ 580,911,441
E17	\$ 500,633,046
E18	\$ 510,850,946
E19	\$ 510,663,084
E20	\$ 514,813,801
E21	\$ 526,444,390
E22	\$ 529,857,709
E23	\$ 529,958,517
E24	\$ 539,957,056
E25	\$ 566,773,959
E26	\$ 576,991,860
E27	\$ 576,803,998
E28	\$ 580,954,714
E29	\$ 596,526,446
E30	\$ 599,939,765

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 | Productos 1 al 6

Escenario	Inversión [Millones de pesos]
E31	\$ 600,040,573
E32	\$ 604,201,044

Fuente: Steer, 2020

## 9 Priorización de escenarios

- 9.1 El ascenso tecnológico del parque automotor es un resultado de la elección vehicular empleada para realizar los viajes. En general, esta elección está asociada a decisiones individuales para el caso de los vehículos de uso particular y a decisiones de política para el caso de los vehículos de servicio público.
- 9.2 La priorización de las clases de vehículos y modalidades de transporte está asociada con el potencial ahorro en consumo energético y en emisiones contaminantes asociadas a este cambio tecnológico. Es importante anotar que otros factores como el mantenimiento de los vehículos y las prácticas de conducción también tienen efectos importantes en el consumo energético y en la reducción de emisiones. Por lo tanto, la evaluación presentada en este documento es una aproximación para propósitos de diseño de política pública, no pretende ser una evaluación ambiental detallada.
- 9.3 La metodología para la priorización parte de la estimación y cuantificación de ahorros energéticos y reducción de emisiones contaminantes, también hace parte de esta priorización una evaluación costo-beneficio. A continuación, se presentan las actividades para la priorización de las clases de vehículos y modalidades de transporte a nivel nacional.

### Análisis costo beneficio

#### Propósito

- 9.4 El ascenso tecnológico en el sector transporte, como todos los procesos disruptivos asociados a tecnologías en desarrollo, representa un reto en términos de la construcción de la estructura del análisis costo-beneficio -ACB. En el modelo solo se incluyen impactos que pueden ser cuantificados; algunos por contar con variables consolidadas por información histórica o proyecciones calificadas, y otros que pueden cuantificarse a partir de información disponible.
- 9.5 Este modelo busca establecer, con base en esas variables conocidas o estimables, la rentabilidad económica de la adopción de tecnologías de baja y cero emisión, para las diferentes clases de vehículos y modalidades de transporte identificadas. Así, el ACB será un insumo determinante de la propuesta de priorización de esfuerzos para promover el ascenso tecnológico del parque automotor nacional, al proporcionar una medida comparable de rentabilidad de la inversión entre las clases de vehículos a analizar.
- 9.6 Se espera además que el ACB proporcione información para priorizar las decisiones que desde la política pública se requieren para acelerar el proceso de transformación energética del sector transporte, y el avance en eficiencia energética, reducción de GEI, y el cumplimiento de metas ambientales nacionales y compromisos del país a nivel internacional.

## Especificaciones del modelo

### *Estructura del modelo costo-beneficio*

- 9.7 Se realiza el ACB para el período de tiempo 2021 a 2050, para cada uno de los 32 escenarios que se han trabajado a lo largo del documento.
- 9.8 El análisis se hace a precios constantes de 2020, de manera que al eliminar supuestos en la variación de los precios año a año, el modelo se enfoca en estimar variaciones reales. Dadas las incertidumbres propias de modelar innovaciones tecnológicas, un análisis a precios constantes elimina supuestos especulativos asociados al comportamiento de precios sobre los que no se tiene suficiente información. Así se develan, de manera más precisa, los resultados de cada escenario analizado.
- 9.9 La tasa de descuento utilizada para los impactos ambientales y de salud es del 3.1%. Esta tasa es acorde con la práctica generalizada para proyectos sociales donde es importante valorar el beneficio de largo plazo. Adicionalmente, el 3% es la tasa generalmente utilizada para estimaciones en salud y es la tasa sugerida para proyectos ambientales (DNP, 2018).
- 9.10 El modelo establece el ACB del ascenso tecnológico vehicular desde el impacto fiscal para la Nación y el impacto para los propietarios de vehículos (sector oficial, empresas, individuos), valorando en cada caso los costos y los beneficios de la decisión. Estos costos y beneficios incluyen los impactos que se generan sobre el ambiente y la salud de la población, además de aquellos que se relacionan con las finanzas de los agentes analizados.

**Tabla 9.1: Estructura del Modelo de Costo – Beneficio**

	Costos	Beneficios	
Impacto Fiscal Nacional	Menor recaudo (impuesto al carbono)		Ingresos Tributarios
		Ahorro en gastos de salud (disminución de la carga de enfermedad derivadas de contaminación del aire)	Salud
		Ahorro en gastos de salud (disminución de pago de incapacidades derivadas de contaminación del aire)	Salud
Propietarios de vehículos	Inversión en vehículos de baja o cero emisión	Ahorro en costos operativos incluye reducción de costos del energético.	Finanzas del Agente
		Menor carga tributaria (impuesto al carbono)	Ambiente
		Ganancia por reducción de CO2	Ambiente
		Reducción de gasto de bolsillo	Salud
		Ganancia por incapacidad	Productividad

Fuente: Steer, 2020.

### Costos

#### Impacto Fiscal Nacional

- 9.11 Las decisiones de política pública, entendidas como intervenciones directas de inversión o señales e incentivos para promover comportamientos de los agentes privados, tienen **impacto fiscal**. La estructura tributaria vigente grava de manera diferencial los energéticos asociados al transporte. Los precios de referencia de la gasolina y el diésel están afectados por el impuesto nacional, el IVA sobre el IP Fósil y el Impuesto al carbono. Estos impuestos explican aproximadamente el 10% del precio final al consumidor. De otro lado, el gas, el GLP y la energía eléctrica derivan su precio final de la fórmula de remuneración que establece la CREG para los distribuidores de cada energético. No se establece incluir en el modelo el impacto por reducción de los impuestos generales a los combustibles de origen fósil debido a que, la carga tributaria es uno de los motores de cambio analizados en los escenarios.
- 9.12 Se destaca el impuesto al carbono, que grava el contenido de carbono de los combustibles de origen fósil, y cumple la función de cobrar por el impacto ambiental derivado de las emisiones de CO2. Bajo esa premisa, la adopción de tecnologías de baja o cero emisión necesariamente representa una disminución del impuesto por reducción o sustracción de emisión y la eliminación o modificación de la tasa que afecta el costo de operación de los vehículos, según el energético al que se migre. Este impacto se calcula estableciendo la diferencia entre las emisiones que se

generarían manteniendo la tecnología actual calculadas a la tasa que establece la norma, presentadas en la siguiente tabla, y las emisiones, si las hay, de la nueva tecnología a la tasa que le corresponda de acuerdo con la DIAN. Se explica más adelante, este impacto es neutro para el modelo.

**Tabla 9.2: Valor del Impuesto al Carbono para la vigencia 2020**

Combustible fósil	Unidad	Tarifa
Gas Natural	Metro cúbico	\$33
Gas Licuado de Petróleo	Galón	\$109
Gasolina	Galón	\$155
Kerosene y Jet Fuel	Galón	\$170
ACPM	Galón	\$174
Fuel Oil	Galón	\$203

Fuente: Ley 1819 de 2016. Resolución No. 000009 de 2020.

### Propietarios de vehículos

- 9.13 El costo principal para los propietarios es el costo de adquisición de los vehículos con tecnologías de baja o cero emisión. Este costo, dado el momento de consolidación tecnológica de algunos segmentos, resulta en un impacto negativo fuerte dentro del modelo. El costo utilizado es el valor a 2020 del vehículo moda de cada tecnología por segmento. Dado que el cambio de precio es uno de los motores de cambio principales analizados en el modelo, y para reducir incertidumbres del modelo, no se aplican supuesto de variación de precios para los vehículos moda actuales.

### *Beneficios*

#### Impacto Fiscal Nacional

- 9.14 Dentro de los beneficios fiscales a analizar se encuentran los alivios sobre el gasto en salud al minimizar las externalidades negativas del transporte.
- 9.15 De acuerdo con el DNP, en Colombia el gasto en salud por la carga de enfermedad derivada de la contaminación del aire urbano representa costos equivalentes al 1.93% del PIB de 2015, (DNP, 2017) y está asociado al tratamiento de enfermedades respiratorias infecciosas y crónicas, cáncer, afectaciones cardiovasculares e intestinales. Estas enfermedades están asociadas principalmente a la contaminación del aire por material particulado.
- 9.16 La complejidad del sistema de salud implicó desarrollar una metodología especial para capturar el impacto estimable de la adopción de tecnologías de baja o cero emisión en el parque vehicular, que se describe adelante. Con esta metodología se estimó el ahorro anual en salud por unidad de material particulado evitada. Para ello se analizaron cuatro componentes, los primeros tienen impacto fiscal positivo y los demás son un beneficio para la sociedad:
- Ahorro por pago de servicios del sistema derivado de la contaminación ambiental por material particulado (CAMP) tanto por el plan básico de salud (PBS) como por recobros (No-PBS).

- Ahorros del sistema por pago de incapacidades.
- Ahorro por gastos de bolsillo de las familias.
- Ganancia en productividad (por reducción de afectación en la vida y la salud de la población en edad de trabajar).

#### Propietarios de los vehículos

- 9.17 Los beneficios económicos para los propietarios de vehículos se generan en primer lugar por la reducción de los ahorros energéticos al pasar a energéticos más eficientes en términos de emisiones y con mejores precios para el consumidor final, lo cual mejora las finanzas de los agentes.
- 9.18 Los impactos ambientales y en la salud benefician a toda la sociedad, en **el modelo la sociedad está representada en los propietarios de los vehículos** para simplificar el análisis. En materia ambiental hay dos impactos principales derivados de las toneladas de CO2 equivalente evitadas. El primero es la reducción del impuesto al carbono a cargo de los propietarios de vehículos y el segundo es el beneficio del carbono evitado para el ambiente en general.
- 9.19 El beneficio económico individual, se concreta en el ahorro en términos del impuesto al carbono que aumenta el valor que deben pagar los consumidores de combustible fósil. Sin embargo, en el ejercicio económico integral resulta neutro el impacto del impuesto al carbono por ascenso tecnológico vehicular. Por el lado, resulta en un costo definido por el impacto fiscal negativo al perder el recaudo del impuesto y por el otro lado, exactamente ese monto es un beneficio para las familias que se ahorran ese pago.
- 9.20 Para determinar la ganancia por carbono evitado, por tratarse de un cambio de tecnología se calcula el valor del dióxido de carbono equivalente evitado en cada escenario, valoradas al precio promedio de último año para 2019 de **los European Emission Allowances-EUA** el cual alcanzó los €24.84. Se escoge este precio dado que los derechos de emisión se vienen utilizando desde hace algunos años, incluso en estudios de autoridades ambientales de Colombia (p.e. Humboldt, 2018), para valorar las emisiones evitadas en proyectos de cambio tecnológico. Por tratarse de un precio que resulta de una conformación de mercado consolidada, representa una valoración más adecuada que la tarifa del impuesto del combustible que es la referencia nacional.
- 9.21 Respecto al impacto en salud, como se mencionó, el ascenso tecnológico representa un ahorro en el ingreso neto de las familias al reducirse el gasto que deben asumir por servicios de salud y un aumento en la productividad por las vidas y años ganados por las afecciones evitadas, que se desarrolla en la metodología de estimación del ahorro en salud por reducción de la CAMP.

#### **Metodología de estimación del ahorro en salud por reducción de la Contaminación Ambiental por Material Particulado – CAMP**

- 9.22 Más allá del menor gasto sanitario, las intervenciones directas para reducir la carga de enfermedades evitables tiene cuatro consecuencias: i) menos muertes prematuras; ii) reducción de incapacidades laborales al mejorar las condiciones de salud de la población; iii) más personas pueden participar en el mercado laboral y por más horas día, por reducción de personas con incapacidad laboral y menor ausentismo laboral de cuidadores y; iv) incremento en la productividad. (Mckinsey, 2020).

- 9.23 Con base en la información disponible se han identificado los beneficios cuantificables con base en la definición de la carga por enfermedad derivada de la CAMP, el factor de incidencia para Colombia.

*Identificación de las enfermedades Asociadas y del factor atribuible*

- 9.24 Para adelantar esta estimación el primer paso es establecer las enfermedades que se asocian a la exposición a la contaminación del aire por material particulado (CAMP). Esta identificación se obtiene del estudio del Global Burden of Disease – **GBD 2019**, para el factor de riesgo: Ambient particulate matter pollution. El GBD2019 permite consultar para Colombia la carga de enfermedad por factor de riesgo (en nuestro caso: la exposición a CAMP), de manera que el factor atribuible se estima para cada enfermedad asociada como el cociente entre los Años de Vida ajustados por discapacidad DALYs) atribuibles al CAMP y los DALYs totales.

**Tabla 9.3: Enfermedades asociadas**

Enfermedades Asociadas (Codificación y Descripción GBD2019)	DALYs - Atribuible a CMPA (A)	DALYs Total (B)	Factor Atribuible a CMPA en la Carga de Enfermedad (=A/B)
<b>409 Enfermedades no transmisibles</b>	<b>298,892</b>	<b>8,180,314</b>	<b>3.7%</b>
410 Neoplasmas	19,153	1,235,853	1.5%
426 Cáncer de tráquea, Bronquios y Pulmón	19,153	136,198	14.1%
491 Enfermedades cardiovasculares	167,774	1,347,209	12.5%
493 Enfermedad isquémica del corazón	107,168	717,682	14.9%
494 Accidente cerebrovascular	60,607	348,758	17.4%
496 Hemorragia intracerebral	21,592	117,942	18.3%
495 Accidente cerebrovascular isquémico	20,499	137,162	14.9%
497 Hemorragia subaracnoidea	18,515	93,654	19.8%
508 Enfermedades respiratorias crónicas	41,260	388,120	10.6%
509 Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	41,260	284,836	14.5%
640 Otras enfermedades no transmisibles	42	805,204	0.0%
686 Síndrome de muerte súbita del lactante	42	4,772	0.9%
974 Diabetes y enfermedades renales	70,663	739,590	9.6%
587 Diabetes mellitus	70,663	478,051	14.8%
976 Diabetes mellitus tipo 2	70,663	465,299	15.2%
<b>295 Enfermedades transmisibles, maternas, perinatales y nutricionales</b>	<b>49,060</b>	<b>1,329,645</b>	<b>3.7%</b>
956 Infecciones respiratorias y tuberculosis	25,318	319,484	7.9%
328 Infecciones de las vías respiratorias superiores	8	49,976	0.0%
329 Otitis media	1	13,093	0.0%
322 Infecciones de las vías respiratorias inferiores	25,309	225,558	11.2%
957 Infecciones entéricas	116	90,293	0.1%
302 Enfermedades diarreicas	116	89,658	0.1%
961 Otras enfermedades transmisibles	115	63,808	0.2%
332 Meningitis	83	20,255	0.4%
337 Encefalitis	32	17,464	0.2%
962 Trastornos maternos y neonatales	23,512	547,477	4.3%
380 Trastornos neonatales	23,512	515,633	4.6%
381 Nacimiento prematuro	9,882	207,731	4.8%
382 Encefalopatía neonatal producida por trauma o asfisia perinatal	4,251	74,385	5.7%
383 Sepsis y otras infecciones neonatales	5,029	148,781	3.4%
384 Enfermedad hemolítica y otras ictericias neonatales	134	11,639	1.2%
385 Otros trastornos neonatales	4,215	73,097	5.8%
<b>TOTAL</b>	<b>347,952</b>	<b>11,567,539</b>	<b>3.0%</b>

Fuente: Steer, 2020, a partir de GBD 2019.

- 9.25 Para evaluar específicamente los beneficios esperados por una reducción en las emisiones de fuentes de transporte terrestre, se asume que el 62% de la CAMP es producida por vehículos.

*Costos evitados del sistema de salud*

9.26 Este análisis se realiza al utilizar la fuente oficial de costos del Sistema de Salud en Colombia: El Estudio de Suficiencia de la UPC. En particular, la información disponible más reciente corresponde a la prestación de servicios de 2018. Es de anotar que el estudio de suficiencia presenta las enfermedades según la Clasificación CIE-10, por ende, se utiliza la matriz de equivalencias entre clasificación de enfermedades GBD2019 y la codificación CIE-10 para identificar las enfermedades asociadas.

**Tabla 9.4: enfermedades GBD2019**

	Enfermedad en GBD2019	Equivalencias CIE-10
Non-communicable diseases	410 Neoplasmas	
	426 Cáncer de tráquea, Bronquios y Pulmón	C33, C34-C34.92, Z12.2, Z80.1-Z80.2, Z85.1-Z85.20
	491 Enfermedades cardiovasculares	
	493 Enfermedad isquémica del corazón	I20-I21.6, I21.9-I25.9, Z82.4-Z82.49
	494 Accidente cerebrovascular	
	496 Hemorragia intracerebral	I61-I62, I62.9, I69.0-I69.298
	495 Accidente cerebrovascular isquémico	G45-G46.8, I63-I63.9, I65-I66.9, I67.2-I67.848, I69.3-I69.4
	497 Hemorragia subaracnoidea	I60-I60.9, I67.0-I67.1
	508 Enfermedades respiratorias crónicas	
	509 Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	J41-J42.4, J43-J44.9
640 Otras enfermedades no transmisibles		
686 Síndrome de muerte súbita del lactante	Z84.82*	
974 Diabetes y enfermedades renales		
587 Diabetes mellitus		
976 Diabetes mellitus tipo 2	E11-E11.1, E11.3-E11.9	
Communicable, maternal, neonatal, and nutritional diseases	956 Infecciones respiratorias y tuberculosis	
	328 Infecciones de las vías respiratorias superiores	J00-J06.9, J36-J36.0
	329 Otitis media	H65-H70.93
	322 Infecciones de las vías respiratorias inferiores	A48.1, A70, B96.0-B96.1, B97.21, B97.4-B97.6, J09-J18.2, J18.8-J18.9, J19.6-J22.9, J85.1, J91.0, P23-P23.9, U04-U04.9, Z25.1
	957 Infecciones entéricas	
	302 Enfermedades diarreicas	A00-A00.9, A02-A02.0, A02.8-A07, A07.2-A07.4, A08-A08.8, A09, K52.1, Z22.1, Z23.0
	961 Otras enfermedades transmisibles	
	332 Meningitis	A39-A39.9, A87-A87.9, D86.81, G00-G03.9, G06-G09.9, Z20.811, Z22.31
	337 Encefalitis	A83-A85.2, A85.8-A86.0, B94.1, F07.1, G04-G05.8, Z24.1
	962 Trastornos maternos y neonatales	
	380 Trastornos neonatales	
	381 Nacimiento prematuro	P07.2-P07.39, P22-P22.9, P25-P28.9, P61.2, P77-P77.9
	382 Encefalopatía neonatal producida por trauma o asfixia perinatal	P02-P03.9, P10-P15.9, P20-P21.9, P24-P24.9, P52-P52.9, P90-P91.9
383 Sepsis y otras infecciones neonatales	A40.1, B95.1, P36-P36.9, P38-P39.9	
384 Enfermedad hemolítica y otras ictericias neonatales	P55-P59.9	
385 Otros trastornos neonatales	P00-P01.9, P04-P05.9, P07-P07.18, P08-P09, P19-P19.9, P29-P29.9, P50-P51.9, P53-P54.9, P60-P61.1, P61.3-P61.9, P70-P72.9, P74-P74.9, P75.0-P76.9, P78-P78.9, P80-P81.9, P83-P84, P92-P92.9, P94-P94.9, P96, P96.3-P96.4, P96.8-P96.9, P99.9	

Fuente: Elaboración propia a partir de información del GBD2019

\* GBD2019 no reporta equivalencias CIE-10, por lo tanto se buscó la enfermedad en el listado CIE-10 y se identificó el código CIE-10: Z84.82- Family history of sudden infant death syndrome (<https://www.icd10data.com/ICD10CM/Codes/Z00-Z99/Z77-Z99/Z84->)

Fuente: Steer, 2020, a partir de GBD 2019.

9.27 Una vez identificados los códigos CIE10 pertinentes se extrae de la base del estudio de suficiencia la información de los costos asociados a esas enfermedades y se les aplica el factor atribuible a CAMP, y la CAMP que se considera producida por fuentes de transporte terrestre: 62%.

9.28 De esta forma se estima el costo para el sistema de salud (potencial costo evitado por prestaciones PBS y no-PBS).

*Costos evitados de pago de incapacidades*

9.29 Esta estimación parte de la información del GBD2019 sobre discapacidad asociada a la exposición a la CAMP. En particular se extrajo la variable “años vividos con discapacidad” (YLD, por sus siglas en inglés) para población en edad de trabajar (15-64 años) y se anualiza de acuerdo con el horizonte temporal de expectativa de vida promedio (GBD 2019). De esta forma se estima el número de potenciales trabajadores-año que se perdieron debido a la CAMP en 2019. Para obtener el costo evitado por pago de incapacidades se aplican los siguientes factores de ajuste:

- CAMP que se considera producida por fuentes de transporte terrestre: 0.64
- Tasa de Ocupación: 0.65 (DANE, 2020).
- Tasa de ocupados formales: 52% en zona urbana, 19.5% en zona rural (DANE, 2020).
- Pago Incapacidad como % del salario: 64.2% (Base de incapacidades, 2018).
- Salario Formal Anual 2019: \$19,200,000 (Fedesarrollo, 2020).

9.30 El potencial de costo evitado por pago de incapacidades, se divide por el valor de emisiones, para obtener un referente de costo evitado unitario de la reducción de unidades de material particulado.

*Costos evitados para los hogares*

9.31 Este potencial beneficio se estima a partir del peso relativo del gasto de bolsillo en el gasto de salud que se calcula en 15.8%, (Minsalud, 2015), de manera que el costo fiscal del sistema de salud previamente estimado equivale al 84.2% de la base total sobre la cual se calcula el gasto de bolsillo evitado. Aplicando el factor de proporcionalidad del gasto de bolsillo frente al gasto fiscal del sistema de salud ( $15.8/84.2=0.1876$ ) al referente de costo evitado unitario de la reducción de emisiones.

*Costos evitados para el sector productivo*

9.32 Siguiendo el enfoque de Capital Humano, la potencial pérdida de productividad se aproxima mediante la pérdida de trabajadores-año por mortalidad prematura en edad laboral y la pérdida de trabajadores-año por carga de la discapacidad, valorados al PIB per-cápita anual. Se dispone de información 2019 sobre mortalidad y carga de la discapacidad, así:

- El número de muertes en edad laboral atribuibles a CAMP se extrae directamente del GBD2019 y se asume que cada muerte es un trabajador-año perdido por mortalidad prematura.
- Los trabajadores-año perdidos por la carga de discapacidad en población en edad de trabajar son equivalentes a la anualización de los YLDs para población entre 15 y 64 años realizada para el cálculo de incapacidades.

9.33 Para calcular la potencial ganancia de productividad en el año más reciente con información disponible, se aplica el PIB per-cápita 2019 a la suma de los dos factores descritos, y posteriormente se ajusta por la proporción de CAMP que es producida por la flota vehicular (62%).

- 9.34 Como resultado, se estima la potencial pérdida de PIB por la carga de enfermedad atribuible a la CAMP por fuente vehicular en 2019. Este costo se divide por el valor de emisiones de 2019 para obtener un referente de pérdida de PIB por unidad de reducción de emisiones. Para aislar las proyecciones del choque en la actividad económica generado por el COVID-19, se propone mantener constante el PIB per-cápita en valores de 2019, es decir en el nivel pre-COVID.
- 9.35 Existe un impacto positivo derivado de una reducción en la necesidad de ausentismo laboral de familiares que tienen que fungir de cuidadores de los afectados por la CAMP, y un impacto en protección del ingreso para aquellos hogares que derivan su sustento de trabajos informales y que no reciben el apoyo por incapacidad del sistema. Estos impactos no se cuantifican en el ACB.

