

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

# Estudio de impacto económico de las inversiones y el financiamiento para el recambio de flota de autobuses sostenibles en Costa Rica

Marcos Adamson y Georgina Cipoletta Tomassian



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

# Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

**Deseo registrarme**



NACIONES UNIDAS



[www.cepal.org/es/publications](http://www.cepal.org/es/publications)



[www.instagram.com/publicacionesdelacepal](http://www.instagram.com/publicacionesdelacepal)



[www.facebook.com/publicacionesdelacepal](http://www.facebook.com/publicacionesdelacepal)



[www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)



[www.cepal.org/es/publicaciones/apps](http://www.cepal.org/es/publicaciones/apps)

# Estudio de impacto económico de las inversiones y el financiamiento para el recambio de flota de autobuses sostenibles en Costa Rica

Marcos Adamson  
Georgina Cipoletta Tomassian



Este documento fue preparado por Marcos Adamson, Consultor, y Georgina Cipoletta Tomassian, Oficial de Asuntos Económicos de la Unidad de Financiamiento para el Desarrollo de la División de Desarrollo Económico de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). El trabajo fue desarrollado en el marco de la asistencia técnica al Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) de Costa Rica y como parte de las actividades del programa de apoyo para un gran impulso ambiental y del proyecto "Ciudades inclusivas, sostenibles e inteligentes en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe", ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania. Los proyectos forman parte del programa de cooperación CEPAL/BMZ-GIZ.

Los autores agradecen la guía y el apoyo de Esteban Pérez Caldentey, Jefe de la Unidad de Financiamiento para el Desarrollo de la División de Desarrollo Económico de la CEPAL. Asimismo, se agradece la participación a los siguientes funcionarios de Costa Rica: Pilar Garrido, Saskia Rodríguez, Francisco Tula, José Olegario Sáenz y Carlos Alonso von Marschall (MIDEPLAN), con quienes se mantuvo un activo seguimiento y cooperación durante la ejecución de este proyecto. Se extiende el agradecimiento a Carlos Manuel Rodríguez Echandi, ex Ministro de Ambiente y Energía de Costa Rica, quien atendió ampliamente consultas, asistió a reuniones y presentaciones y realizó comentarios sobre los avances del proyecto, así como también a las siguientes personas de entidades de Costa Rica: Jessica Martínez Porras, Roy Jiménez y Eduardo Brenes Mata (Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT)), Claus Kruse (GIZ-Costa Rica), Manuel Vega Villalobos (Consejo de Transporte Público (CTP)), Edward Araya, Daniel Fernández Sánchez y Eddy Víquez Murillo (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP)), Mauricio Barrantes Quesada (Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)), Ana Rita Chacón Araya (Instituto Meteorológico Nacional (IMN)), Esteban Bermúdez (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), Mauricio Bayona Pulido (Banco Interamericano de Desarrollo (BID)), Jeffrey Carmona (Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE)), Javier Bonilla (Instituto Nacional de Aprendizaje (INA)), Verena Aráuz (Consultora), Sergio Musmanni (Consultor), Pedro Dobles y Mario Chavarría (BYD-CR), y Sebastián Galarza (Centro Mario Molina de Chile), y a todos los participantes de las reuniones periódicas del Comité de Electrificación del Transporte Público (CETP).

Se reconoce a los economistas Santiago Céspedes, Leonardo Soto y Daniel Soto por su valiosa asistencia, colaboración y documentación. También se agradece al equipo de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL por su apoyo y colaboración en distintas etapas del trabajo.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de esta publicación no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas  
LC/TS.2022/183  
Distribución: L  
Copyright © Naciones Unidas, 2022  
Todos los derechos reservados  
Impreso en Naciones Unidas, Santiago  
S.22-00597

Esta publicación debe citarse como: M. Adamson y G. Cipoletta Tomassian, "Estudio de impacto económico de las inversiones y el financiamiento para el recambio de flota de autobuses sostenibles en Costa Rica", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/183), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

## Índice

Resumen .....	11
Introducción .....	13
<b>I. Electromovilidad, cambio climático y desarrollo: un desafío insoslayable de política pública</b> .....	17
A. El desafío de la electromovilidad .....	17
1. ¿Qué es la electromovilidad? .....	18
2. Tendencias en la electromovilidad .....	19
B. ¿Puede Costa Rica avanzar en la senda de la electromovilidad? .....	22
1. La reducción de emisiones de GEI .....	22
2. Mejoramiento de la movilidad urbana en el Área Metropolitana de San José .....	25
C. Experiencias internacionales relevantes .....	36
1. China .....	38
2. Chile .....	42
3. Brasil .....	43
<b>II. Análisis financiero y económico de tecnología de transporte eléctrico colectivo de pasajeros en Costa Rica</b> .....	47
A. Diferentes tecnologías alternas en autobuses .....	52
B. Análisis comparativos de estructuras de costos .....	54