### **Impactos fuera del modelo ACB**

- 9.36 Algunos de los impactos esperados por la adopción de tecnologías de baja o cero emisión no cuentan con datos suficientes para usarse en el modelo ACB. Se prevé que el ascenso tecnológico tendrá impactos sobre: i) la demanda de infraestructura energética; ii) la productividad y competitividad de la economía nacional; iii) la encadenamientos productivos y empleo; y iv) el impacto fiscal entidades territoriales.
- 9.37 La masificación de nuevas tecnologías implicará aumentar, modernizar o mejorar la infraestructura de transporte y distribución de los energéticos, tanto de los combustibles de origen fósil como de la energía eléctrica. Esto implica nuevas inversiones, como ocurre actualmente en las estaciones de carga para los sistemas de transporte masivo, donde se han requerido subestaciones y refuerzo de las redes y la infraestructura en general.
- 9.38 La mejora en el rendimiento de los vehículos y la reducción del costo de operación del transporte incrementa la competitividad del sector transporte y logística. La electrificación de parte del parque automotor puede conllevar a una reducción del precio de la energía con un impacto directo en la competitividad nacional.
- 9.39 Tanto el sector automotriz como los desarrollos tecnológicos traen consigo el desarrollo de encadenamientos productivos que multiplican el beneficio para la economía del crecimiento sectorial. La cadena de producción y comercialización, los requerimientos de operación y mantenimiento, y su estrecha relación con los demás sectores de la economía determinan el potencial de los encadenamientos asociados a la adopción de nuevas tecnologías y con ello su efecto en el empleo.
- 9.40 Finalmente, la reducción de la contaminación disminuye la presión de gasto sobre las finanzas nacionales como se estableció en el ACB, y sobre las entidades territoriales. Sin embargo, las entidades territoriales se financian con la sobretasa sobre los combustibles líquidos, y este ingreso se afecta en los casos en que el ascenso se orienta a otros energéticos.

### **Resultados del análisis**

- 9.41 En el análisis costo beneficio se define como base comparativa de costos y los beneficios, a los escenarios E1 y E17, que son realistas y no consideran medidas, para determinar la relación con los escenarios E2 a E16 y E18 a E32 respectivamente.
- 9.42 Del resultado de este análisis se observa que en general, los escenarios con trayectorias optimistas de costo de adquisición de vehículos tienen un mejor resultado que los escenarios con costos

tendenciales. Esto indica que las medidas relacionadas con el precio del vehículo tendrían buenos resultados en cuanto a la compra de vehículos de cero y bajas emisiones y son las que deben ser priorizadas, así mismo para algunos segmentos se observa la importancia de contar con una red de infraestructura de recarga. En la siguiente tabla se presenta la cuantificación de los beneficios, y costos con su respectiva relación beneficio costo y el valor presente neto real.

**Tabla 9.5: Resultados del análisis costo beneficio**

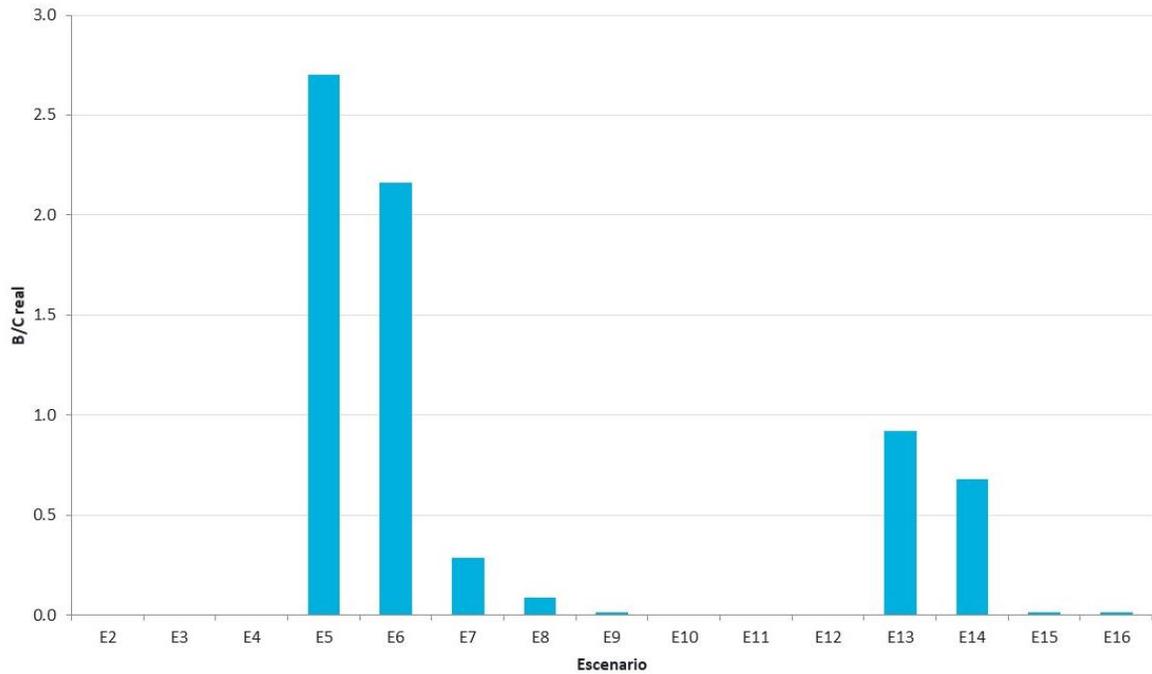
Escenario	Beneficio descuento	Costo descuento	B/C real	VPN (millones) real
E1	Escenario de comparación			
E2	203,897	-274,586,192	0	-274,382,295
E3	982,188	-645,822,578	0	-644,840,389
E4	244,971	-709,613,727	0	-708,581,183
E5	321,399,224	-118,897,053	2.7	213,027,783
E6	290,075,963	-134,036,599	2.2	166,119,372
E7	84,031,427	-293,200,841	0.3	-200,077,419
E8	31,536,625	-358,475,909	0.1	-316,762,629
E9	3,022,625	-239,936,193	0	-236,753,625
E10	114,548	-940,363,875	0	-940,249,327
E11	410,256	-904,213,114	0	-903,802,858
E12	530,484	-968,074,136	0	-967,543,652
E13	160,265,918	-174,602,262	0.9	-12,648,526
E14	128,969,600	-190,102,357	0.7	-59,556,937
E15	5,644,543	-432,643,459	0	-425,753,727
E16	7,053,074	-495,033,236	0	-486,857,376
E17	Escenario de comparación			
E18	415,901	-271,389,083	0	-270,973,182
E19	151,362	-664,152,739	0	-662,889,745
E20	272,211	-728,727,629	0	-727,415,266
E21	339,334,433	-116,474,897	2.9	235,679,430
E22	307,335,222	-131,375,269	2.3	188,306,286
E23	86,161,322	-296,928,752	0.1	-199,464,165
E24	33,077,426	-362,310,518	0	-316,903,275
E25	871,666	-259,950,546	0	-258,962,469
E26	480,482	-530,416,133	0	-529,935,651
E27	434,252	-922,286,466	0	-921,852,214
E28	560,385	-986,938,120	0	-986,377,735

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 | Productos 1 al 6

Escenario	Beneficio descuento	Costo descuento	B/C real	VPN (millones) real
E29	173,620,754	-165,453,781	1.0	10,003,122
E30	141,501,451	-180,567,666	0.8	-37,370,022
E31	6,761,987	-433,238,044	0	-425,140,473
E32	8,337,438	-496,545,496	0	-486,998,022

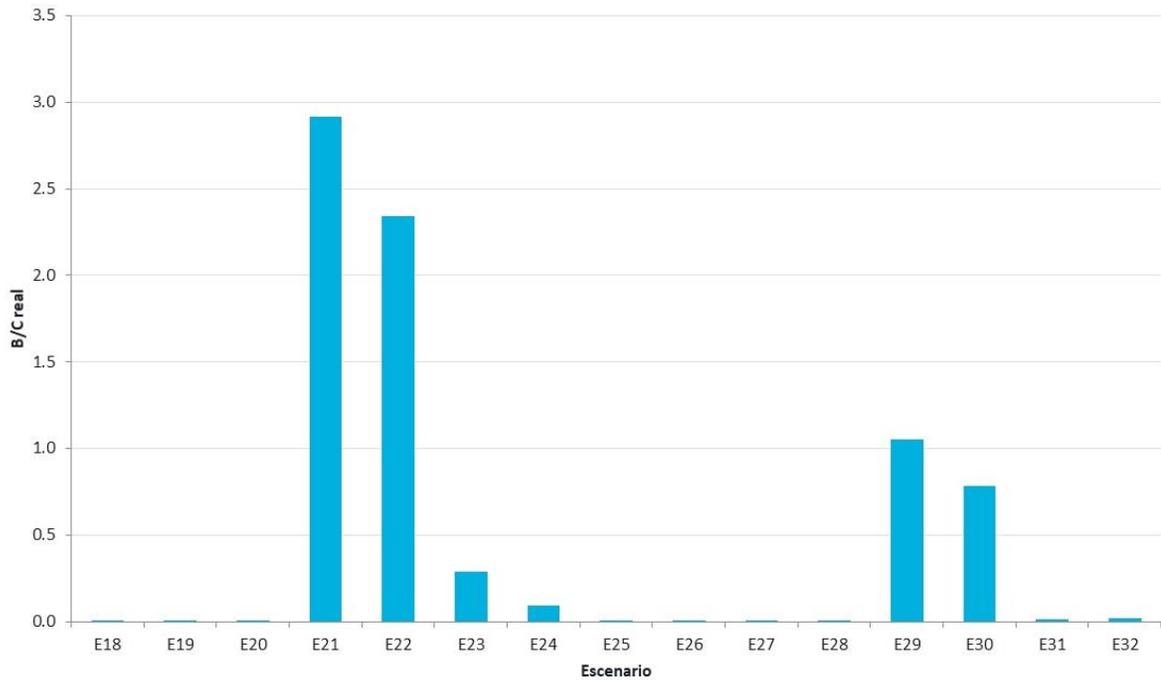
Fuente: Steer, 2020.

Figura 9.1: Comparación B/C entre escenarios de análisis. E1 – E16



Fuente: Steer, 2020

Figura 9.2: Comparación B/C entre escenarios de análisis. E17 – E32



Fuente: Steer, 2020

- 9.43 De la tabla y las figuras anteriores puede concluirse que promover medidas de ascenso tecnológico en comparación con un escenario tendencial y realista genera beneficios en la medida que se realicen acciones para adelantar la reducción de costos de adquisición de los vehículos de tecnologías más limpias.
- 9.44 Los escenarios con B/C inferior a 1 representan grandes beneficios en salud, ambientales y en el costo de los energéticos. Sin embargo, los costos implicados para obtener estos beneficios son mayores que si no se promoviera ninguna acción de ascenso tecnológico. La adquisición de los vehículos es la variable más determinante para estimar la viabilidad del proyecto.

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 | Productos 1 al 6

## Etapa III

# 10 Prospectivas del ascenso tecnológico de la flota vehicular del país y sus impactos

- 10.1 El ascenso tecnológico del parque automotor del país depende de factores internos del sector transporte y energía, y externos a nivel de economía nacional y sector automotriz. El análisis realizado indica que actualmente el país se encuentra en proceso de transición, aunque todavía incipiente, existe un impulso importante tanto desde el sector público como desde iniciativas del sector privado. En este capítulo se presenta una aproximación al potencial técnico y capacidad económica para el proceso de ascenso tecnológico, el panorama general de la oferta y demanda de vehículos de cero y bajas emisiones a nivel nacional y un análisis del impacto potencial del ascenso tecnológico de la flota.
- 10.2 Luego de haber realizado el estudio de mercado sobre las tecnologías vehiculares disponibles actualmente y las tecnologías futuras de cero y bajas emisiones es posible concluir que es altamente probable que los vehículos de combustión interna impulsados por gasolina y diésel sigan siendo menos costosos que los vehículos con motores menos contaminantes, en un horizonte de corto plazo. A futuro, se espera que el precio de adquisición de estos vehículos se iguale al precio de los vehículos de combustión interna, a medida que aumenten los volúmenes de producción y se desarrollen baterías y partes del motor de los vehículos con materias primas menos costosas.

## Panorama general del desarrollo y disponibilidad de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones en Colombia

### Disponibilidad de tecnologías vehiculares en el corto plazo

- 10.3 Actualmente el país cuenta con una gama amplia de opciones de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones. Dependiendo del segmento vehicular se puede contar con más o menos opciones, pero uno de los hallazgos del estudio de mercado efectuado fue que indistintamente el segmento todos tienen un potencial de ascenso tecnológico. La siguiente tabla presenta para cada segmento vehicular las opciones tecnológicas disponibles para el 2021 en el país.

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 | Productos 1 al 6

**Tabla 10.1: Disponibilidad a corto plazo de tecnología por segmento vehicular en Colombia**

Segmento vehicular	Gasolina	Diésel	GNV	Híbrido	Eléctrico	Biodiésel	Etanol	GLP	Hidrógeno
Automóvil	Sí	Sí	Sí*	Sí	Sí	No	No	No	No
Camioneta y campero	Sí	Sí	Sí*	Sí	Sí	No	No	No	No
Motocicleta	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	No	No
Biarticulado y articulado	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No
Bus, buseta, microbús y busetón	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No
Padrón	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No
Tractocamión	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No
Camión y volqueta	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No

\* Disponibilidad actual a nivel de conversión, no se evidenció la existencia de vehículos de fábrica dedicados a usar GNV en el país.

Fuente: Steer, 2020

- 10.4 Una de las primeras impresiones de la tabla es la ausencia en disponibilidad de tecnologías vehiculares que usen como energéticos el biodiésel, etanol o hidrógeno. Estos energéticos se usan en la actualidad de forma mezclada con los combustibles tradicionales: diésel, gasolina y GNV, respectivamente (Costas, 2016). En el país no existen vehículos aptos para operar con mezclas de altos contenidos de biodiésel o etanol, sin embargo, se ha venido adelantando un proceso de aumentar gradualmente el contenido de estos energéticos en los tradicionales (Domínguez, 2018). Por lo cual, en un punto es importante articular el aumento del contenido con la llegada de vehículos desarrollados para operar óptimamente con las altas concentraciones de estos combustibles, los cuales no se evidenció que estuvieran en el mercado colombiano.
- 10.5 Por su parte, si bien a nivel internacional existe una amplia variedad de segmentos y tecnologías que usan el hidrógeno como energético, la tecnología se encuentra en proceso de desarrollo y adaptación por lo cual la misma no se ha posicionado aún. Por lo anterior y dado el elevado costo de adquisición de estos vehículos, entre 40 y 60 % más que las tecnologías tradicionales, no se prevé una penetración masiva en el mercado colombiano en el corto plazo.
- 10.6 En el caso de los vehículos eléctricos, se encontró que se presentan en todos los segmentos con excepción de tractocamiones. En este segmento esta tecnología está en proceso de desarrollo a nivel internacional con buenas perspectivas futuras, aunque todavía con una oferta muy baja, se espera a futuro un abanico más amplio de oferta de marcas y características.
- 10.7 De los resultados a las entrevistas hechas a empresarios y propietarios de vehículos de carga del país, por una parte, se identificó el interés en realizar la sustitución paulatina a tecnologías más limpias, pero por otra, manifiestan que los incentivos financieros actuales no responden a las necesidades del sector, principalmente en cuanto a la contratación del sector que no garantiza el retorno de la inversión que se debe hacer. Por lo anterior, dadas las restricciones financieras, se sugiere realizar una sustitución escalonada pasando por tecnologías más limpias a la actual, sin necesariamente llegar a las más eficientes del mercado en términos ambientales.
- 10.8 En los demás segmentos vehiculares, como se presentó previamente en este estudio, se espera un crecimiento importante en el país en el mediano plazo, lo cual puede explicarse por la disponibilidad en el mercado de estos, a que barrera del costo de adquisición se espera tenga una tendencia decreciente, y a la disponibilidad de líneas de gamas más bajas, más asequibles para la mayoría de la población. La limitante en este punto, para masificar el sector en el corto plazo puede ser la disponibilidad y cobertura de electrolineras o la autonomía de los vehículos.
- 10.9 Los vehículos con tecnologías híbridas, de energéticos de combustión y motores eléctricos, se encuentran enfocados a los segmentos de automóviles, camionetas y camperos. En su mayoría los vehículos híbridos identificados como disponibles en el mercado internacional y nacional son vehículos de gasolina y eléctricos. En contraste, los vehículos diésel no suelen ser muy frecuentes y corresponden a vehículos de gama alta.
- 10.10 En cuanto a motocicletas, se identificaron iniciativas de algunas marcas por ofrecer tecnologías híbridas, las cuales, si bien no están disponibles en el país, se espera puedan ingresar en un mediano plazo.
- 10.11 En el segmento de vehículos pesados, se encontró que no hay disponibilidad a nivel internacional de tecnologías híbridas. Adicionalmente, no se encontró interés por parte de los empresarios y

propietarios de vehículos pesados por hacer la transición con vehículos híbridos pues no representan una mejora en las especificaciones, tampoco en los costos de operación y además no son reconocidos dentro de beneficios en las tarifas.

- 10.12 Los vehículos que usan GNV presentan dos características en el mercado actual del país: en primer lugar, los vehículos pesados presentan cada vez más un mayor uso de este energético, presentándose como la opción más viable en el corto plazo para el ascenso tecnológico de la flota. Por otro lado, los vehículos livianos no presentan una amplia oferta de vehículos de GNV de fábrica, pero se suple la opción con las facilidades de concesionarios y talleres mecánicos que realizan la conversión, por lo que funcionan como vehículos híbridos gas-gasolina. En el mercado internacional se encontró disponibilidad de vehículos de fábrica están configurados para usar GNV, los cuales para el caso de vehículos livianos no han ingresado al mercado nacional
- 10.13 Los vehículos a gasolina y diésel son los vehículos que mayor representación tienen en el parque automotor, y se espera que esto siga siendo así en el corto, mediano y largo plazo, cada vez más reduciéndose la proporción que representan al aumentar las ventas de vehículos de otras tecnologías. La adquisición de vehículos que usan estos energéticos va a seguir siendo representativa en el corto plazo, tanto en vehículos 100% de combustión como en híbridos, por lo que iniciativas como las que se ha presentado por el Ministerio de Minas y Energía de mejorar a combustibles de cada vez menores emisiones, como gasolina y diésel con bajo contenido de azufre, es un paso en el camino correcto en el proceso de ascenso tecnológico. Es verdad que los vehículos de fábrica cada vez se diseñan atendiendo las necesidades del mercado, el cual está en busca de la reducción del impacto al ambiente por emisiones, mejorando los filtros y el control de las emisiones, pero si los combustibles evolucionan acorde a estos avances los beneficios van a ser nulos.

#### **Disponibilidad de tecnologías vehiculares en el mediano plazo**

- 10.14 En esta sección se presenta el resultado del ejercicio prospectivo, realizado por el equipo consultor, para identificar la disponibilidad de tecnologías por segmento en el mediano plazo (2030), en el cual siguiendo un orden de supuestos potenciales se llegó a la conclusión que algunas de las tecnologías disponibles a nivel internacional pueden tener mercado en el país, además de la posible evolución de tecnologías que no fue evidente que estuvieran disponibles en el mercado actual.
- 10.15 En primer lugar, partiendo con los energéticos como biodiesel, etanol y GLP, se presume un aumento en el uso de tecnologías que favorezca el empleo de combustibles con cada vez más contenido de estos energéticos, disponibles en países como Estados Unidos o Brasil. Para ello, medidas como las llevadas a cabo por el Ministerio de Minas, entre otros, de fomentar el uso de estos combustibles, así como aumentar la producción de los mismos, pueden representar un interés para los fabricantes de vehículos de abrir un nicho de mercado en el país. Adicionalmente, podrían presentarse acciones políticas que promuevan el uso de estos combustibles, por medio de incentivos, como se ha hecho con tecnologías como GNV y eléctricos.
- 10.16 Dependiendo la aceleración y perspectiva económica del sector automotriz se espera en el mediano plazo un aumento de opciones de vehículos que usen GLP, por sobre los otros dos energéticos. Durante el estudio de mercado realizado se encontraron más referencias de vehículos que usan este energético en diferentes partes del mundo, incluyendo a Europa.

- 10.17 En este periodo es posible que la oferta de vehículos de hidrógeno aumente en el mercado internacional, significando un alto potencial de entrada al país. Sin embargo, debido a la ausencia de puntos de abastecimiento del combustible que sean competitivos con las otras tecnologías es posible que la masificación se demore un poco, aunque es posible que aparezcan los primeros vehículos de esta tecnología en el país. Se espera que los primeros vehículos disponibles se encuentren en los segmentos particulares livianos, como automóviles, camionetas y camperos.
- 10.18 En el caso de motocicletas se evidenció que hubo esfuerzos por desarrollar tecnologías de hidrógeno, en la década pasada, pero no fue posible encontrar avances que permitieran visibilizar la entrada de este mercado en el mediano plazo. Los vehículos pesados, ya sean de pasajeros o de carga, pueden verse interesados por esta tecnología al ser más eficiente en la relación de peso en comparación con los eléctricos, pero el costo de adquisición puede pesar en que la masificación se demore.
- 10.19 En cuanto a vehículos eléctricos se espera que siga presente en los segmentos vehiculares y que los costos de adquisición se reduzcan, generando un aumento importante en las ventas de estos vehículos en diferentes sectores poblacionales. Adicionalmente, con un trabajo conjunto de los empresarios del sector de carga y el Gobierno Nacional, se espera el desarrollo e ingreso de tractocamiones eléctricos al país.

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 | Productos 1 al 6

**Tabla 10.2: Disponibilidad a mediano plazo de tecnología por segmento vehicular en Colombia**

Segmento vehicular	Gasolina	Diésel	GNV	Híbrido	Eléctrico	Biodiésel	Etanol	GLP	Hidrógeno
Automóvil	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Camioneta y campero	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Motocicleta	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí	No
Biarticulado y articulado	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No
Bus, buseta, microbús y busetón	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No
Padrón	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No
Tractocamión	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No
Camión y volqueta	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No

Fuente: Steer, 2020

**Tabla 10.3: Disponibilidad a largo plazo de tecnología por segmento vehicular en Colombia**

Segmento vehicular	Gasolina	Diésel	GNV	Híbrido	Eléctrico	Biodiésel	Etanol	GLP	Hidrógeno
Automóvil	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Camioneta y campero	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Motocicleta	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Biarticulado y articulado	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Bus, buseta, microbús y busetón	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Padrón	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Tractocamión	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Camión y volqueta	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Steer, 2020

- 10.20 En vehículos híbridos se espera que, al igual que los eléctricos, las tecnologías se vuelvan más asequibles y por tanto empiece una masificación en vehículos de este tipo en ventas. No se esperan cambios significativos en los segmentos vehiculares donde hay disponibilidad actual. No obstante, se espera que debido al tamaño de la flota de motocicletas los avances en la tecnología híbrida para este segmento permitan ofrecer algunas líneas en el país.
- 10.21 En el mediano plazo se espera una introducción de vehículos de fábrica dedicados al uso de GNV en los segmentos vehiculares livianos, automóvil, camioneta y campero. En el estudio de mercado no se evidenció algún interés por desarrollar motocicletas que usen este energético, más allá de motocicletas convertidas, que se encuentran en proceso de reglamentación, estas no fueron incluidas en la Resolución 0957 de 2012. Se espera que en los segmentos de vehículos pesados (carga y pasajeros) se masifique el uso de vehículos dedicados de gas natural.
- 10.22 Es probable que los vehículos a gasolina y diésel sigan representando una mayor proporción del parque automotor. Sin embargo, año a año irán perdiendo protagonismo frente a tecnologías más limpias. Se espera que los vehículos tiendan a ser cada vez más eficientes en el uso del combustible y los combustibles más limpios.

#### **Disponibilidad de tecnologías vehiculares en el largo plazo**

- 10.23 En el largo plazo (2050) se espera la adopción de tecnologías de bajo y cero emisiones por sobre la gasolina y diésel y no se esperan grandes cambios en la disponibilidad de tecnologías por segmento vehicular.
- 10.24 La principal diferencia en este ámbito la pueden dar los vehículos de hidrógeno que en caso de que se establezcan los procesos para ampliar la cobertura de estaciones de servicio de hidrógeno es posible que para el momento internacionalmente exista una gran variedad de líneas de distintos segmentos que puedan ingresar de forma más masiva al país, tanto para vehículos livianos como pesados. Se puede esperar que para este periodo ingresen o esté en proceso de desarrollo nuevas tecnologías no consideradas en este estudio.
- 10.25 Adicionalmente, se espera que se amplíe la oferta de vehículos habilitados para usar biodiésel, etanol y GLP en altas concentraciones. Sin embargo, es probable que sean superados por las tecnologías electrificadas e hidrógeno.

#### **Demanda potencial de vehículos de bajas y cero emisiones en Colombia**

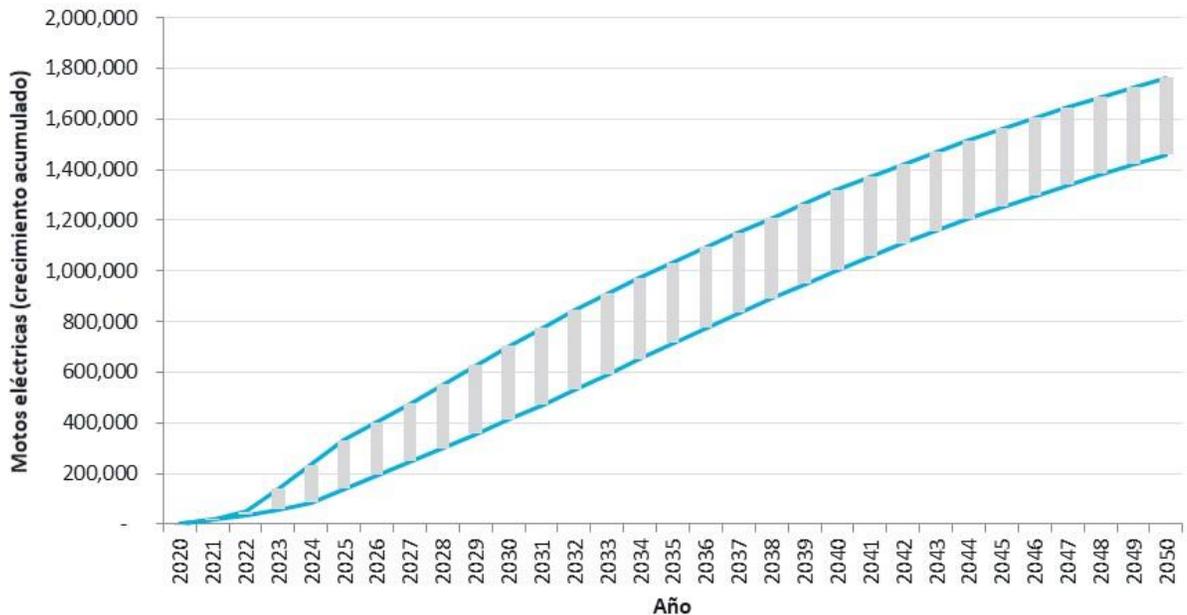
- 10.26 A partir de los modelos desarrollados para estimar el crecimiento del parque automotor y la distribución futura de las tecnologías vehiculares es posible analizar la demanda potencial para cada segmento vehicular. En esta sección se presenta el resultado de este análisis.
- 10.27 Es importante aclarar que los resultados presentados no pretenden ser predictivos del comportamiento futuro del sector automotriz, por el contrario, se desarrollan a partir del ejercicio de planificación por escenarios y deben ser entendidos como una herramienta para la toma de decisión.

## Vehículos livianos de uso particular

### Motocicletas

- 10.28 Actualmente las motocicletas representan el 59% del total del parque automotor en Colombia. Las estimaciones de crecimiento de esta flota indican que este seguirá siendo el vehículo predominante en el parque automotor del país. Por lo tanto, potencialmente el número de vehículos de este segmento que podrían realizar el ascenso tecnológico a cero y bajas emisiones es alto.
- 10.29 Con corte en agosto de 2020, en Colombia se registraban 1,345 motocicletas eléctricas en el país. Mientras que, en 2019, se estima que la producción de motocicletas eléctricas a nivel mundial fue de aproximadamente 36 millones de unidades (IEA, 2020). Esto indica el alto potencial de ascenso tecnológico de este segmento, específicamente para motocicletas eléctricas.
- 10.30 Como resultado del ejercicio de planificación por escenarios se estima que potencialmente en 2050 el número de motocicletas eléctricas registradas en el país podría estar entre aproximadamente 1,400,000 y 1,700,000 motocicletas eléctricas. Esto equivale a tener una participación en el mercado de entre el 7% y 9% para el segmento de motocicletas. Para el 2030, se estima que el número de motocicletas eléctricas podría estar entre aproximadamente 400,000 y 700,000 vehículos.

Figura 10.1: Rango de crecimiento de motocicletas eléctricas en Colombia



Fuente: Steer, 2020.

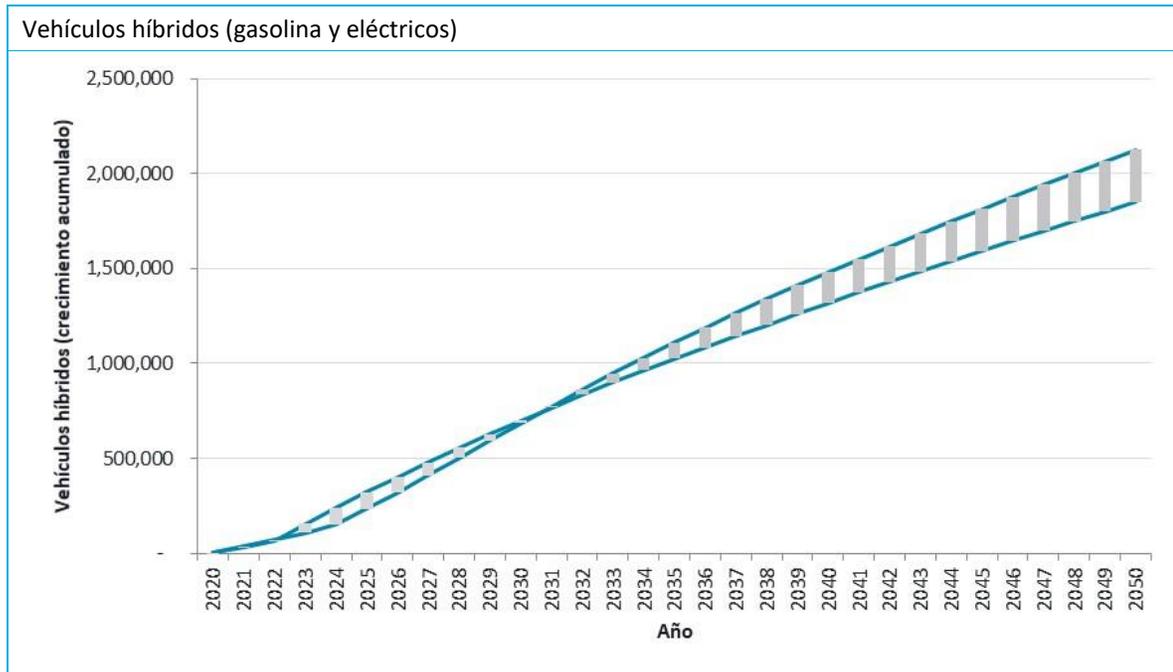
### Automóviles, camionetas y camperos

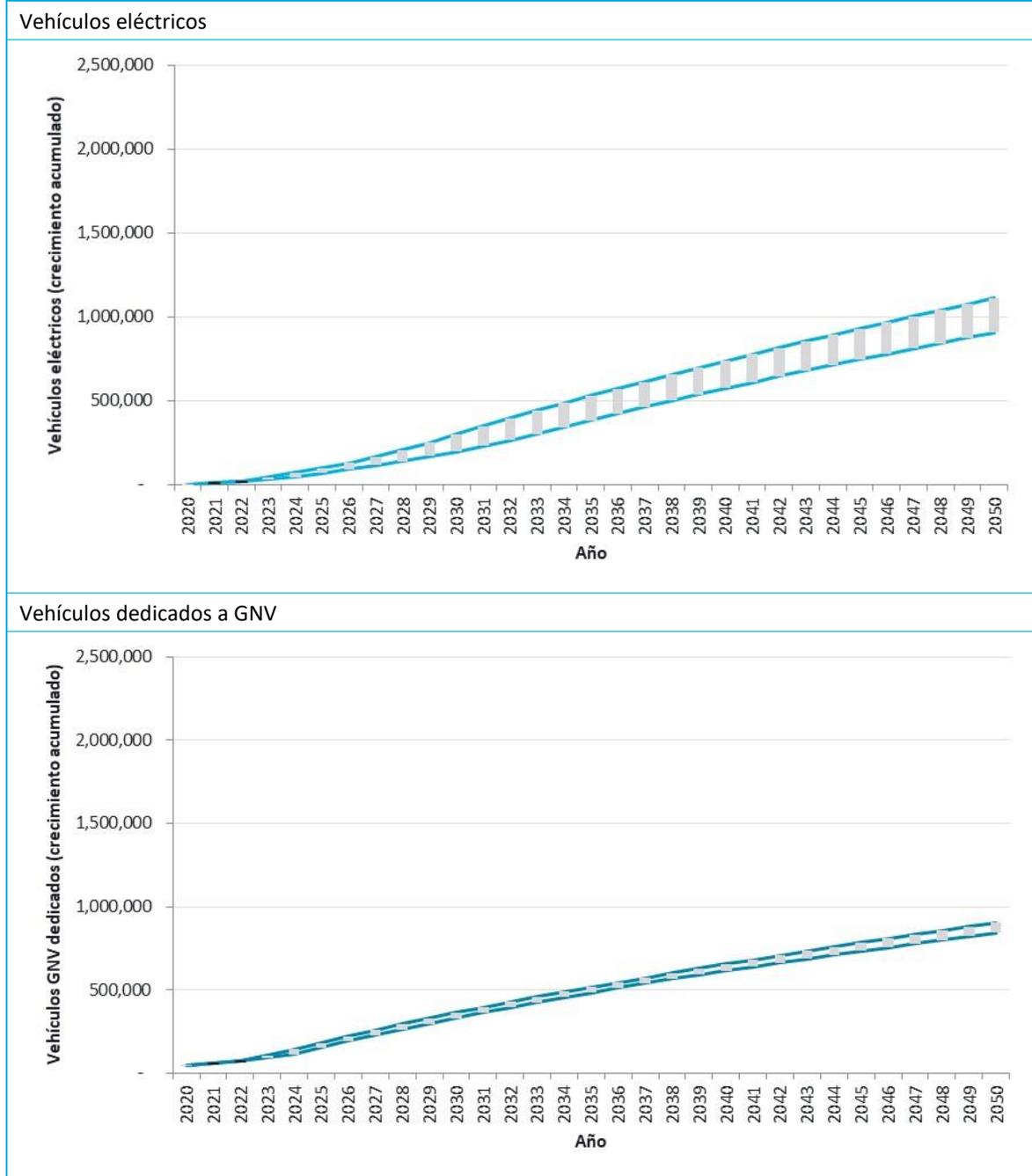
- 10.31 Según datos del RUNT, con corte a agosto de 2020, el 33% del total del parque automotor corresponde a automóviles, camionetas y camperos de uso particular (5,147,115 vehículos), de los cuales el 65% son automóviles, el 22% camionetas y el 13% restante camperos. Los modelos de

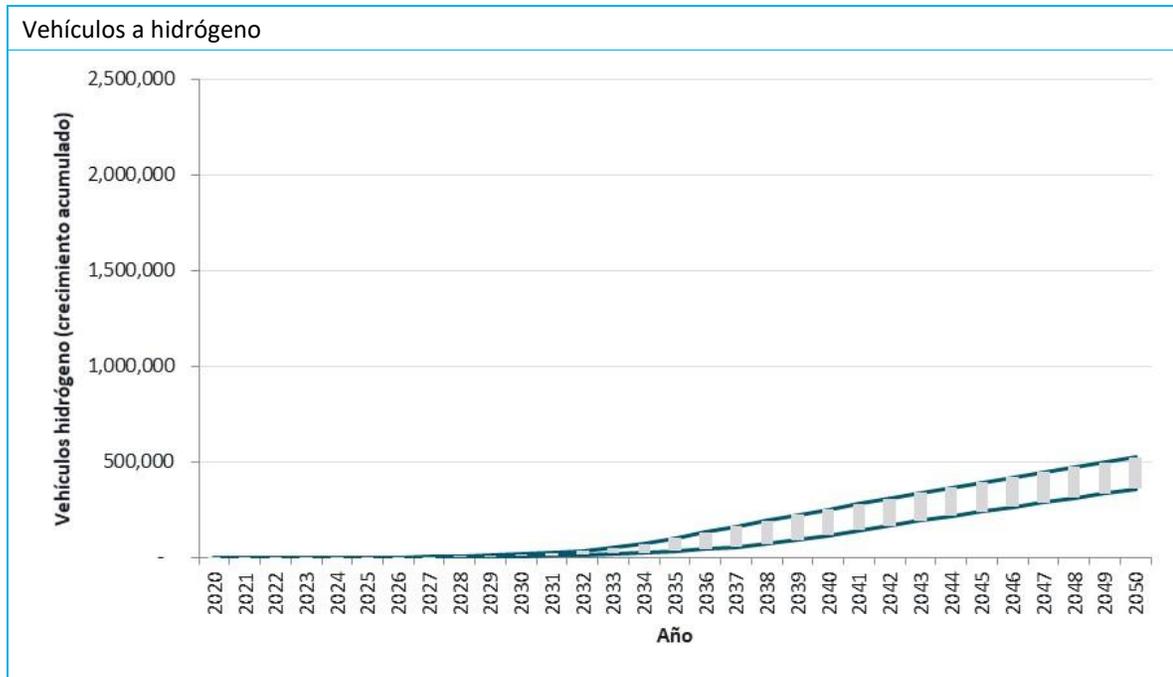
motorización desarrollados para este segmento indican que en 2050 el número de vehículos estará entre 9,600,000 y 9,900,000, lo cual representa aproximadamente el 32% del total de la flota del país.

- 10.32 Las tecnologías vehiculares consideradas para el ascenso tecnológico de este segmento vehicular son los vehículos eléctricos, los vehículos híbridos (gasolina y eléctricos), los vehículos de hidrógeno y vehículos dedicados a GNV. En las siguientes figuras se presenta el crecimiento potencial de cada una de estas tecnologías.

**Figura 10.2: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para automóviles, camiones y campers en Colombia**







Fuente: Steer, 2020.

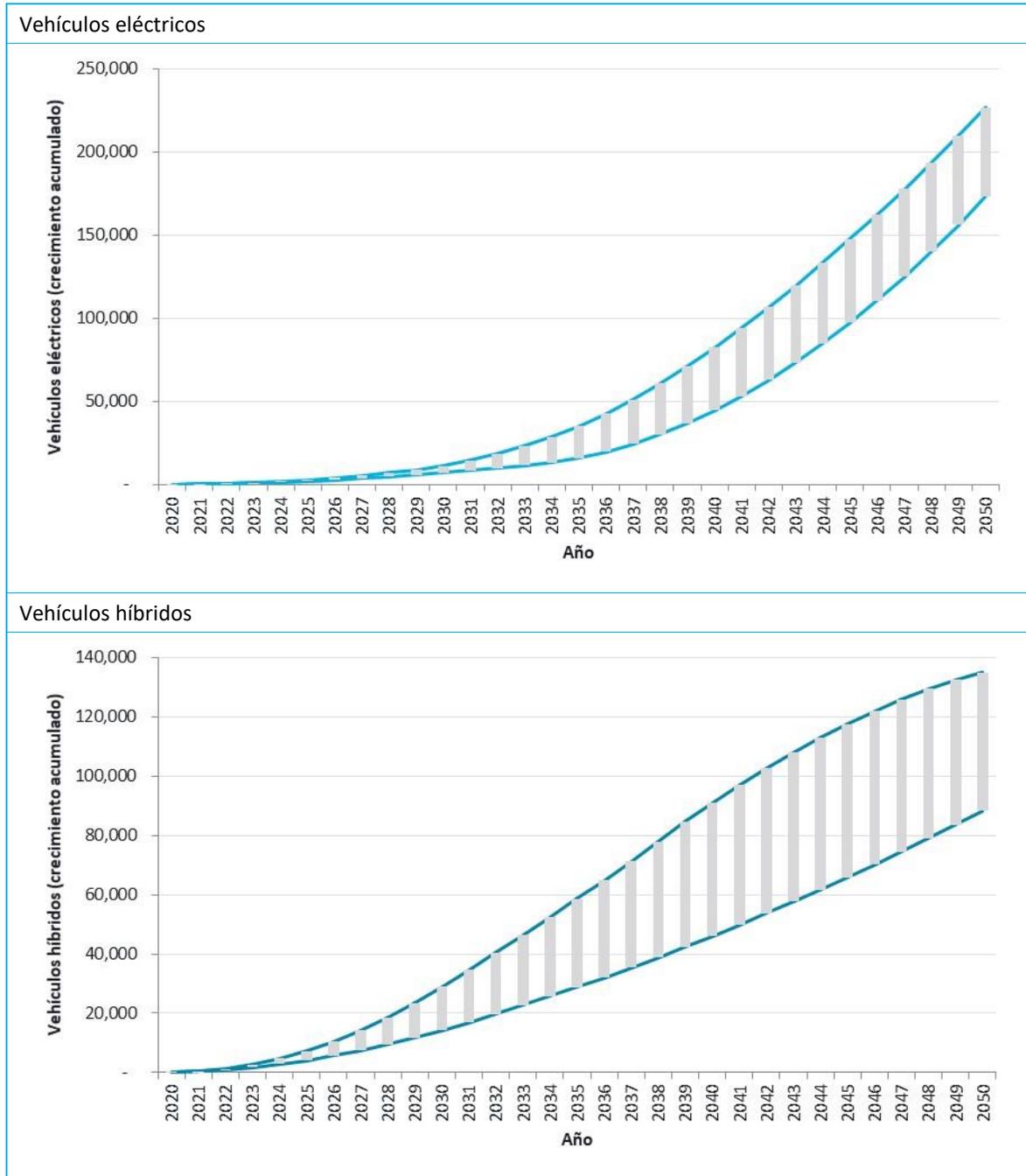
- 10.33 Los vehículos híbridos son los que presentan un crecimiento más acelerado, llegando a alcanzar para 2050 un rango entre 19 y 22% del total del mercado para este segmento, es decir, entre aproximadamente 1,800,000 y 2,100,000 vehículos para 2050. En el caso de los vehículos eléctricos, para el 2050 la demanda potencial representa entre el 9 y el 11% del total de este segmento vehicular. Los vehículos dedicados de GNV podrían potencialmente alcanzar un máximo de 9% de este segmento vehicular para 2050.
- 10.34 En cuanto a los vehículos de hidrógeno estos pueden potencialmente masificarse en el país en los últimos años de la década de 2030 y a inicios de la década de 2040 teniendo un porcentaje de entre 3 y 5% del mercado para 2050. Este segmento vehicular representaría aproximadamente entre el 92 y el 99% de la demanda de esta tecnología, en caso de que esta se masifique en el país.

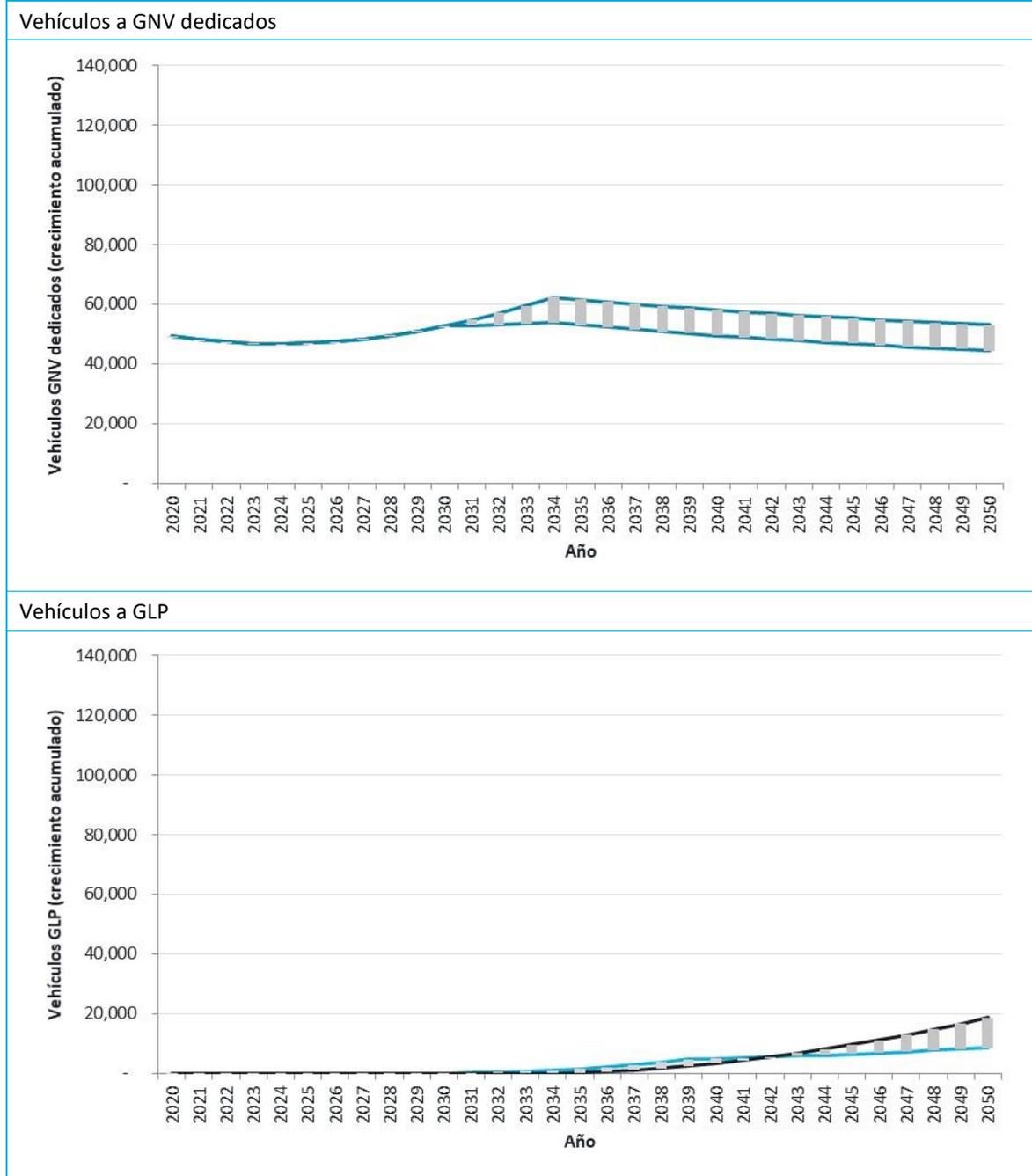
#### **Vehículos livianos de servicio público**

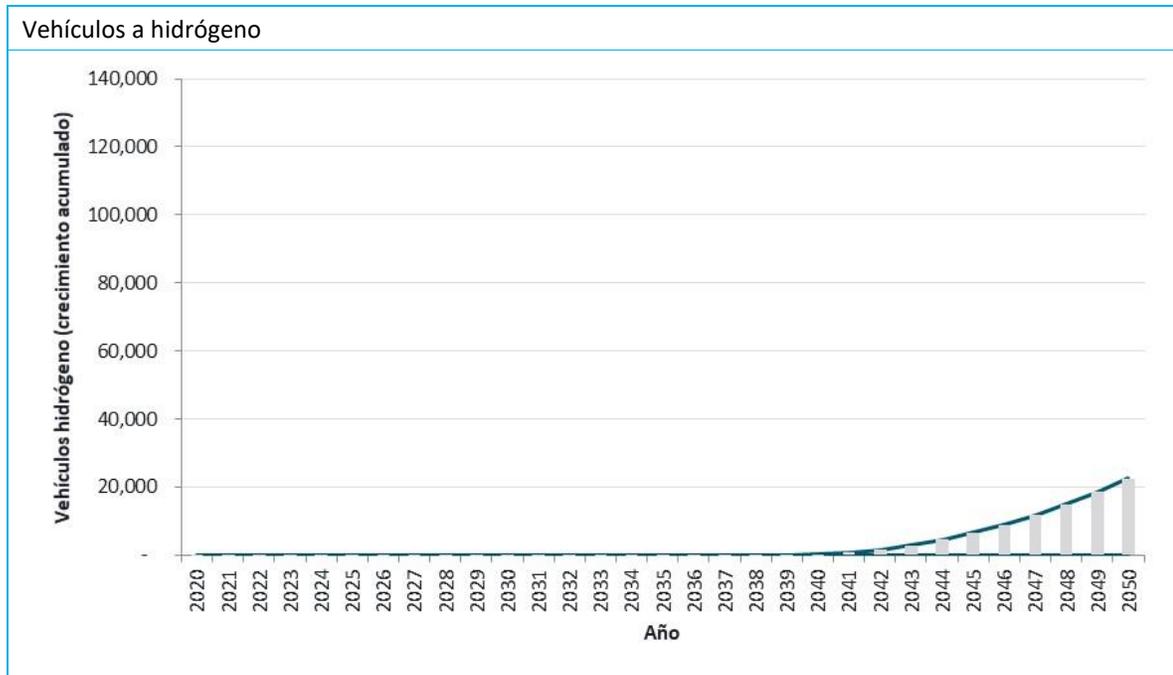
- 10.35 De acuerdo con los datos reportados por el RUNT, en agosto de 2020 la flota total de vehículos livianos de servicio público era de 484,199 unidades, de los cuales el 49 % corresponde a automóviles, el 46% a camperos y el 5% a camperos.
- 10.36 Las tecnologías vehiculares consideradas para el ascenso tecnológico de este segmento vehicular son los vehículos eléctricos, vehículos híbridos (gasolina y eléctricos), vehículos dedicados a GNV, vehículos a GLP y vehículos de hidrógeno. En las siguientes figuras se presenta el crecimiento potencial de cada una de estas tecnologías.

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 | Productos 1 al 6

**Figura 10.3: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para vehículos livianos de servicio público en Colombia**







Fuente: Steer, 2020.

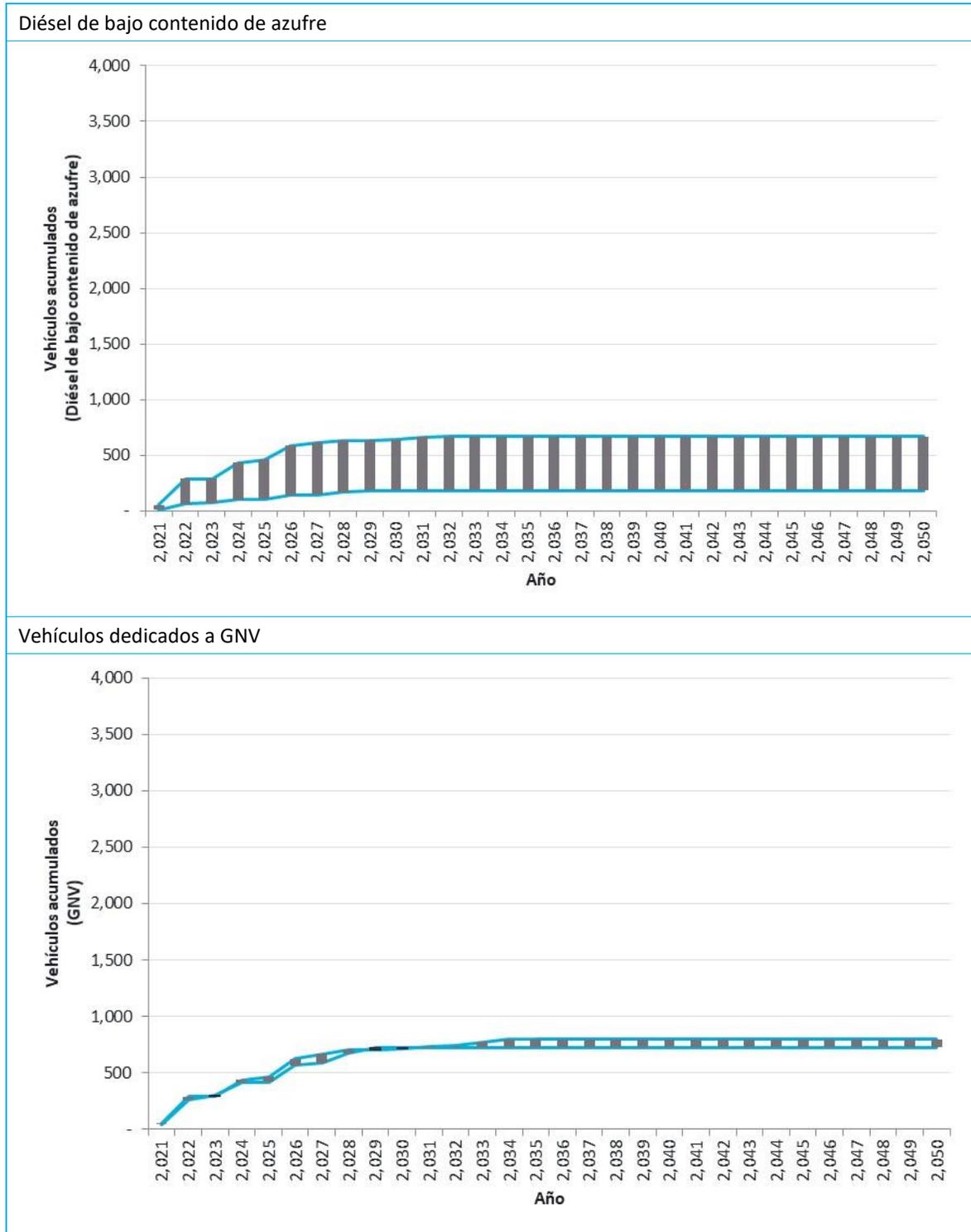
- 10.37 Para este segmento vehicular la tecnología con mayor potencial es la de vehículos eléctricos, en el 2050 la participación de esta tecnología podría estar entre 17 y 22%. Mientras que, para vehículos híbridos este rango varía entre 8 y 13%. Es importante anotar que se estima que aproximadamente en 2040 se empiece a masificar la tecnología de vehículos a hidrógeno, por lo tanto, en este año esta tecnología presenta un crecimiento acelerado llegando a alcanzar un 2% en la participación de este segmento.

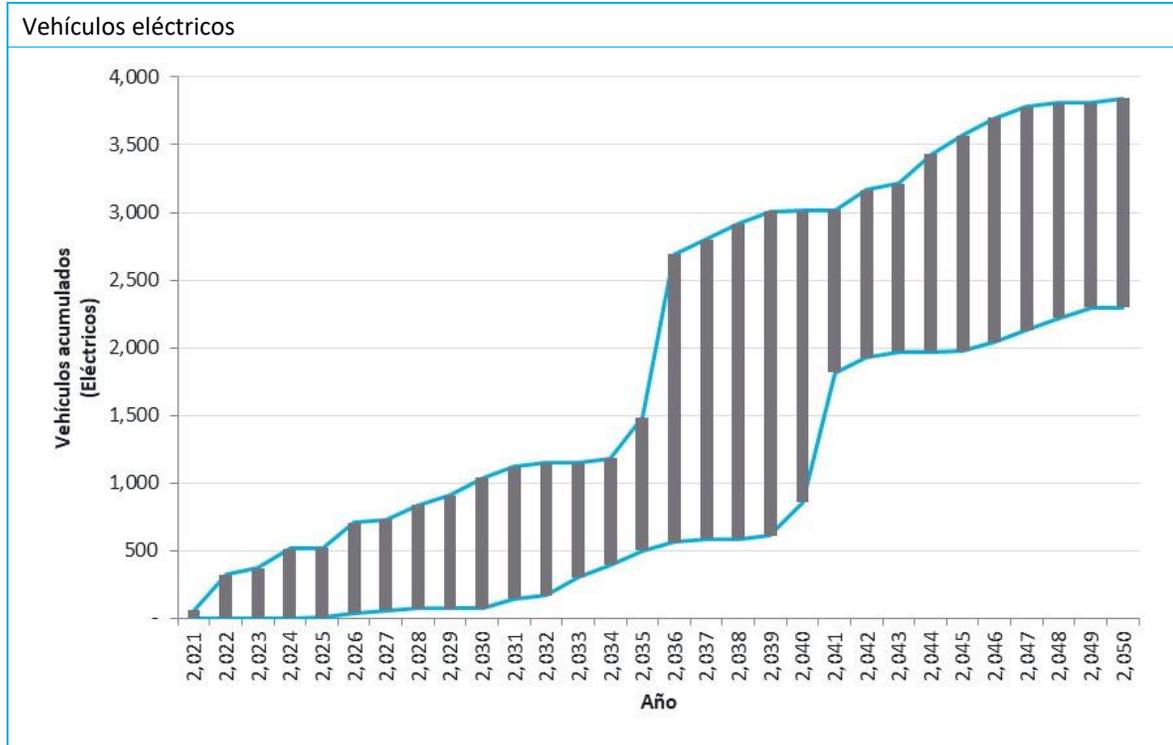
### Vehículos de pasajeros

- 10.38 El análisis de vehículos de pasajeros con potencial de ascenso tecnológico se concentra en las ciudades que cuentan o tienen planeado implementar un Sistema Integrado de Transporte Masivo o un Sistema Estratégico de Transporte Público. Actualmente, la flota vinculada de transporte público de estas ciudades<sup>19</sup> es de 16,576 buses distribuidos entre biarticulados, articulados, padrones, busetones y microbuses.
- 10.39 Las tecnologías vehiculares analizadas para este segmento son: vehículos impulsados con diésel de bajo contenido de azufre, vehículos dedicados a GNV, vehículos eléctricos y vehículos de hidrógeno, para los padrones, busetas, busetones y microbuses. El análisis de este segmento vehicular considera lo establecido en la Ley de Movilidad Eléctrica (Ley 1964 de 2019) y, por lo tanto, la tecnología predominante es la de vehículos eléctricos. A continuación, se presenta el potencial para cada uno de los segmentos viales analizados.

<sup>19</sup> Bogotá – Soacha, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Pereira, Cartagena, Santa Marta, Popayán, Pasto, Armenia, Sincelejo, Montería, Valledupar, Neiva

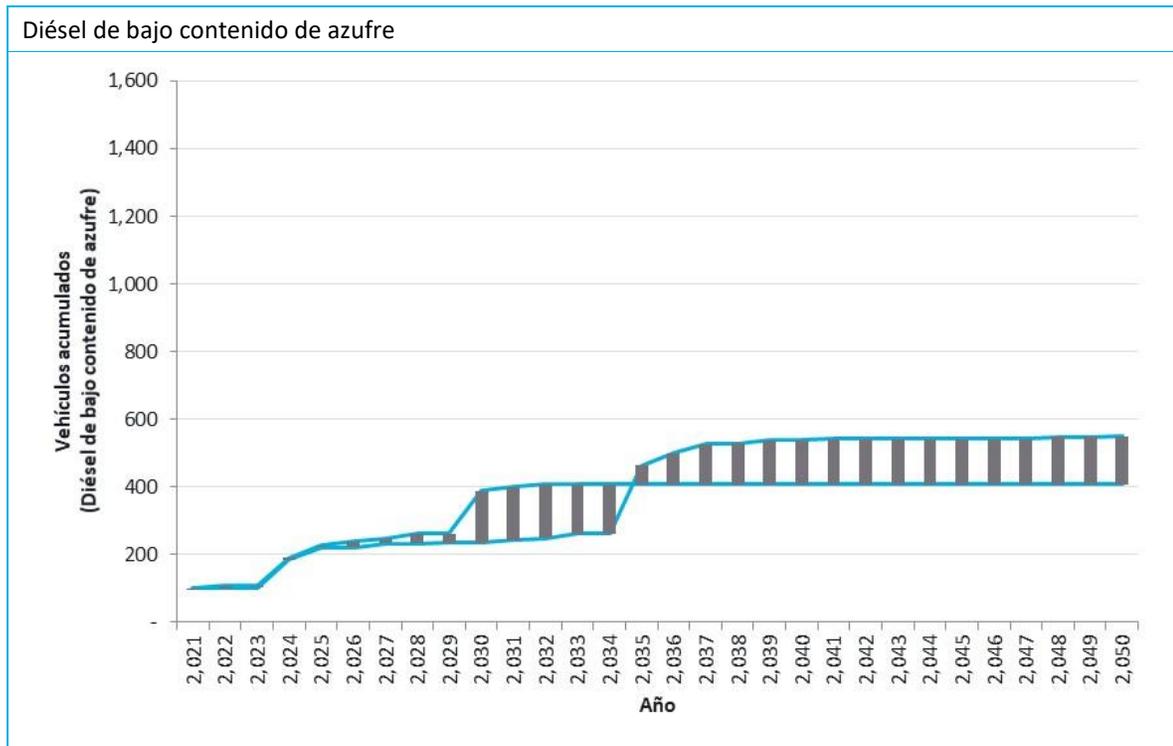
**Figura 10.4: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para biarticulados y articulados en Colombia**

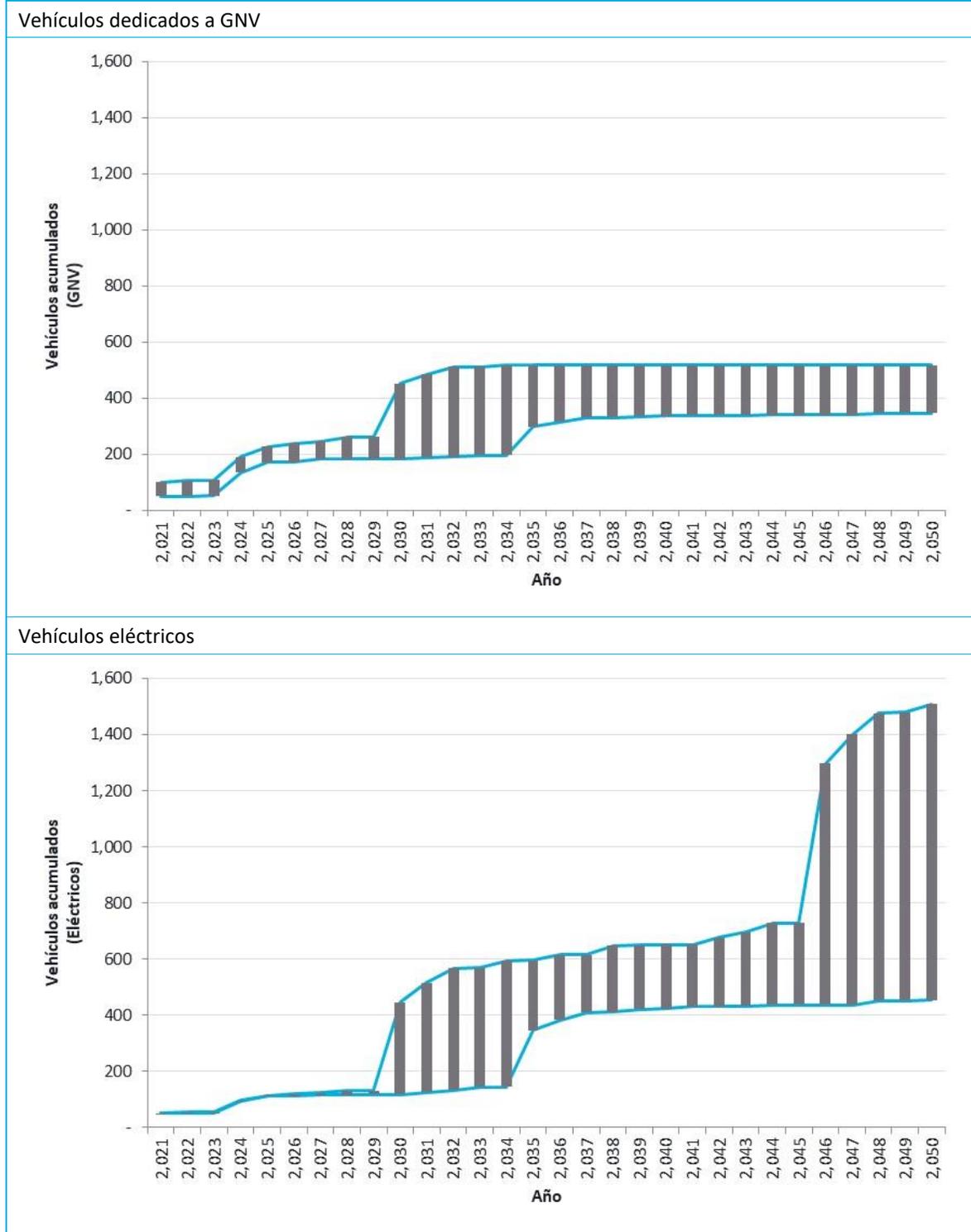


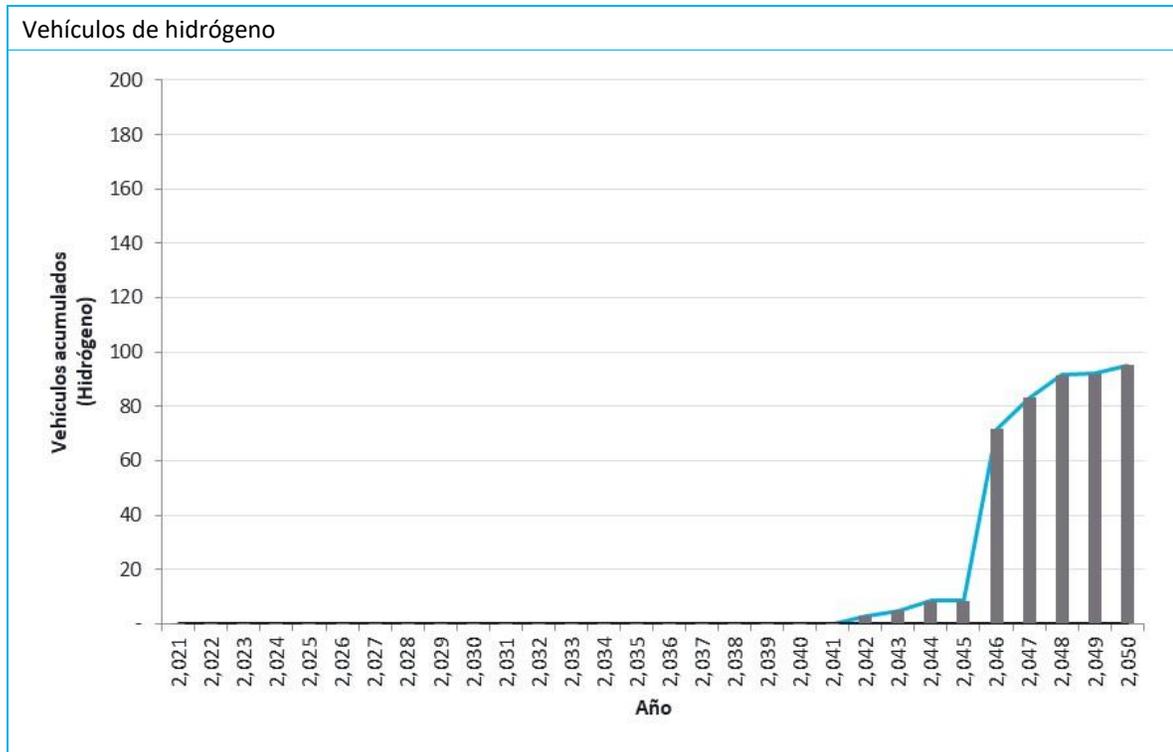


Fuente: Steer, 2020.

Figura 10.5: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para padrones en Colombia

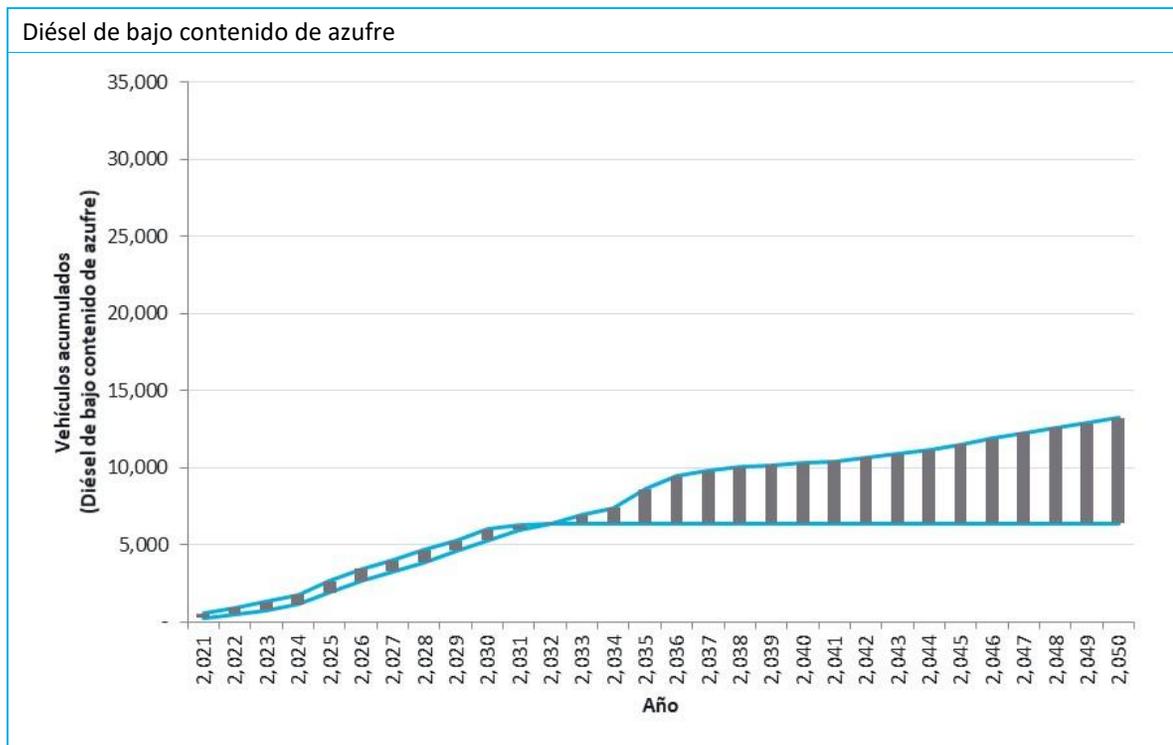




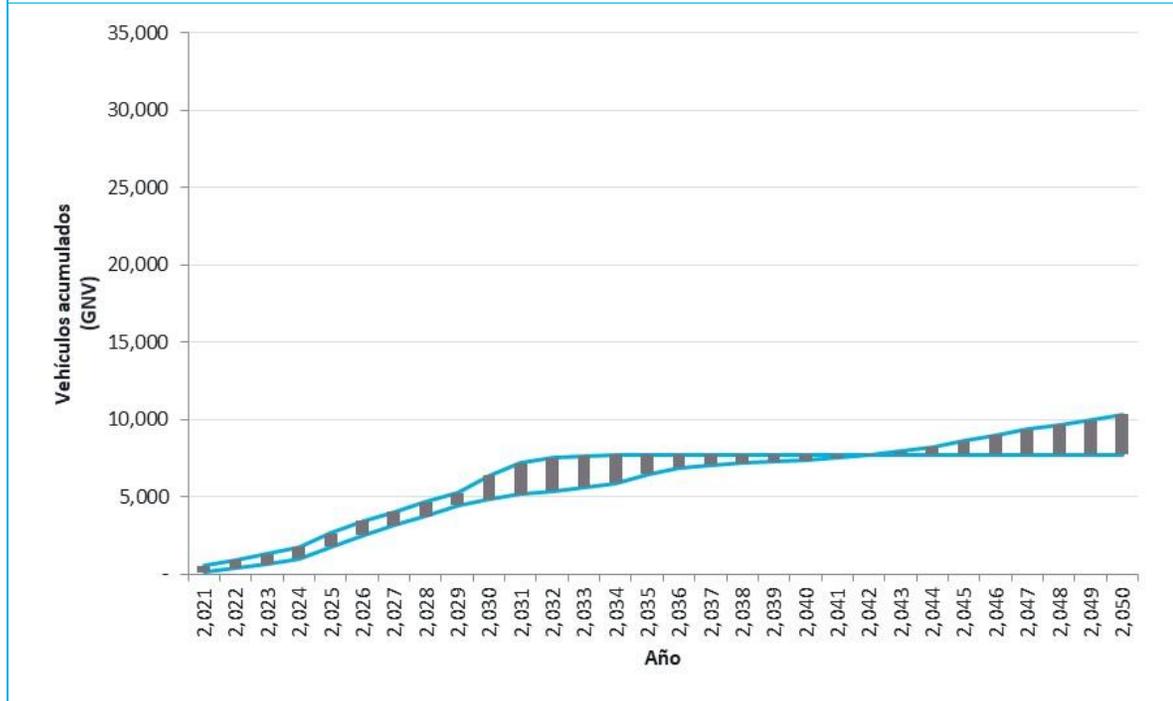


Fuente: Steer, 2020.

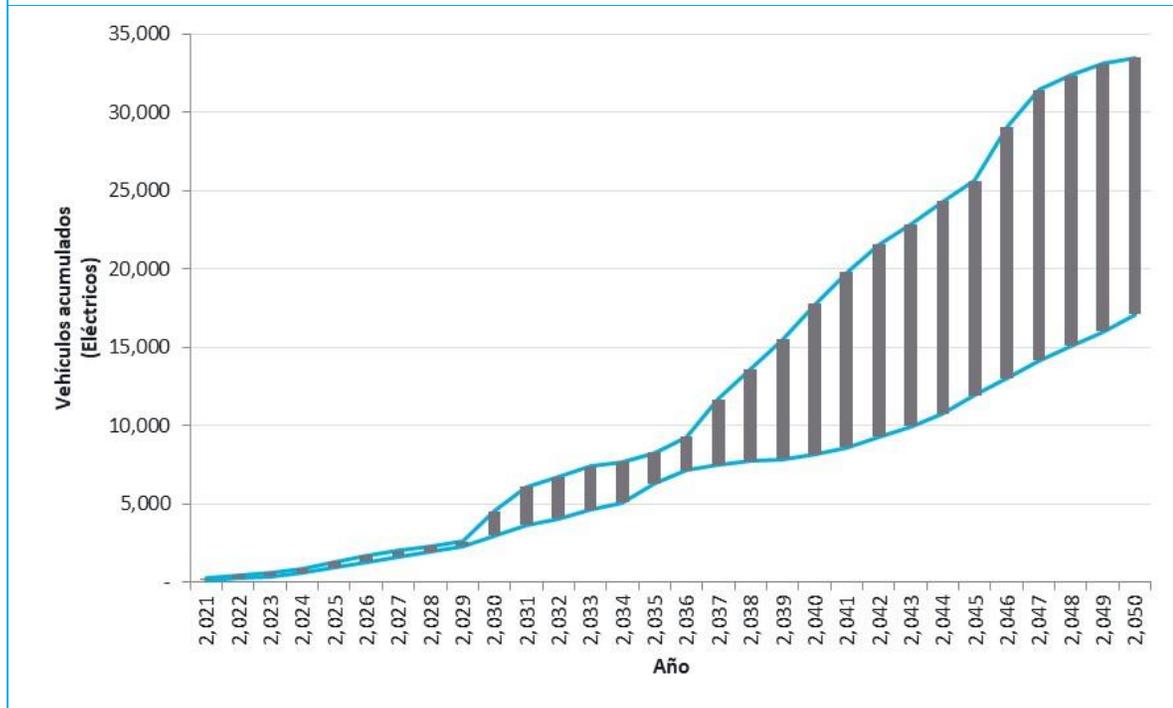
**Figura 10.6: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones para busetas, busetones y microbuses en Colombia**

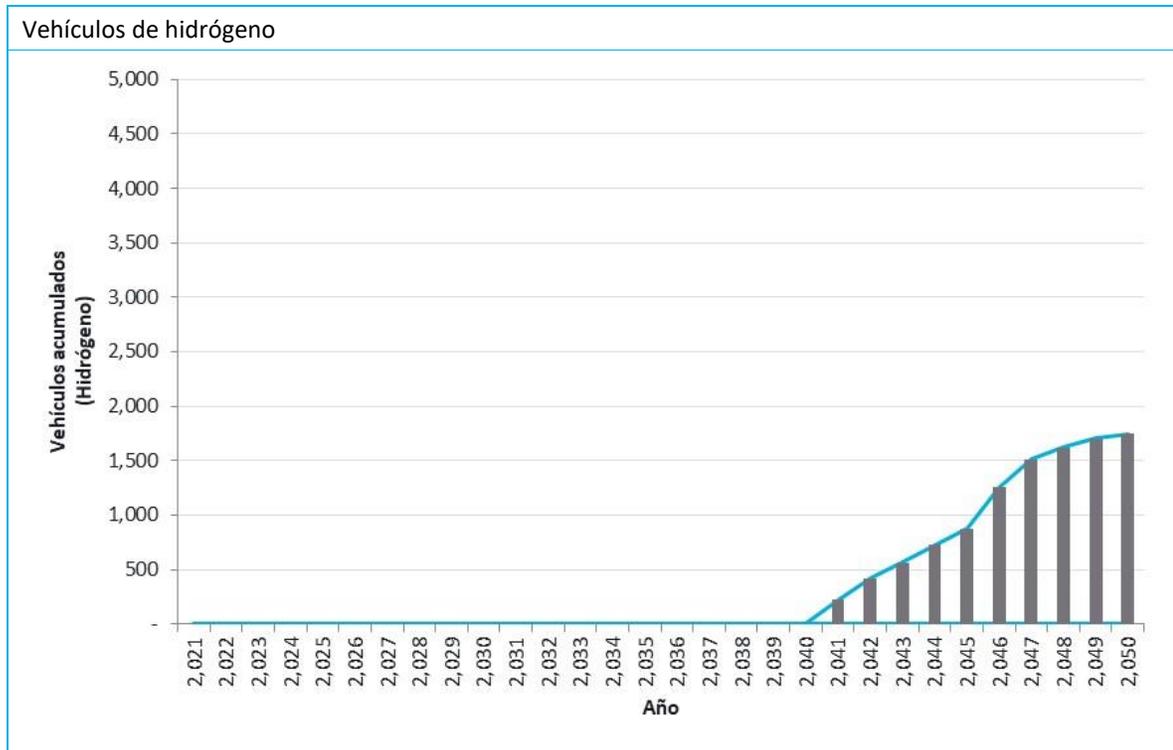


### Vehículos dedicados a GNV



### Vehículos eléctricos



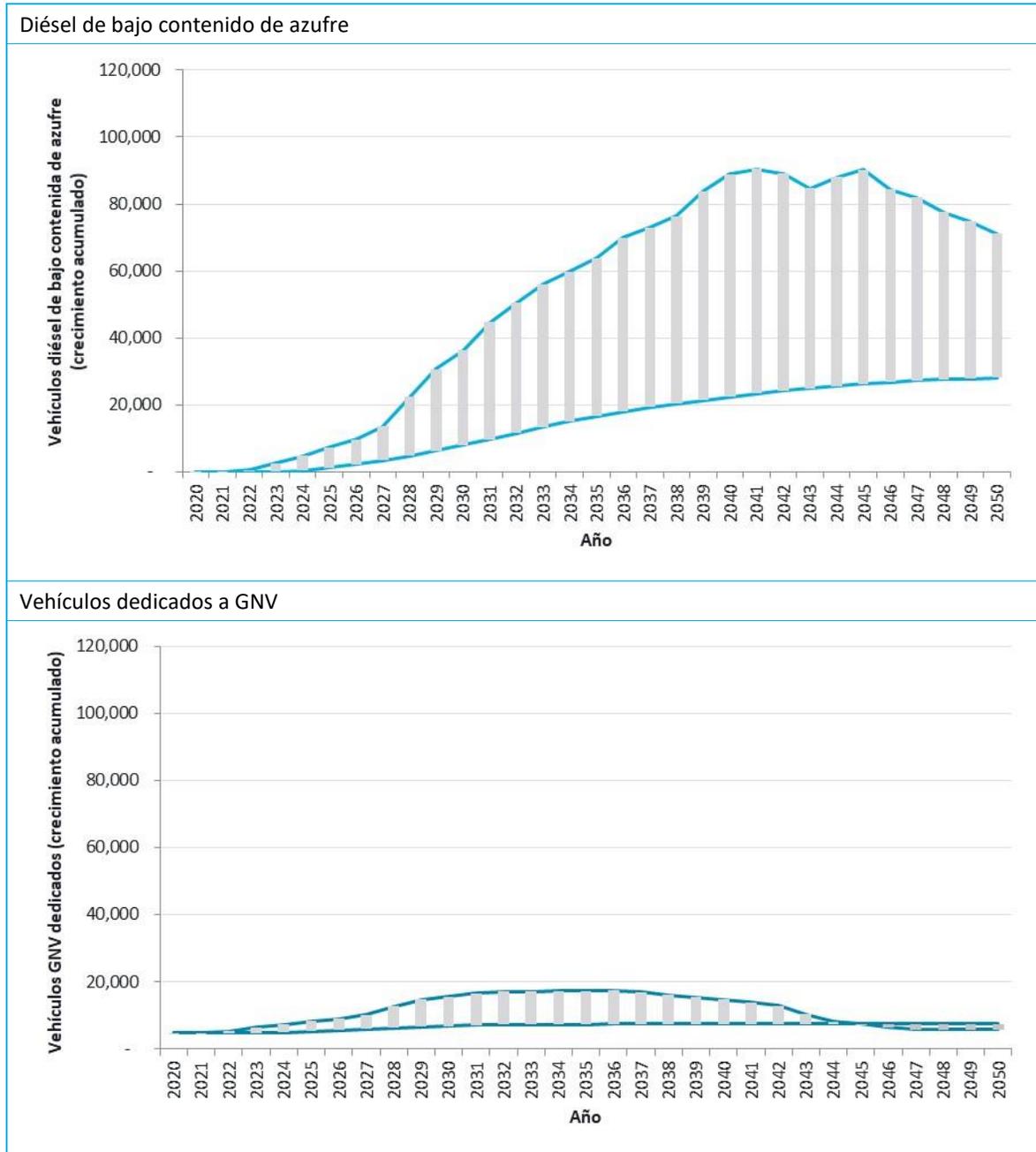


Fuente: Steer, 2020.

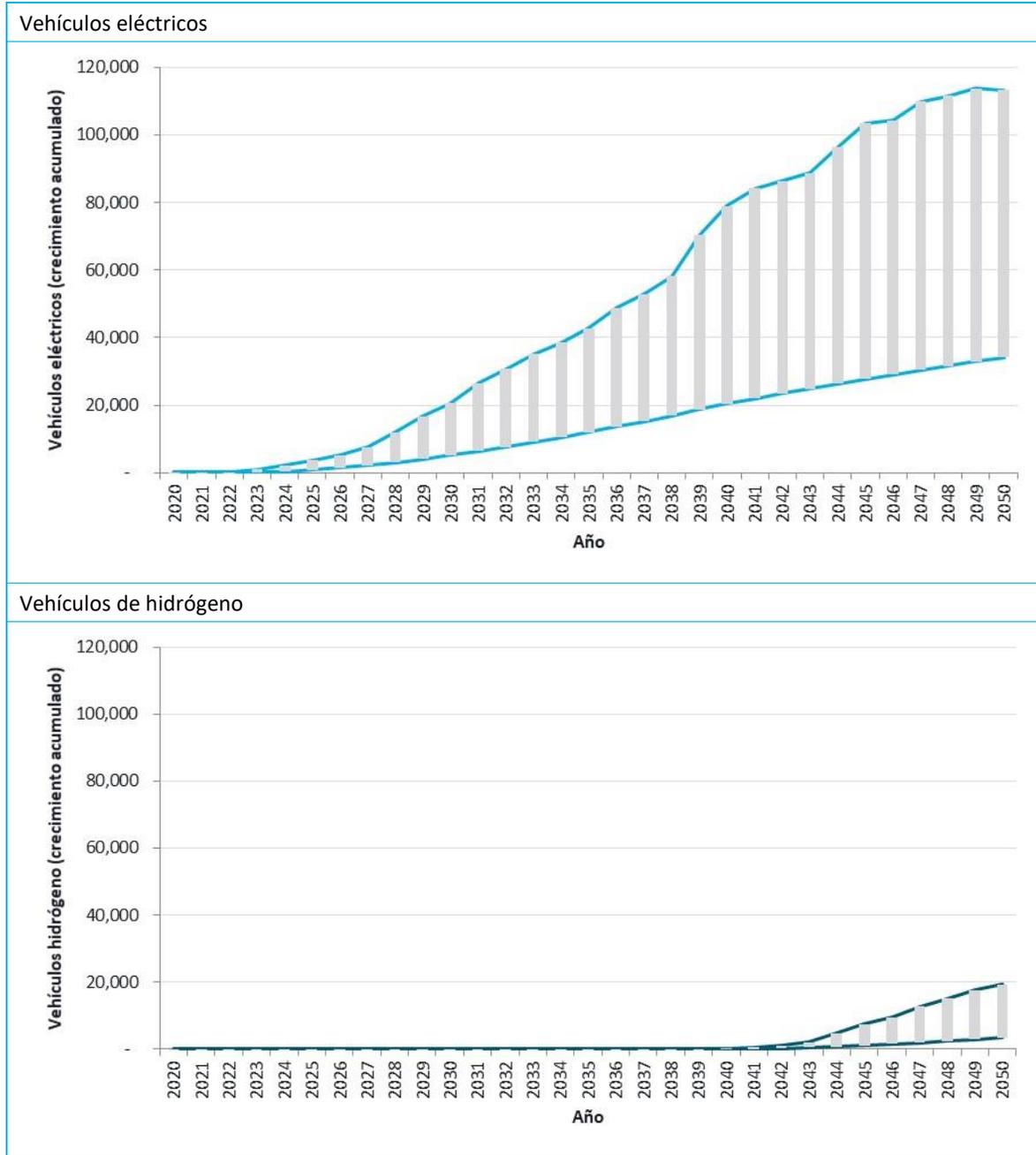
### Vehículos de carga

- 10.40 Los vehículos de carga representan únicamente el 2% del total del parque automotor del país. Sin embargo, el impacto de estos en términos de generación de emisiones y consumo energético tiene un peso importante en el sector transporte.
- 10.41 El análisis presentado considera las siguientes tecnologías vehiculares: vehículos impulsados por diésel de bajo contenido de azufre, vehículos dedicados a GNV, vehículos eléctricos y vehículos a hidrógeno. Como se ha explicado previamente, el segmento de vehículos de carga es el que presenta las mayores barreras para el ascenso tecnológico, esto se ve reflejado en la entrada de tecnologías en el mediano y largo plazo.

**Figura 10.7: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones camiones y volquetas en Colombia**

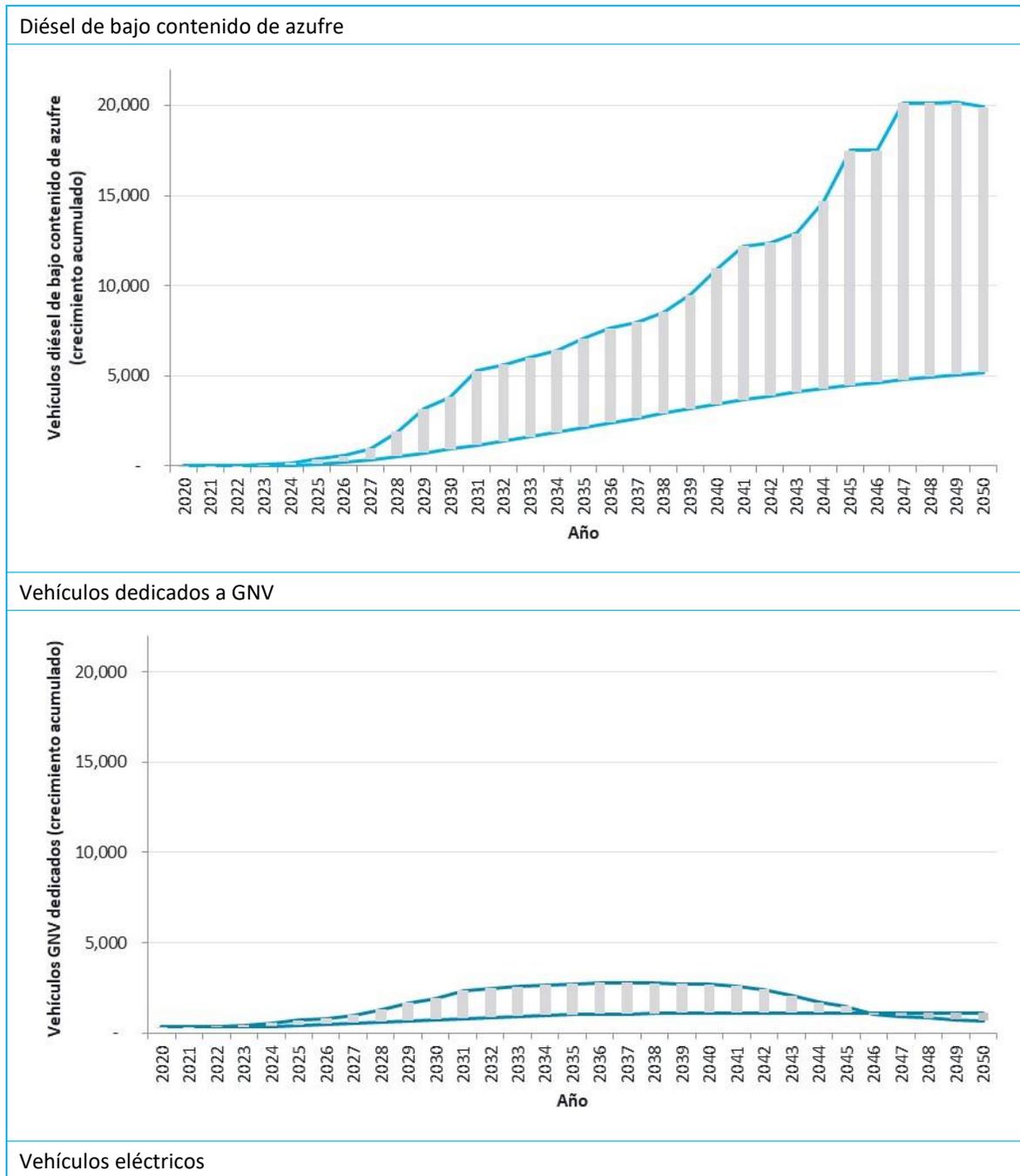


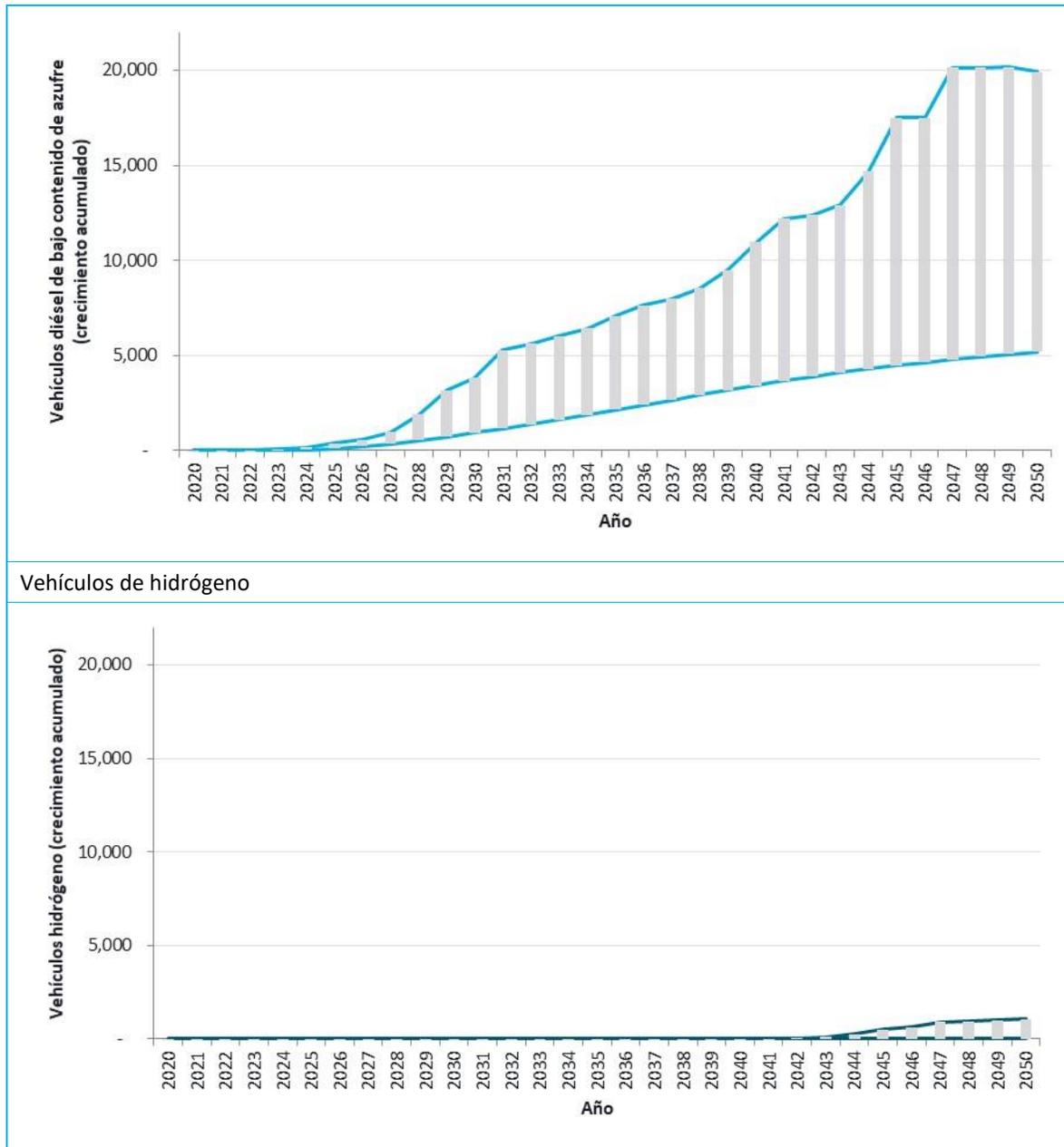
Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional | Productos 1 al 6



Fuente: Steer, 2020.

**Figura 10.8: Rango de crecimiento de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones tractocamiones en Colombia**





Fuente: Steer, 2020.

### Impactos del ascenso tecnológico

- 10.42 En el análisis costo beneficio – ACB, se identificaron los impactos cuantificables del ascenso tecnológico para las finanzas públicas de la Nación, para los propietarios de los vehículos y algunos efectos para la sociedad como la ganancia ambiental y el aumento de productividad derivado de la reducción de incapacidades. La adopción de tecnologías más limpias genera impactos adicionales a los cuantificados en el ACB.

## Finanzas Públicas

- 10.43 En los escenarios en los que la transformación del parque automotor implique migrar de combustibles líquidos a combustibles de transición como los derivados del gas o a energéticos de cero emisiones, el recaudo de los impuestos que gravan la cadena del diésel y la gasolina motor corriente se reduce.
- 10.44 Para las finanzas nacionales, el impacto proviene de la reducción de tres fuentes de ingreso: i) el impuesto nacional a la gasolina y al ACPM que se cobra sobre el porcentaje de combustible fósil de la mezcla (con biocombustible o etanol); ii) el IVA al ingreso al productor de combustible fósil y; iii) el IVA sobre el margen del distribuidor mayorista.
- 10.45 El impuesto nacional ha perdido participación sobre los ingresos tributarios de la Nación, para 2020 se estima que será del 1,03%, (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2020), pero sigue siendo un monto importante. Por su parte, desde su creación, el impuesto al carbono ha generado un recaudo de 1.3 billones de pesos<sup>20</sup> (Marco Fiscal de Mediano Plazo, 2020). Estos ingresos son considerables y su reducción estresa las proyecciones de déficit fiscal.
- 10.46 Posiblemente este impacto se compense, en caso de darse un crecimiento económico por la consolidación de nuevos segmentos de la economía, así como por los efectos en productividad y competitividad por el salto tecnológico. Dado que ese impacto no está cuantificado y la compensación puede darse en momentos distintos del tiempo, es previsible que la Nación tenga que establecer ingresos sustitutos por vía de nuevos tributos.
- 10.47 A esto se suma, la reducción de ingresos para la Nación por los incentivos arancelarios y tributarios establecidos y propuestos para acelerar la entrada de nuevas tecnologías. Estos incentivos tienen justificación en la medida en que el precio de los vehículos para el usuario final siga siendo la principal barrera para el ascenso tecnológico. Una vez, los precios vayan logrando niveles competitivos, esos incentivos deben eliminarse para mejorar las finanzas públicas y evitar distorsiones de mercado por excesiva intervención estatal.
- 10.48 Del lado de las finanzas territoriales, el impacto se origina en la reducción del recaudo de la sobretasa sobre los combustibles líquidos, que representa el 7% de los ingresos tributarios subnacionales (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2020). En varios municipios y distritos, la sobretasa es la garantía del aporte local a los sistemas de transporte masivo y a los sistemas estratégicos de transporte público, y contribuyen a financiar inversiones sociales y de infraestructura.
- 10.49 Si bien la renovación del parque automotor, por su efecto en reducción de la contaminación, disminuye la presión de gasto en salud sobre las finanzas territoriales, ese beneficio se concreta en el largo plazo mientras que la reducción de ingresos es de corto y mediano plazo.

## Sector Energético

- 10.50 La masificación de nuevas tecnologías implicará aumentar, modernizar o mejorar la infraestructura de transporte y distribución de los energéticos, tanto de los combustibles de origen fósil como de la energía eléctrica. Esto implica nuevas inversiones, como ha sucedido con

---

<sup>20</sup> Recaudo efectivo 2017- 2019, y estimado 2020

las estaciones de carga para los buses eléctricos de los sistemas de transporte masivo, donde se han requerido subestaciones, refuerzo de las redes y adecuación de infraestructura en general.

- 10.51 Las fórmulas tarifarias actuales para energía y gas natural permiten incorporar inversiones eficientes a la base de activos regulatorios y, por lo tanto, el mecanismo de remuneración está previsto. Ahora bien, una masificación de estos energéticos podría ayudar a reducir los costos marginales de esas inversiones al lograr economías a escala y una mayor democratización del pago.
- 10.52 En el caso el GLP vehicular, recientemente el Gobierno ha dado pasos para establecer las condiciones de distribución y suministro en el país. En este proceso es esencial la definición de los costos de prestación del servicio de manera que el sector cuente con los incentivos necesarios para realizar las inversiones que se requieren y entre en condiciones de competencia con los demás energéticos.
- 10.53 En ese sentido, es importante coordinar los incentivos para garantizar la diversificación de la oferta energética para el transporte en términos de abastecimiento y formación eficiente de precios.
- 10.54 Entre los temas a revisar, se encuentran la regulación sobre la infraestructura de distribución y los incentivos diferenciados. Sobre el primer aspecto, se requiere definir de las condiciones técnicas para desarrollar una infraestructura de carga suficiente para cada tecnología; y promover estaciones de servicios, cuando las condiciones de seguridad lo permitan, donde coexistan equipos de carga y suministro de varios energéticos.
- 10.55 En cuanto a los incentivos, es necesaria la revisión de cargas y beneficios diferenciados por energético, que distorsionan la conformación de precios. Por ejemplo, hoy en día las electrolinerías que implican una inversión importante pueden terminar atendiendo principalmente una demanda de emergencia por cuenta de la contribución del 20% por uso comercial de la energía. Lo anterior, dado que los usuarios de estratos 4 y menores o industriales, tendrán mejores condiciones de precio por kwh por no tener la contribución o incluso por tener energía subsidiada. Estas distorsiones pueden desestimular la inversión en la infraestructura de recarga pública.
- 10.56 La mejora en el rendimiento de los vehículos y la reducción de los costos de operación del transporte incrementa la competitividad del sector transporte y logística. La electrificación de parte del parque automotor puede conllevar a una reducción del precio de la energía con un impacto directo en la competitividad nacional.
- 10.57 Tanto el sector automotriz como los desarrollos tecnológicos traen consigo el desarrollo de encadenamientos productivos que multiplican el beneficio para la economía del crecimiento sectorial. La cadena de producción y comercialización, los requerimientos de operación y mantenimiento, y su estrecha relación con los demás sectores de la economía determinan el potencial de los encadenamientos asociados a la adopción de nuevas tecnologías en el transporte y con ello su efecto en el empleo.

# 11 Análisis de priorización de clases de vehículos y modalidades de transporte

- 11.1 En este capítulo se presenta la metodología y los resultados de ejercicio de priorización de clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar ascenso tecnológico hacia cero y bajas emisiones. El análisis se realiza según la clasificación de segmentos vehiculares presentada en la Etapa 1 del estudio.
- 11.2 En la siguiente tabla se presenta la equivalencia entre los segmentos vehiculares para los que se realiza la priorización y las clases de vehículo y modalidades de transporte establecidas en el Registro Único Nacional de Tránsito.

**Tabla 11.1: Equivalencia entre segmento vehicular y clases de vehículos y modalidades de transporte**

Segmento vehicular	Clase de vehículo	Modalidad de transporte	Tipo de servicio
Vehículos livianos de uso particular	Automóvil	Pasajeros	Particular
	Camioneta	Pasajeros	Particular
	Campero	Pasajeros	Particular
Motocicletas	Motocicleta	Pasajeros	Particular
Vehículos livianos de transporte público	Automóvil	Pasajeros	Público
	Camioneta	Pasajeros	Público
	Campero	Pasajeros	Público
Vehículos de pasajeros	Biarticulado y articulado	Pasajeros	Público
	Padrones	Pasajeros	Público
	Bus, buseta, busetón, microbús	Pasajeros	Público
Vehículos de carga	Camión	Carga	Público y privado
	Volqueta	Carga	Público y privado
	Tractocamión	Carga	Público y privado

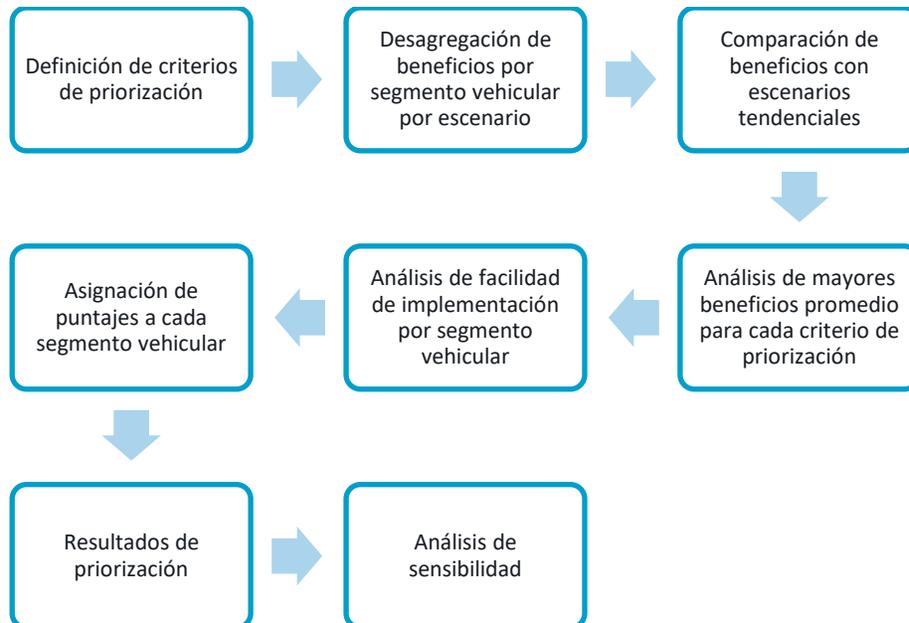
Fuente: Steer, 2020.

- 11.3 Es importante aclarar que el ejercicio de priorización se realiza para el consolidado nacional del parque automotor, por lo tanto, no se considera una sustitución uno a uno, si no que por el contrario se analizan los impactos macro de la flota de cada uno de los segmentos vehiculares.
- 11.4 Los análisis y resultados de este capítulo se presentan agregados para cada uno de los segmentos vehiculares, en el siguiente capítulo se dan recomendaciones específicas para las clases vehiculares priorizadas en caso de que se encuentre pertinente.

## Metodología

- 11.5 El ejercicio de priorización retoma lo presentado en la Etapa 2 del estudio, en donde se elaboró un modelo para el análisis costo-beneficio en el cual se incluyeron impactos que pueden ser cuantificados; algunos por contar con variables consolidadas por información histórica o proyecciones calificadas, y otros que pueden cuantificarse a partir de información disponible. Este modelo estableció, con base en variables conocidas o estimables, la rentabilidad económica de la adopción de tecnologías de baja y cero emisiones, para las diferentes clases de vehículos y modalidades de transporte identificadas.
- 11.6 La metodología propuesta se basa en una aproximación de planificación por escenarios, en donde se reconoce que no existe un único futuro, sino que se deben priorizar segmentos que presenten los mayores beneficios independiente del futuro que pueda darse. Esto significa que la priorización esta asociada al “mínimo arrepentimiento”; en términos de la teoría de juegos esta aproximación puede asemejarse a una del tipo minimax (Von Neuman, 1928), es decir aquella que minimiza la máxima pérdida posible.
- 11.7 En la siguiente figura se presenta el esquema metodológico para la priorización de clases de vehículos y modalidades de transporte.

Figura 11.1: Esquema metodológico de priorización



Fuente: Steer, 2020.

- 11.8 El primer paso es definir los criterios de priorización. En este caso se toman los beneficios incluidos en el modelo ACB:
- i. Impactos en el consumo energético
  - ii. Impactos sobre el ambiente
  - iii. Impactos en la salud pública
- 11.9 Lo anterior, implica que para el ejercicio de priorización se analizan los beneficios potenciales del ascenso tecnológico de todos los segmentos vehiculares.
- 11.10 Adicionalmente, se incluye un criterio cualitativo de facilidad de implementación. Este criterio recoge factores determinantes en el proceso de ascenso tecnológico como: decisiones de política pública, número de actores involucrados en la decisión de adquisición de nuevos vehículos y factores económicos y financieros en la decisión de compra.
- 11.11 Luego de definir los criterios de evaluación se procede a desagregar, para cada uno de los escenarios de evaluación, los beneficios para cada segmento vehicular en el horizonte de modelación, es decir de 2021 a 2050. Para cada escenario se calcula el valor presente neto – VPN para 2021, utilizando una tasa de descuento de 3%, al ser esta la tasa que generalmente se utiliza para las estimaciones en salud y es la tasa sugerida en proyectos ambientales por el DNP. (DNP, 2018).
- 11.12 Al obtener el VPN para cada uno de los escenarios se estima el diferencial entre cada escenario y un escenario tendencial, de esta forma se obtiene para cada segmento, los beneficios potenciales en cada uno de los criterios. Vale la pena mencionar que el escenario tendencial considera ascenso tecnológico de todos los segmentos vehiculares, pero en menor medida que para el resto de los escenarios.
- 11.13 Para cada criterio se asigna un mayor puntaje al segmento que tenga el mayor beneficio promedio, es decir en el cual el diferencial entre costos sea el menor. Los puntajes se asignan de 1 a 5, siendo 5 el puntaje asignado al segmento con mayores beneficios y 1 el puntaje asignado al segmento con los mejores beneficios promedio.
- 11.14 Para la evaluación de facilidad de implementación, también se asignan puntajes de 1 a 5. Estos puntajes son asignados por el equipo consultor, a partir del análisis de información secundaria y de la información recogida en las entrevistas que se realizaron en el marco del proyecto. En la siguiente tabla se presenta la asignación de puntajes para este criterio.

**Tabla 11.2: Asignación de puntajes por segmento para criterio de facilidad de implementación**

Segmento vehicular	Facilidad de implementación
Vehículos livianos de uso particular	2
Motocicletas	2
Vehículos livianos de servicio público	4
Vehículos de pasajeros	5
Vehículos de carga	3

Fuente: Steer, 2020.

- 11.15 Luego de tener los puntajes para cada uno de los criterios, estos se suman para obtener el puntaje total de cada segmento; aquel segmento que tenga un mayor puntaje es el segmento priorizado.

## Resultados

- 11.16 En la siguiente tabla se presentan los resultados de la priorización

**Tabla 11.3: Resultados de la priorización**

Segmento vehicular	Energéticos	Salud	Ambiental	Facilidad de Implementación	Puntaje
1. Vehículos livianos de servicio público	5	3	5	4	17
2. Vehículos de pasajeros	3	5	2	5	15
3. Motocicletas	4	4	3	2	13
4. Vehículos livianos de uso particular	2	2	4	2	10
5. Vehículos de carga	1	1	1	3	6

Fuente: Steer, 2020.

- 11.17 De acuerdo con estos resultados, el segmento priorizado debe ser el de vehículos livianos de servicio público, seguido de vehículos de pasajeros y motocicletas. En la cuarta posición se encuentran los vehículos livianos de uso particular y por último los vehículos de carga.

### Análisis de sensibilidad

- 11.18 Como ejercicio adicional a la priorización realizada, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad. Este análisis incluye la ponderación de los criterios. A continuación, se presentan los resultados.

**Tabla 11.4: Análisis de sensibilidad – Ponderación en impactos de salud pública**

Segmento vehicular	Energéticos	Salud	Ambiental	Implementación	Puntaje
1. Vehículos de pasajeros	3	25	2	5	35
2. Motocicletas	4	20	3	2	29
3. Vehículos livianos de servicio público	5	15	5	4	29
4. Vehículos livianos de uso particular	2	10	4	2	18
5. Vehículos de carga	1	5	1	3	10

Fuente: Steer, 2020.

**Tabla 11.5: Análisis de sensibilidad – Ponderación en costos de energéticos**

Segmento vehicular	Energéticos	Salud	Ambiental	Implementación	Puntaje
1. Vehículos livianos de servicio público	25	3	5	4	37
2. Motocicletas	20	4	3	2	29
3. Vehículos de pasajeros	15	5	2	5	27

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 | Productos 1 al 6

Segmento vehicular	Energéticos	Salud	Ambiental	Implementación	Puntaje
4. Vehículos livianos de uso particular	10	2	4	2	18
5. Vehículos de carga	5	1	1	3	10

Fuente: Steer, 2020.

**Tabla 11.6: Análisis de sensibilidad – Ponderación en impactos ambientales**

Segmento vehicular	Energéticos	Salud	Ambiental	Implementación	Puntaje
1. Vehículos livianos de servicio público	5	3	25	4	37
2. Vehículos livianos de uso particular	2	2	20	2	26
3. Motocicletas	4	4	15	2	25
4. Vehículos de pasajeros	3	5	10	5	23
5. Vehículos de carga	1	1	5	3	10

Fuente: Steer, 2020.

**Tabla 11.7: Análisis de sensibilidad – Ponderación en facilidad de implementación**

Segmento vehicular	Energéticos	Salud	Ambiental	Implementación	Puntaje
1. Vehículos de pasajeros	3	5	2	25	35
2. Vehículos livianos de servicio público	5	3	5	20	33
3. Motocicletas	4	4	3	10	21
4. Vehículos de carga	1	1	1	15	18
5. Vehículos livianos de uso particular	2	2	4	10	18

Fuente: Steer, 2020.

- 11.19 De las tablas anteriores se observa que al ponderar los impactos en salud pública y facilidad de implementación el segmento de vehículos de pasajeros pasa a ser el priorizado. Sin embargo, al ponderar el costo de los energéticos y los impactos ambientales el segmento de vehículos livianos de servicio público sigue siendo el segmento por priorizar.

### Consideraciones para la interpretación de resultados

- 11.20 Si bien los resultados presentados en este capítulo priorizan segmentos vehiculares, **se recomienda adelantar acciones en paralelo en todos los segmentos** y de ser posible intervenciones transversales que faciliten el ascenso tecnológico del parque automotor en el país. A continuación, se presentan actuaciones facilitadoras identificadas para este propósito.
- 11.21 Sobre el segmento de carga, aunque la priorización tiene en cuenta impactos en salud pública y emisiones contaminantes, es importante tener presente el impacto a la salud de la población que los vehículos de carga generan por exposición directa al material particulado, en especial en las aglomeraciones urbanas, los cuales no se evidencian en el presente estudio dada la escala de análisis a nivel país. En ese sentido y en línea con la recomendación de adelantar acciones en todos los segmentos, se recomienda priorizar acciones que promuevan el reemplazo de camiones de menos de 10.5 ton de capacidad en zonas urbanas, donde existe mayor facilidad para la implementación de un programa de ascenso tecnológico.
- 11.22 Por otra parte, y como se ha presentado a lo largo del estudio el parque automotor del país tiene una gran proporción de vehículos livianos y motocicletas, segmentos que explican en gran parte las emisiones atmosféricas contaminantes y el consumo energético del sector transporte. En sentido en la medida que se logre disminuir la tasa de crecimiento del este segmento se reducirá el consumo energético y la generación de emisiones, lo cual es posible promoviendo un transporte público de calidad en las ciudades. Este tipo de acciones se pueden iniciar a implementar de manera inmediata en las ciudades que han comenzado el ascenso tecnológico de la flota de transporte público en los últimos años.
- 11.23 Adicionalmente, como se expone en el capítulo de recomendaciones, existen motores de cambio comunes en los diferentes segmentos, lo cual evidencia sinergias que pueden facilitar la implementación de las medidas y maximizar su impacto. De esta forma, intervenciones identificadas para vehículos livianos de servicio público pueden impulsar el ascenso tecnológico en vehículos privados, por lo cual se recomienda que promuevan las intervenciones transversales.
- 11.24 Una manera de lograrlo es realizar intervenciones a nivel geográfico, de manera que se generen “ecosistemas” en los cuales se atiendan diferentes segmentos vehiculares. Un ejemplo de esto puede ser el despliegue de infraestructura de abastecimiento de energía eléctrica en un corredor vial que atienda demanda de vehículos livianos, buses y camiones; o intervenciones en zonas urbanas que tengan a los taxis como fase inicial de implementación y contemplar la prestación de servicio para vehículos de carga o vehículos privados en fases posteriores e incluso simultánea.

## 12 Barreras y recomendaciones para el ascenso tecnológico de la flota vehicular del país

- 12.1 Con base en los análisis realizados previamente, en el presente capítulo se describen las principales barreras identificadas para el ascenso del parque automotor de Colombia a tecnologías de bajas y cero emisiones, así como recomendaciones encaminadas a superar estas barreras. No obstante, se aclara que su implementación no es garantía de resultado alguno.
- 12.2 En este aparte del documento se resumen las principales barreras identificadas en cada segmento, basados en las diferentes entrevistas a actores del sector transporte y energía, encuestas a usuarios de vehículo privado, entidades de gobierno nacional, entes gestores de sistemas de transporte masivo y fabricantes.

### Barreras

- 12.3 El crecimiento del mercado de vehículos livianos esta dado principalmente por el crecimiento económico del país y el crecimiento de la población. En ese sentido la decisión de compra de vehículos particulares es individual y depende de factores que se analizaron en la encuesta de preferencias declaradas realizada en el marco de este estudio, permitiendo evidenciar que existen barreras de tipo tecnológico, de competitividad de precios de adquisición, de conocimiento y percepción social de los energéticos y de las tecnologías vehiculares de bajas y cero emisiones, así como de política pública.
- 12.4 Para el caso de los vehículos livianos de servicio público las barreras para el ascenso tecnológico de la flota están determinadas en gran medida por los requerimientos operacionales de este tipo de vehículos, en los cuales se recorre un alto número de kilómetros diarios. Por lo tanto, la disponibilidad de puntos de recarga es factor crítico a la hora de elegir un energético. Así mismo, la oferta de servicios de mantenimiento para vehículos de gasolina y diésel actualmente es muy amplia, lo cual reduce el tiempo en el cual el vehículo no puede operar en caso de que requerir mantenimiento preventivo o correctivo.
- 12.5 El mercado de buses que es definido en gran medida por el transporte público, a diferencia de los vehículos livianos o los vehículos de carga y dependiendo de una “masa crítica”, puede responder a especificaciones particulares de una ciudad, país o región. Un ejemplo de esto son los vehículos articulados de plataforma alta que pueden catalogarse de producción exclusiva para sistemas BRT. Dicha exclusividad o modelo único incluye entre otras variables la dimensión del vehículo, la disposición de las puertas, la altura de acceso, la autonomía, la capacidad y la tecnología del motor, tema que nos ocupa en el presente análisis. La falta de estandarización tiene impacto en la

oferta disponible y en una reducción de los precios de Capex por economías a escala. Para la entrada de buses eléctricos se requieren adecuaciones de patios y estaciones de carga que resultan costosas y se suma a la diferencia de precios de los vehículos

- 12.6 En el caso de los vehículos de carga éstos se dividen en dos grandes grupos: los camiones y volquetas y, los tractocamiones. Esta división obedece al tamaño de los vehículos y también al tipo de operación. Los tractocamiones generalmente tienen recorridos más largos pues cubren viajes intermunicipales, mientras que los camiones pueden cubrir viajes urbanos e interurbanos. Las principales barreras relacionadas con este segmento son la baja disponibilidad de tecnologías vehiculares, la gran diferencia de precios de los vehículos de baja emisión frente a los convencionales, la infraestructura de carga, la oferta de mantenimiento y repuestos especializados.
- 12.7 El Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) es uno de los insumos principales de este estudio. Sin embargo, a lo largo de las consultas realizadas se encontraron diversos problemas de calidad y disponibilidad de la información, en especial en atributos vehiculares de gran relevancia para los análisis realizados. Se observó que un porcentaje muy pequeño de los vehículos constan de un estándar de nivel de emisiones registrado, lo cual se considera crucial en el diagnóstico energético del parque automotor del país. Así mismo, se encontraron inconsistencias no menores en el combustible asignado a los vehículos, como también en la marca, línea y modelos registrados, factores cruciales a la hora de analizar el mercado nacional.
- 12.8 A continuación, se presentan las barreras encontradas para todos los segmentos vehiculares en Colombia.

#### **Política pública**

- 12.9 En relación con la política pública, a partir de los resultados de la encuesta realizada para el segmento vehicular de vehículos livianos de uso privado, se encontró que dentro de los factores que condicionan la decisión individual de cambio tecnológico, el precio de compra del vehículo es uno de los más determinantes y por lo tanto las medidas para incentivar la compra de vehículos de cero y bajas emisiones deberían tener un impacto en este factor. Actualmente los precios de adquisición de los vehículos de cero y bajas emisiones son, en promedio, cerca de 3 veces mayores a aquellos a gasolina para para las tres clases vehiculares analizadas (automóviles, camionetas y camperos, y motocicletas).
- 12.10 El factor del precio del vehículo resultó más relevante para las personas que adquieren motocicletas, lo que puede relacionarse con el perfil socioeconómico de quienes las compran, ya que sus principales compradores son personas que viven en hogares de estrato socioeconómico de 1 a 3.
- 12.11 En el caso de los vehículos livianos de transporte público se evidencia que no existen políticas relacionadas con incentivos asociados al ascenso tecnológico de la flota. A nivel municipal, es posible implementar medidas que promueva la compra de vehículos de cero y bajas emisiones, sin embargo, actualmente no hay lineamientos ni normatividad asociada estas políticas.
- 12.12 A diferencia del mercado de los vehículos particulares, donde los fabricantes responden a la aspiración del usuario por un producto, en el caso de los buses los fabricantes responden a los

requerimientos de las autoridades de transporte, que basados en estándares de calidad de servicio definen las características de los vehículos de transporte público.

- 12.13 Por esta razón, la composición del parque automotor para el servicio de transporte público se define a través de las especificaciones técnicas dadas por autoridades de transporte o entes gestores de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo SITM, Sistemas Estratégicos de Transporte Público SETP y el transporte público colectivo de las ciudades, y en el caso del transporte intermunicipal, por el Ministerio de Transporte. En este sentido, se identifica como barrera la falta de uniformidad en política pública del gobierno nacional y los entes territoriales para promoción de flota de tecnología de bajas y cero emisiones.
- 12.14 Uno de los elementos que restringe la migración de tecnología vehicular es la vida útil legal de las unidades, la cual actualmente está definida en 20 años. Esta situación ha permitido que una ciudad pionera en políticas de transporte público como Bogotá haya llegado a tener lotes de flota con edad de hasta 18 años operando.
- 12.15 Una barrera importante, transversal a todos los segmentos vehiculares es la falta de difusión de los beneficios e incentivos disponibles para promover el uso de vehículos de cero y bajas emisiones. Esto, acompañado de un entendimiento escaso del funcionamiento de estas tecnologías es una barrera en el momento de la compra del vehículo. Esta barrera es especialmente relevante para el segmento de los vehículos de uso privado dado que, si las personas desconocen la tecnología vehicular y sus implicaciones, optan por tomar decisiones considerando únicamente las opciones conocidas o tradicionales, evidenciando una resistencia a lo desconocido.
- 12.16 En general, para todas las tecnologías de cero y bajas emisiones hace falta definir una política clara de despliegue de la red de recarga. En este sentido, es importante generar una red en los corredores principales que permita realizar viajes de largo alcance. En temas urbanos, hacen falta lineamientos para definir responsables del desarrollo de la red y normatividad para la carga en propiedad privada y en parqueaderos públicos en los casos de la energía eléctrica, y los energéticos que está promoviendo el Gobierno Nacional como el GLP vehicular.
- 12.17 Los resultados de la estimación de los modelos de cambio tecnológico de vehículos privados, tanto de motocicletas como de automóviles, y camionetas y camperos, evidenció que la disponibilidad de las estaciones de recarga influyen positivamente la utilidad percibida por las personas que los compran, y aumentan la probabilidad de elección de un vehículo con tecnologías para las cuales haya una red de recarga robusta y cercana en oferta a la de estaciones de gasolina y diésel con que cuenta Colombia actualmente.
- 12.18 En el caso de la energía eléctrica no existe estandarización de conectores de recarga. Así mismo, la tarifa de recarga pública paga contribución, lo cual significa que resulta menos costo realizar la carga del vehículo en viviendas de estratos que no paguen contribución.
- 12.19 En cuanto a la Ley de Movilidad Eléctrica es importante realizar un adecuado acompañamiento a las entidades territoriales para el entendimiento y aplicación de esta, pues no es clara como se deben aplicar los beneficios, por ejemplo, en temas de estacionamientos.
- 12.20 La ley 1964 del 2019 por medio de la cual "se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones" presenta los esquemas de promoción al uso de vehículos

eléctricos (VE) y de cero emisiones, con el fin de contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. No obstante, esta ley omite el reconocimiento explícito de vehículos públicos de transporte de carga en el planteamiento de metas e incentivos que promuevan esfuerzos para lograr la transformación en este segmento.

- 12.21 En el PROURE actualmente vigente, se omite el reconocimiento explícito de vehículos públicos de transporte de carga eléctricos como beneficiarios de los incentivos tributarios.

### **Especificaciones técnicas**

- 12.22 En articulación con los requerimientos técnicos de vehículos de pasajeros, los procesos de incorporación de flota recientes que adelantan nuestras ciudades se basan en especificaciones estándar de buses diésel, especialmente en lo asociado con la autonomía, descartando la revisión de especificaciones dada una tecnología deseada en el sistema de transporte y el requerimiento operacional puntual. Esta situación podría estar generando ineficiencias en los procesos de adquisición y operación de la flota.
- 12.23 En el caso de los vehículos livianos de uso particular, para las tres clases vehiculares analizadas, se encontró que el desarrollo tecnológico que repercute positivamente en la autonomía vehicular aumenta la probabilidad de elección de compra de un vehículo de bajas y cero emisiones.
- 12.24 Los compradores no cuentan con información de la eficiencia energética y el rendimiento de los vehículos de manera comprensible y explícita como parte de las especificaciones técnicas comparables entre tecnologías, para tomar decisiones de adquisición.
- 12.25 Por otro lado, para el segmento de las motocicletas, se encontró que una de las barreras para el cambio tecnológico es el enfoque del desarrollo tecnológico per se, ya que éste se ha enfocado en crear y mejorar a las motocicletas eléctricas e híbridas, y no se han considerado tecnologías tales como GNV o hidrógeno.
- 12.26 Los vehículos de carga, como se mencionó anteriormente, tienen requerimientos operacionales exigentes ya que demandan una alta potencia del motor y una autonomía importante debido a los largos trayectos que recorren, especialmente los tractocamiones. En este sentido, el ascenso tecnológico está limitado solo a vehículos que tengan rutas establecidas por corredores en los cuales se tenga asegurado el suministro del energético. Adicionalmente, la oferta de tecnologías vehiculares para este segmento es una barrera muy significativa que condiciona la masificación de vehículos de cero y bajas emisiones.

### **Industria**

- 12.27 La ausencia de política estandarizada sobre los vehículos de transporte público de pasajeros genera un efecto indirecto en la cadena de producción de buses, que al no tener señales claras sobre la migración de tecnologías no pueden incluir con certeza en sus planes la producción y comercialización de vehículos de bajas y cero emisiones. Esta incertidumbre restringe la planeación de producción o importación de unidades para atender la demanda de buses en el país.
- 12.28 Un ejemplo palpable de esta situación es el de las carroceras nacionales que en la actualidad fabrican carrocerías en acero. Para el caso de algunas tecnologías es deseable producir las

carrocerías en aluminio, esto implica cambiar líneas de producción cuya viabilidad financiera requiere que se conforme una “masa crítica” de producción.

- 12.29 Para los demás segmentos de vehículos, las capacidades de mantenimiento especializado, producción e importación de partes, y la oferta de infraestructura asociada (por ejemplo, equipamientos de carga), resultan inexistentes o muy incipientes en el país.

### **Capital humano**

- 12.30 Uno de los aspectos relevantes que acompaña la implementación de nuevas tecnologías es la disponibilidad del personal capacitado para la operación y mantenimiento de los vehículos. En este aspecto, se evidencia escasez de personal idóneo para el mantenimiento.
- 12.31 En el caso del transporte público la capacitación de personal se ha venido dando de la mano de la implementación de la operación, más no como parte de un proceso formal planeado del sector educación, de manera que el conocimiento de se está quedando en pocas personas que trabajan directamente con los operadores.
- 12.32 A su vez, está comprobado que eco-conducción mejora la eficiencia energética, ahorra costos y alarga la vida útil de los vehículos. La formación de los conductores nacionales es precaria y no hay una oferta robusta para formar estas capacidades.

### **Procesos de acceso a beneficios por la tecnología**

- 12.33 La duración de procesos de nacionalización, homologación y exención de impuestos para los vehículos de cero y bajas emisiones resulta en ocasiones excesiva.
- 12.34 No hay suficiente difusión de los programas del gobierno para incentivar renovación del parque automotor y ascenso tecnológico. Hay un gran desconocimiento de los beneficios ofrecidos y las condiciones de participación. Adicionalmente, los trámites pueden ser complejos con lo que se limita aún más el acceso a los propietarios de vehículos susceptibles de cambio.

### **Recomendaciones para cada segmento vehicular**

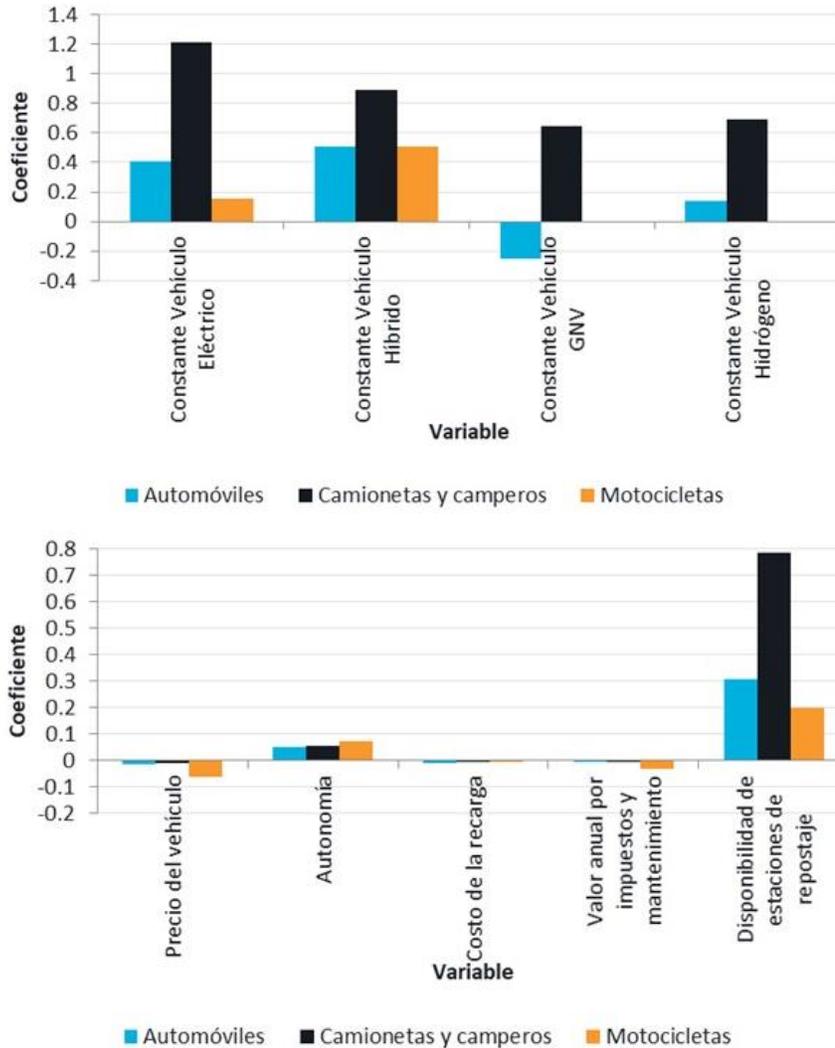
- 12.35 Basados en las barreras presentadas anteriormente y en las oportunidades identificadas, en los siguientes apartes se exponen recomendaciones por segmento vehicular.

### **Vehículos livianos de uso particular**

- 12.36 Para establecer los factores determinantes en la decisión de adquirir un vehículo liviano de uso particular, se realizó una encuesta de preferencias declaradas a propietarios o potenciales propietarios de vehículos. Con base en los resultados de esa encuesta se plantean las recomendaciones.



Figura 12.2: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico



Fuente: Steer, 2020.

- 12.39 La figura anterior ilustra la función de utilidad de elección que se describe a continuación con el análisis para una camioneta o campero híbrido en comparación con otro vehículo del mismo tipo, pero a gasolina.

$$\begin{aligned}
 U_{Camionetahib} = & 0.89129 - 0.01127 \cdot \text{precio} + 0.05357 \cdot \text{autonomía} - 0.00214 \\
 & \cdot \text{costo recarga} - 0.00018 \cdot \text{valor anual} + 0.78385 \\
 & \cdot \text{disponibilidad de estaciones} + \varepsilon_{in}
 \end{aligned}$$

- 12.40 En la función se toma la constante del vehículo híbrido de camionetas y camperos que indica que una camioneta o campero híbrido es más atractivo que uno de gasolina en 0.89129 por su tecnología. La función muestra una correlación negativa pero marginal entre la utilidad y las variables de costo: de precio, el costo de la recarga y, el valor anual por impuestos y mantenimiento. Por el contrario, la correlación es positiva entre la utilidad y la autonomía y la disponibilidad de estaciones de repostaje, en este último caso, la atractividad de muy significativa.

12.41 En ese sentido, una de las recomendaciones más importantes para el incentivo del ascenso tecnológico es la promoción, facilitación e inversión en la infraestructura de repostaje para las tecnologías de bajas y cero emisiones.

*Potencial de ascenso: probabilidad de cambio a tecnologías de baja o cero emisiones*

12.42 La modelación permitió observar que las tecnologías vehiculares de bajas y cero emisiones son atractivas para la población. El potencial de ascenso tecnológico de vehículos livianos de uso privado podría representar participaciones superiores al 36% en años tempranos y alcanzar un 73% del total de vehículos nuevos hacia 2050 en Colombia, si los supuestos de precio del vehículo, disponibilidad de estaciones y autonomía se materializaran en los horizontes de modelación. Considerando la clase vehicular, se encontró que hay un potencial de ascenso diferenciado:

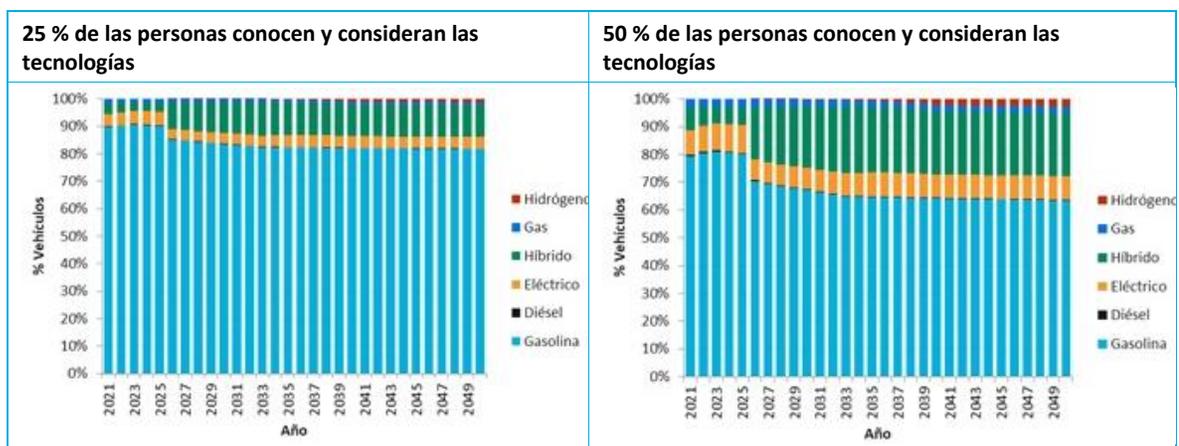
- Automóviles: comprendido entre 65% y 86 % de los automóviles nuevos entre 2021 y 2050
- Camperos y camionetas: comprendido entre 76% y 92% de las camionetas nuevas entre 2021 y 2050
- Motocicletas: comprendido entre 21% y 64 % de las motocicletas nuevas entre 2021 a 2050

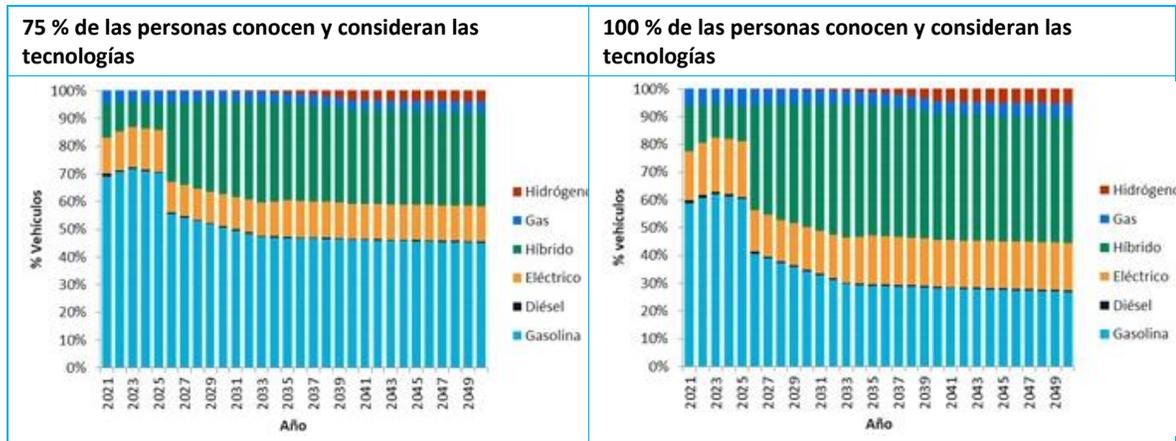
*Información sobre tecnologías*

12.43 Los cálculos anteriores tuvieron en cuenta el supuesto de que el 100% de las personas que se enfrentan a la decisión de comprar un vehículo nuevo conocen y consideran todas las tecnologías vehiculares evaluadas y que hacen una evaluación consciente de esto. Al analizar los comentarios registrados en la encuesta por parte de los respondientes se infiere que una de las barreras para el ascenso tecnológico es el conocimiento de estas tecnologías, sus beneficios e implicaciones.

12.44 A continuación, se presenta un análisis de sensibilidad del cambio tecnológico de vehículos livianos de uso privado según el porcentaje de personas que conocen y consideran nuevas tecnologías en el momento de comprar un automóvil nuevo.

**Figura 12.3: Sensibilidad del escenario 1 de cambio tecnológico de vehículos de uso privado según variación del % de personas que conocen y consideran tecnologías vehiculares de bajas y cero emisiones**





Fuente: Steer, 2020.

- 12.45 El resultado de la sensibilidad evidencia la importancia de la divulgación de las nuevas tecnologías de cero y bajas emisiones dado que el potencial de ascenso tecnológico presentado anteriormente está condicionado a la información que tenga la persona que compre el vehículo y que realmente la considere como una posibilidad.
- 12.46 En el caso de que sólo el 25% de la población esté familiarizado con estas tecnologías y las considere en la compra, asumido uniforme desde 2020 a 2050, se encontró que la participación máxima de estas tecnologías sería de 18% dentro del total de vehículos nuevos en 2050.

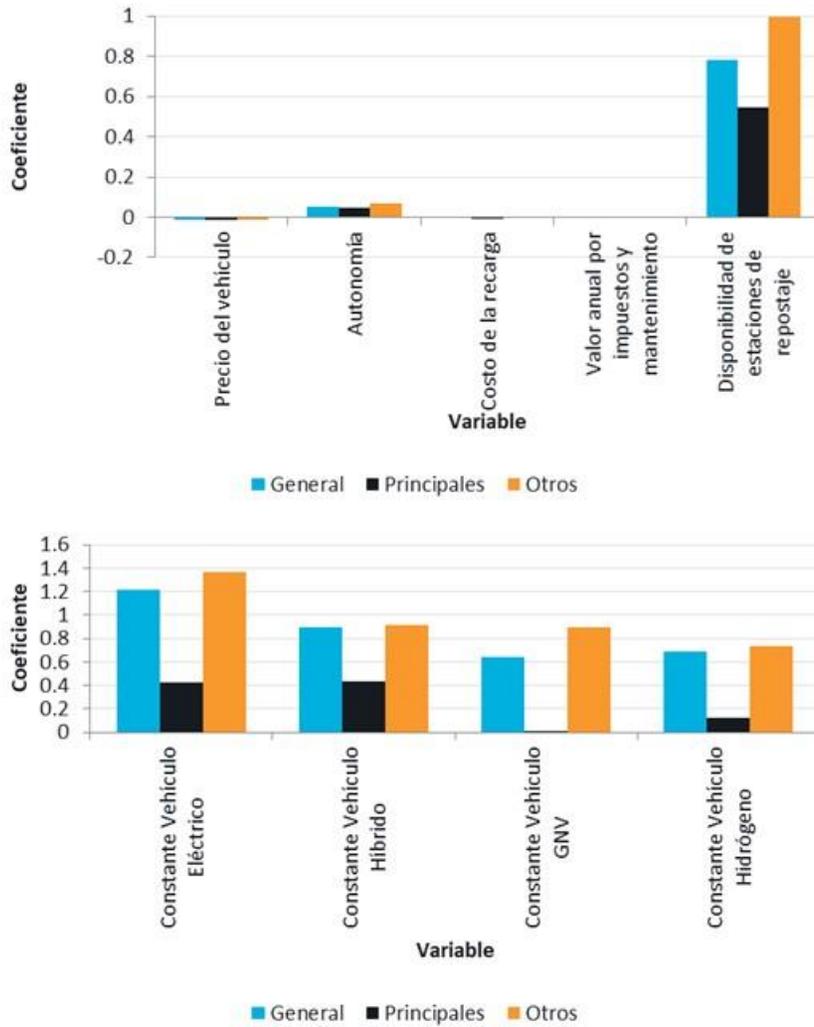
*Jerarquía de las condiciones de cambio*

- 12.47 Según la encuesta, los ciudadanos dan prioridad a los descuentos y beneficios en el pago de impuestos vehiculares y la disponibilidad de mantenimiento especializado, repuestos y reparaciones, así como la disponibilidad de infraestructura de recarga.
- 12.48 Medidas tales como la excepción del pico y placa para vehículos de bajas y cero emisiones, la oferta de estacionamiento gratuito y carriles de circulación prioritarios para sus propietarios ocuparon los últimos lugares. Este resultado puede deberse a que actualmente en el territorio nacional no se tienen medidas generalizadas de restricción a la circulación vehicular.

*Análisis territorial*

- 12.49 Desde el punto de vista territorial, se encontró que las acciones, políticas, proyectos y programas para incentivar el ascenso tecnológico deben contemplar las particularidades de los diferentes territorios del país, dado que se encontraron algunas diferencias en las estimaciones de las funciones de cambio tecnológico discriminando si la persona encuestada es residente de una de las ciudades principales o si reside en otros territorios, estas diferencias fueron más evidentes al observar los resultados para la clase vehicular de camionetas y camperos.

**Figura 12.4: Coeficientes del modelo de cambio tecnológico de camionetas y camperos discriminando lugar de residencia**



Fuente: Steer, 2020.

- 12.50 En conclusión, para incentivar el ascenso tecnológico en los vehículos livianos de uso particular, la variable más importante es garantizar la oferta de infraestructura de carga. Así mismo, es importante mantener los beneficios tributarios derivados de la ley de movilidad eléctrica y del PROURE que reducen el precio al comprador final, hasta tanto los precios de las nuevas tecnologías sean competitivos.
- 12.51 Por último, es necesario mejorar los mecanismos de capacitación y difusión de las características de los vehículos respecto de sus condiciones operativas, el rendimiento, la adaptación a las condiciones viales y topográficas nacionales, la eficiencia energética y las emisiones para acelerar la transformación.

### **Vehículos livianos de servicio público**

- 12.52 Este segmento vehicular beneficios potenciales significativos en caso de realizar un adecuado proceso de ascenso tecnológico. Según los resultados del análisis de priorización, específicamente los criterios de reducción de costos de energéticos y reducción de costos ambientales tienen un potencial importante para este segmento.
- 12.53 Los escenarios que presentan ahorros significativos son aquellos en los cuales los precios de los vehículos de tecnologías de cero y bajas emisiones son comparables a los de los vehículos de combustibles líquidos de origen fósil. Por lo tanto, las acciones en pro de una reducción en el costo de adquisición de los vehículos tendrían un impacto importante en el ascenso tecnológico.
- 12.54 De acuerdo con el análisis de escenarios, se estima que para este segmento los vehículos eléctricos e híbridos tengan una participación importante en el mercado, llegando a alcanzar entre 25% a 35% del mercado dependiendo de las medidas que se implementen. Es importante anotar que energéticos como el GLP podrían tener una participación en este segmento vehicular en caso de que las políticas y normativa del país logren viabilizar la masificación de este energético para uso vehicular. El GNV, como energético de bajas emisiones, sigue teniendo una participación importante en este segmento.
- 12.55 Es importante mencionar que los vehículos de hidrógeno podrían tener una participación importante en este segmento en el largo plazo, esto aumentaría los beneficios potenciales del ascenso tecnológico. Por lo tanto, es primordial que el país logre avanzar en aspectos técnicos, normativos y financieros para incorporar este energético una vez la tecnología vehicular esté disponible.
- 12.56 Con relación a la clases vehiculares y modalidades de transporte dentro de este segmento se recomienda iniciar al proceso de ascenso tecnológico por los vehículos que operan a nivel urbano, específicamente los vehículos tipo taxi dada la facilidad de despliegue de una red de suministro de energéticos.
- 12.57 A continuación, se presentan las acciones y medidas recomendadas para el ascenso tecnológico de este segmento vehicular:
- Generar incentivos para la reducción del costo de adquisición de vehículos.
  - Impulsar campañas de promoción de beneficios de tecnologías de cero y bajas emisiones enfocadas en desmitificar las barreras asociadas con estas tecnologías vehiculares.
  - Aumentar la oferta de formación académica para técnicos en mantenimiento de vehículos de cero y bajas emisiones.
  - Ofrecer apoyo técnico a los municipios para generar políticas de inclusión de flota de taxis de cero y bajas emisiones, por ejemplo, facilidades para habilitar un cupo o reducción de impuestos de rodamiento.
  - Implementar campañas de sensibilización para usuarios y propietarios sobre los beneficios asociados a vehículos de cero y bajas emisiones.
  - Generar esquemas de beneficios para conductores de vehículos de cero y bajas emisiones.
  - Establecer lineamientos técnicos a nivel nacional para el ascenso tecnológico de la flota.
  - Desarrollar políticas de entrada de nueva flota de vehículos de servicio público que cumplan con requisitos de cero y bajas emisiones.

- Construir una política de sustitución de los vehículos de mayor antigüedad y los más contaminantes.
- Promover convenios con estaciones de servicio de energéticos de bajas y cero emisiones, dando la prioridad a electrolineras, estaciones con GNV, GLP y estaciones de servicio de hidrógeno, cuando estas existan.
- Realizar mesas de trabajo de regulación de energéticos de bajas y cero emisiones con agremiaciones de taxis y transporte especial.
- Analizar la oportunidad de mercado de aplicar tarifas diferenciales por uso de tecnologías más limpias y eficientes.
- Promover convenios con talleres mecánicos y profesionales automotrices para la realización de mantenimientos preventivos, reparación y cambio de piezas en vehículos de cero y bajas emisiones.
- Realizar capacitaciones a operarios y conductores de vehículos en eco conducción y uso eficiente y responsable de los vehículos de bajo y cero emisiones.
- Aumentar la cobertura y disponibilidad de energéticos de cero y bajas emisiones en las ciudades, por medio de estaciones de servicio públicas o convenios con empresas privadas.
- Fomentar la instalación de puntos de recarga eléctricos en centros de operación de empresas de taxis y transporte especial.

### **Vehículos de pasajeros**

- 12.58 Los resultados del análisis de priorización para el segmento de vehículos de pasajeros indican que existe un potencial importante en cuanto a reducción de costos asociados a salud pública, siendo este el segmento con un mayor potencial de reducción en este criterio. Específicamente los escenarios en los cuales se implementa una política de vida útil de máximo 12 años para la flota de transporte público urbano presentan una mayor reducción de costos. Es decir, que la implementación de esta política a nivel nacional lograría reducir beneficios potenciales significativos.
- 12.59 En cuanto a tecnologías, los vehículos eléctricos podrían un mercado potencial importante en este segmento que ya se está empezando a observar en algunos sistemas de transporte público del país. La Ley de Movilidad Eléctrica, al establecer acciones específicas para este segmento, ha logrado impulsar la implementación de flota eléctrica. Adicionalmente, las iniciativas de algunas ciudades del país también han estimulado el crecimiento del mercado y el interés de los fabricantes en el país para la importación de buses eléctricos, posicionando a Colombia como un país clave en la región para la masificación de esta tecnología vehicular.
- 12.60 Para acelerar el ascenso tecnológico hacia una movilidad eléctrica en este segmento se recomienda generar instrumentos de política direccionados y articulados desde el nivel nacional al ámbito local. Se propone la implementación de Planes Locales de Movilidad de Bajas y Cero Emisiones donde se reconocería la importancia de declarar la movilidad de cero emisiones como una política pública municipal ajustado al contexto local, buscando que ésta trascienda a todos los programas y proyectos que se planteen desde los planes de desarrollo municipales y departamentales.
- 12.61 En cuanto a la vida útil de los vehículos de transporte público, se sugiere tramitar ante el congreso la modificación de la Ley que permita la reducción de la vida útil. Sujeto a un estudio específico del

mercado, la tecnología, impacto en tarifa e impacto fiscal, se sugiere establecer un máximo de 15 años para tecnologías de cero emisiones y de 12 años para vehículos de combustión interna.

- 12.62 Se recomienda incentivar a nivel territorial análisis particulares para determinar especificaciones técnicas de flota a incorporar, haciendo énfasis en los requerimientos de autonomía mínima para cada ciudad o sistema de transporte.
- 12.63 En cuanto al sector industrial o de producción, basados en el supuesto de una uniformidad en las políticas públicas será que el gobierno envíe señales claras hacia la migración tecnológica que habrá en el país de manera que los involucrados en la cadena productiva se preparen para responder a la demanda futura de nuevas tecnologías.
- 12.64 Se sugiere impulsar desde el gobierno nacional eventos bianuales de la industria donde se anuncien los proyectos de adquisición de flota de transporte público. Esto con el objetivo que desde el gobierno se identifiquen sinergias entre los diferentes entes territoriales y promover que la industria se prepare para dar respuesta a la futura demanda, promoviendo la sana competencia.
- 12.65 Con el objetivo de facilitar la incorporación de las nuevas tecnologías vehiculares se recomienda evaluar en conjunto con los sectores de energía, comercio, transporte y educación las necesidades de formación técnica y profesional para responder a la demanda de la cadena de producción, operación y mantenimiento.
- 12.66 Se proponen dos líneas de acción para facilitar el acceso a beneficios:
- iv. La revisión de procesos encaminados a la aceleración o simplificación de procesos de nacionalización de equipos, homologación y exención de impuestos para tecnologías limpias.
  - v. Evaluación de traslado de beneficios a toda la cadena productiva de las tecnologías limpias, de manera que se extienda el beneficio que actualmente se da a los equipos (vehículos) a la carrocería, autopartes y suministros en general.
- 12.67 Adicionalmente, es importante impulsar medidas para mejorar la calidad del transporte público con el propósito de desincentivar el uso del vehículo privado para de esta manera lograr reducir costos asociadas al crecimiento del parque automotor de uso privado.
- 12.68 En este segmento se recomienda iniciar el ascenso tecnológico en las ciudades que cuentan con sistemas integrados de transporte masivo y sistemas estratégicos de transporte público. Esto teniendo en cuenta la formalidad del sector, que puede facilitar el acceso a eventuales beneficios en la financiación para la adquisición de vehículos.

### **Vehículos de carga**

- 12.69 Los resultados del ejercicio de priorización para los vehículos de carga sugieren mayores beneficios potenciales en los costos de energéticos y costos ambientales. Específicamente en los escenarios en los cuales se considera la masificación más temprana de tecnologías de cero y bajas emisiones se obtienen mayores beneficios asociados al segmento de vehículos de carga. Por lo tanto, las acciones para acelerar el ascenso tecnológico de ese segmento deberían enfocarse en promover la entrada de estas tecnologías al mercado colombiano una vez estas se encuentren disponibles.

- 12.70 Es importante mencionar que para este segmento las tecnologías vehiculares impulsadas por diésel de bajo contenido de azufre juegan un papel importante en la reducción de emisiones. Por lo tanto, es importante que el país continúe con la mejora de la calidad del diésel, promueva el cambio a tecnologías con estándares de emisiones Euro VI. Se recomienda diseñar un plan que promueva a futuro el suministro de combustible estándar internacional, similar al de países desarrollados, de manera que el sector energético esté alineado con el desarrollo de las nuevas tecnologías, incluyendo las que utilizan combustibles fósiles.
- 12.71 Como se mencionó previamente, el ascenso tecnológico de los vehículos de carga depende especialmente de la disponibilidad de tecnologías vehiculares, ya que actualmente la oferta es limitada y por lo tanto escasa en el contexto colombiano. Este es un factor externo sujeto al desarrollo del sector automotriz a nivel mundial. Sin embargo, a corto y mediano plazo se plantean una serie de medidas que podrían promover este ascenso tecnológico.
- Promoción de programas de conciencia y responsabilidad ambiental y reducción de la huella de carbono para grandes generadores de carga y transportadores con grandes flotas de vehículos.
  - Promoción y simplificación de trámites, para facilitar el acceso de los pequeños transportadores a los beneficios por eficiencia energética o modernización del parque automotor de carga.
  - Mecanismos de flexibilización de tasas, plazos y cuotas de los que necesitan crédito para adquirir un vehículo.
  - Revisión de política de sustitución de flota. Fortalecer el programa de renovación de flota, para incluir vehículos de menos de 10,5 Ton; facilitar el acceso al programa y; diseñar una política de financiamiento para los pequeños propietarios.
  - Estrategias y programas enfocados en carga de distribución urbana.
  - Despliegue de infraestructura de recarga en puntos de cargue y descargue.
  - Realizar un análisis detallado de los segmentos de carga que, debido a su operación definida, podrían realizar el ascenso tecnológico.
  - Desarrollo y consolidación de capacidades nacionales para atender las necesidades de la industria y las prácticas de eco conducción.
- 12.72 Adicionalmente, se recomienda incluir expresamente en el PROURE a los vehículos eléctricos para transporte de carga como beneficiarios de los beneficios tributarios para promover la eficiencia energética. Se recomienda modificar la ley 1964 del 2019 por medio de la cual "se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones" de manera que se reconozca explícitamente vehículos de transporte de carga en el planteamiento de metas e incentivos que promuevan esfuerzos para lograr la transformación en este segmento. Esto, teniendo en cuenta que es de los que más aporta a las emisiones contaminantes y que su transformación hacia la movilidad eléctrica potenciaría sustancialmente el logro de los objetivos nacionales.
- 12.73 Debido a que la masificación de vehículos de cero y bajas emisiones para este segmento es lenta, es importante generar políticas incentivar la compra de vehículos con estándares de emisiones más estrictos.

- 12.74 En cuanto al análisis por clase de vehículo se destaca la diferencia entre las volquetas, camiones y tractocamiones. El ascenso tecnológico para camiones puede potencialmente ser un proceso más rápido, específicamente al considerar los camiones de distribución urbana. Las experiencias internacionales sugieren que este tipo de vehículos tienen un gran potencial de ascenso tecnológico cuando se implementan políticas asociadas al cambio de flota para grandes empresas de distribución y al promover asociaciones con entidades privadas de la cadena de valor de los diferentes energéticos. Se identifica una mayor viabilidad en camiones menores a 10.5 t de capacidad de carga.

## Recomendaciones generales

- 12.75 En esta sección se presentan una serie de recomendaciones generales, que tienen como propósito acelerar y promover el ascenso tecnológico de todo el parque automotor. Como se mencionó previamente, se aclara que su implementación no es garantía de resultado alguno.

### Recomendaciones a nivel nacional

#### *Política pública*

- Formulación e implementación de política de vida útil para vehículos pesados de carga y pasajeros.
- Formulación e implementación de política de vida útil de baterías de vehículos eléctricos que incluya estrategias y acciones para disposición final de estas y de sistemas de almacenamiento.
- Promover el suministro de combustible de estándar internacional en el país, equivalente al de países desarrollados, de manera que el sector energético esté alineado con el desarrollo de las nuevas tecnologías, incluyendo las que utilizan combustibles fósiles.
- Promover la mejora de la calidad de la oferta de transporte público como medida para contener el crecimiento del uso de vehículos particulares

#### *Beneficios por la tecnología*

- Tratamiento flexible temporal de aranceles e IVA para tecnologías de cero y bajas emisiones. Trasladar beneficio para vehículos eléctricos a otras tecnologías vehiculares.
- Programa de etiquetado vehicular según el nivel de emisiones.
- Créditos más flexibles para compra de vehículos de cero y bajas emisiones, especialmente para grandes flotas.
- Mejorar el proceso para beneficios tributarios con la ANLA y la UPME. (estandarización y divulgación del proceso).

#### *Capital humano*

- Fortalecimiento de capacidades técnicas del sector privado para el ascenso tecnológico (servicios post venta) en articulación con programas de educación ofrecidos por el Sena.
- Implementar programas de eco-conducción.
- Implementar campañas de consumo inteligente y eficiente de energía.

#### *Promoción y divulgación*

- Implementación de tablero de seguimiento a la transición tecnológica en el país.
- Desarrollo de plataforma con información actualizada de puntos de recarga y tarifas para cada energético.

- Desarrollo de herramienta virtual para el cálculo de reducción de emisiones y reducción de costos de operación por tipología vehicular.
- Campañas de divulgación de incentivos y compensaciones disponibles para vehículos de cero y bajas emisiones.
- Implementación de programas de conciencia ambiental y reducción de huella de carbono a nivel empresarial.

#### *Proyectos específicos*

- Elaboración de estudios localizados para estimar el impacto de la movilidad eléctrica en la infraestructura de distribución.
- Evaluación y preparación de la infraestructura de distribución urbana en articulación con actores del sector energético.
- Desarrollo de hoja de ruta para el hidrógeno para uso vehicular.
- Estimar el impacto de nuevas formas de movilidad en el ascenso tecnológico de la flota.
- Definición de hoja de ruta para el uso de GLP vehicular y biocombustibles.
- Articulación con concesionarios viales para promover la implementación de infraestructura de recarga en corredores para incrementar la capacidad de carga a nivel interurbano.
- Garantizar el registro del estándar de emisiones de las distintas tipologías vehiculares en el Registro Único Nacional de Tránsito.
- Fortalecer la calidad del registro de información en el Registro Único Nacional de Tránsito a través de validaciones automáticas al momento del ingreso de los datos por parte de los funcionarios designados.

#### **Recomendaciones a nivel local**

- Implementar Planes Locales de Movilidad de Bajas y Cero emisiones dónde se reconocería la importancia de declarar la movilidad de cero emisiones como una política pública municipal ajustado al contexto local, buscando que esta trascienda a todos los programas y proyectos que se planteen desde los planes de desarrollo municipales y departamentales.
- Articulación con entidades territoriales para inclusión de temas relacionados con el ascenso tecnológico en Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Movilidad.
- Generación de lineamientos estratégicos por parte del sector transporte y energía para incluir en planes municipales, incluyendo temas definición de espacios para el desarrollo de infraestructura de recarga, autorización de gasolineras para incluir otros energéticos, etc.
- Generación de lineamientos estratégicos para Planes de Gestión de Cambio Climático y Planes de Calidad del Aire.
- Implementación de zonas de restricción vehicular o zonas de cero y bajas emisiones en áreas urbanas, en articulación con Planes Maestros de Movilidad.

12.76 Revisión de reducción de impuestos de rodamiento de acuerdo con el nivel de emisiones del vehículo.

## 13 Referencias

- Asociación Costarricense de movilidad eléctrica (2020). Boletines y publicaciones. Disponible en: <https://asomove.com/noticias>
- Asociación Nacional Automotriz de Chile (2020). Estudios de Mercado. Disponible en: <https://www.anac.cl/category/estudio-de-mercado/>
- ANDEMOS. (2020). *Cifras y estadísticas*. Obtenido de <http://www.andemos.org/index.php/cifras-y-estadisticas-version-2/>
- Bayona, G. (16 de 11 de 2019). *Estos son los beneficios de conducir carros eléctricos en Colombia*. Obtenido de Conexión Capital: <https://conexioncapital.co/estos-son-los-beneficios-de-conducir-carros-electricos-en-colombia/>
- Bloomberg. (2018). *La revolución del auto eléctrico está acelerando*. Obtenido de Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/latam/blog/la-revolucion-del-auto-electrico-esta-acelerando/>
- Calero, J. F. (12 de 01 de 2018). *EL HIDRÓGENO. ¿Solución de futuro? PARTE 1- Hidrógeno como combustible*. Obtenido de Club OnMotor: <https://www.youtube.com/watch?v=PC7uCLB-qgM>
- Cardoso, D., Fael, P., & Espírito-Santo, A. (2019). *A review of micro and mild hybrid systems*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248471930592X>
- Chen, W. L. (2019). A review of lithium-ion battery for electric vehicle applications and beyond. *Energy Procedia*, 4363-4368.
- Comisión Europea. (2016). *Estrategia europea a favor de la movilidad de bajas emisiones*. Bruselas.
- Compromiso con el Planeta. (2019). Obtenido de Enérgya VM: <https://www.energyavm.es/son-los-vehiculos-electricos-el-futuro-de-la-movilidad/>
- Costas, J. (2016). Usar biodiésel o aceite vegetal en vez de gasóleo en motores Diesel. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/usar-biodiesel-o-aceite-vegetal-en-vez-de-gasoleo-en-motores-diesel>
- DANE. (2020). *Dirección de Censos y Demografía, grupo de proyecciones*. Bogotá.
- David Plaza. (2020). *¿Cómo funciona un motor? Partes principales y tipos*. Obtenido de Motor: <https://www.motor.es/noticias/como-funciona-motor-202066339.html>
- Domínguez, J. C. (2018). La mezcla de biodiésel también subió al 10 %. (E. Tiempo, Ed.)

- EcuRed. (s.f.). *Automóvil de aire comprimido*. Obtenido de EcuRed:  
[https://www.ecured.cu/Autom%C3%B3vil\\_de\\_aire\\_comprimido](https://www.ecured.cu/Autom%C3%B3vil_de_aire_comprimido)
- Espada, B. (2019). *COCHES DE AIRE COMPRIMIDO: CÓMO FUNCIONAN, VENTAJAS Y DESVENTAJAS*. Obtenido de El Blog Verde: <https://elblogverde.com/coche-a-aire-comprimido/>
- European Commission. (s.f.). *Eurostat, World*.
- EV Trader. (2020). *EV Trader*. Obtenido de <https://evtrader.com>
- IEA & UPME. (2017). *Transición hacia el uso de vehículos de bajas y cero emisiones*. Bogotá.
- García Arbeláez, C. B. (2015). *El ABC de los compromisos de Colombia para la Cop 21*. Bogotá: WWF-Colombia.
- García, G. (15 de 12 de 2018). *Tipos de vehículos eléctricos: funcionamiento y características de cada tecnología*. Obtenido de Híbridos y Eléctricos:  
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/asi-funcionan-diferentes-tecnologias-vehiculos-electricos/20180921183150021994.html>
- García, G. (22 de 07 de 2019). *La tecnología de la pila de hidrógeno está lista, el transporte pesado es su baza*. Obtenido de Híbridos y Eléctricos:  
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/tecnologia-pila-hidrogeno-lista-transporte-pesado-es-baza/20190722133930029184.html>
- GERARD DE JONG, J. F. (2004). Comparison of car ownership models. *Transport Reviews*, 379-408.
- Gutiérrez, D. (2019). *Siglas de coches eléctricos: BEV, HEV, PHEV, MHEV, FCEV... ¿Qué significan?* Obtenido de Híbridos y Eléctricos:  
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/curiosidades/significado-siglas-coches-electricos/20190712192309029022.html>
- IEA. (2019). *The Future of Hydrogen*.
- IEA. (2020). Obtenido de Global EV Outlook 2020: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- IEA. (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- InsideEvs. (2019). *Global EV Sales In July 2019: Growth Almost Stalled*. Obtenido de <https://insideevs.com/news/367908/global-ev-sales-in-july-2019/>
- International Energy Agency. (2018). *Nordic EV Outlook 2018*. IEA.
- International Energy Agency. (2019). *Global EV Outlook*.
- International Energy Agency. (2019). *Global EV Outlook 2019*. IEA.
- International Energy Agency. (2019). *Global EV Outlook 2019*. IEA. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>
- International Energy Agency. (2020). *Global EV Outlook 2020*. IEA.

- International Energy Agency. (2020). *Global EV Outlook 2020*. IEA. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- International Sustainable Systems Research Center. (2010). International Vehicle Model. Obtenido de <http://www.issrc.org/ive/>
- Irle, R. (2019). *USA Plug-in Sales for 2019 YTD October*. Obtenido de EV-Volumes: <https://www.ev-volumes.com/country/usa/>
- Kenneth Button, N. N. (1993). Modelling Vehicle Ownership and Use in Low Income Countries. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 27, 51-67.
- Love Sharing. (2020). *CÓMO FUNCIONA UN MOTOR ELÉCTRICO DE COCHE*. Obtenido de <https://www.lovesharing.com/como-funciona-un-motor-electrico-de-coche/>
- M., M. (s.f.). *COCHES QUE FUNCIONAN CON BASURA COMO COMBUSTIBLE*. Obtenido de Natura Medioambiental: <https://www.natura-medioambiental.com/coches-que-funcionan-con-basura-como-combustible/20>
- Market Watch. (2019). *Electric Motorcycles & Scooters Market 2019 Global Industry Forecasts Analysis, Company Profiles, Competitive Landscape and Key Regions Analysis Available at 360 Research Reports*. Obtenido de <https://www.marketwatch.com/press-release/electric-motorcycles-scooters-market-2019-global-industry-forecasts-analysis-company-profiles-competitive-landscape-and-key-regions-analysis-available-at-360-research-reports-2019-08-20>
- Martín, J. (2019). *El funcionamiento de un motor de combustión, paso a paso y en vídeo*. Obtenido de Motor Pasión: <https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video>
- McKinsey & Company. (2018). *The global electric-vehicle market is amped up and on the rise*. Obtenido de Mckinsey: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-global-electric-vehicle-market-is-amped-up-and-on-the-rise>
- Ministerio de Transporte. (2015). *Plan de acción sectorial de mitigación (PAS)*.
- Motorgiga. (2014). *Coches impulsados por basura*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=X8Tk4SPxZjk>
- movilidadelectrica.com. (2020). *Alemania aprueba ayudas para la compra de vehículos eléctricos. El gobierno alemán quiere llevar a cabo una recuperación verde que fomente la descarbonización de la economía, 1*.
- Murias, D. (12 de 03 de 2018). *Los motores son también clave en el desarrollo del coche eléctrico: no todo es cuestión de baterías*. Obtenido de Motor Pasión: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias>
- New York State Energy Research and Development Authority. (2019). *Benefit-Cost Analysis of Electric Vehicle Deployment in New York State*. New York: NYSERDA.

- OECD. (2020). *Real GDP forecast (indicator)*. doi: 10.1787/1f84150b-en (Accessed on 27 November 2020).
- Panadero, J. (26 de 04 de 2012). *Motores de aire comprimido, la energía alternativa*. Obtenido de Diario Motor: <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/04/26/motores-de-aire-comprimido-la-energia-alternativa/>
- Popovich, N., Albeck-Ripka, L., & Pierre-Louis, K. (15 de 10 de 2020). The Trump Administration Is Reversing Nearly 100 Environmental Rules. Here's the Full List. (N. Y. Times, Ed.) Obtenido de <https://www.nytimes.com/interactive/2020/climate/trump-environment-rollbacks-list.html>
- Pritchard, J. (2018). *Types of Electric Vehicles, Explained*. Obtenido de Autotrader.ca: <https://www.autotrader.ca/newsfeatures/20180410/types-of-electric-vehicles-explained/>
- Rafael Morales, M., & Hernández Guzmán, A. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>
- Redondo, M. (2019). *Nanoflowcell Quantino, un coche eléctrico que impulsa sus 136 CV con agua salada*. Obtenido de Híbridos y Eléctricos: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/nanoflowcell-quantino/20190706112851028849.html>
- Research and Markets. (2018). *Electric Bus Market by Vehicle Type, by Hybrid Powertrain, by Length, by Customer, by Country - Global Market Size, Share, Development, Growth, and Demand Forecast, 2013-2025*. Obtenido de [https://www.researchandmarkets.com/research/vj66c9/2018\\_electric\\_bus?w=12](https://www.researchandmarkets.com/research/vj66c9/2018_electric_bus?w=12)
- Research and Markets. (2019). *Electric Truck Market - Growth, Trends, And Forecast (2019 - 2024)*. Obtenido de [https://www.researchandmarkets.com/reports/4771946/electric-truck-market-growth-trends-and?utm\\_source=CI&utm\\_medium=PressRelease&utm\\_code=d2wwmp&utm\\_campaign=1273210+-+Global+Electric+Truck+Market+Outlook+2019-2024%3a+Driven+by+Stringent+Emission+Regulati](https://www.researchandmarkets.com/reports/4771946/electric-truck-market-growth-trends-and?utm_source=CI&utm_medium=PressRelease&utm_code=d2wwmp&utm_campaign=1273210+-+Global+Electric+Truck+Market+Outlook+2019-2024%3a+Driven+by+Stringent+Emission+Regulati)
- Research and Markets. (2019). *Electric Vehicle Market by Vehicle (Passenger Cars & Commercial Vehicles), Vehicle Class (Mid-priced & Luxury), Propulsion (BEV, PHEV & FCEV), EV Sales (OEMs/Models) Charging Station (Normal & Super) & Region - Global Forecast to 2030*. Obtenido de [https://www.researchandmarkets.com/reports/4792991/electric-vehicle-market-by-vehicle-passenger?utm\\_source=GNOM&utm\\_medium=PressRelease&utm\\_code=b6c7j3&utm\\_campaign=1282954+-+Global+Electric+Vehicle+\(EV\)+Market+Forecasts+to+2030+-+Market+Volume+Projected+](https://www.researchandmarkets.com/reports/4792991/electric-vehicle-market-by-vehicle-passenger?utm_source=GNOM&utm_medium=PressRelease&utm_code=b6c7j3&utm_campaign=1282954+-+Global+Electric+Vehicle+(EV)+Market+Forecasts+to+2030+-+Market+Volume+Projected+)
- Singh, S. J. (2015). Hydrogen: A sustainable fuel for future of the transport sector. *Renewable and sustainable energy reviews*, 51, 623-633.
- Tanner, J. S. (1983). International Comparisons of Car Ownership and Car Usage. *Transport and Road Research Laboratory Report*.

Terránea. (2019). *5 VENTAJAS Y 5 DESVENTAJAS DE UN COCHE ELÉCTRICO*. Obtenido de Terránea:  
<https://blog.terranea.es/ventajas-desventajas-del-coche-electrico/>

The White House President Barack Obama. (2016). *A Historic Commitment to Protecting the Environment and Addressing the Impacts of Climate Change*. Obtenido de  
[https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/obamawhitehouse.archives.gov/files/achievements/theRecord\\_climate\\_0.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/obamawhitehouse.archives.gov/files/achievements/theRecord_climate_0.pdf)

UPME. (2018). Primer balance de energía útil para Colombia y cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética .

UPME. (2019). *Plan Energético Nacional 2050*.

US Environmental Protection Agency – EPA. (2018). *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. Obtenido de <http://blogs.edf.org/climate411/2016/12/19/5-things-you-should-know-about-americas-clean-car-standards/>

V2C. (2020). *¿CUÁNTO TIEMPO TARDA EN CARGARSE UN COCHE ELÉCTRICO?* Obtenido de V2 Charge: <https://www.v2charge.com/es/cuanto-tiempo-tarda-en-cargarse-un-coche-electrico/#:~:text=El%20tiempo%20de%20carga%20var%C3%ADa,completas%20en%20%2D3%20horas.>

Vendrell, D. (2017). *Coche de combustión vs. coche eléctrico: ¿cuál gana?* Obtenido de Lease Plan Go: <https://www.leaseplango.es/blog/comparativa/coche-combustion-vs-coche-electrico-gana/>

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 | Productos 1 al 6

## HOJA DE CONTROL

### Preparado por

---

Steer  
Carrera 7 No.71-52 Torre A Oficina 904  
Edificio Carrera Séptima  
Bogotá D.C. Colombia  
+57 1 322 1470  
www.steergroup.com

### Preparado para

---

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME  
Calle 26 #69D-91, Torre 1 Piso 9, Bogotá D.C. Colombia

### Nº Proyecto/propuesta Steer

---

23918101

### Referencia cliente/nº proyecto

---

Contrato de consultoría 041 de 2020

### Autor

---

Steer

### Revisor/autorizador

---

AEH

### Otros colaboradores

---

ASO, JGA, ACR, LKI, MNG

### Distribución

---

Cliente: Steer:

### Versión

---

1

### Fecha

---

23/12/2020

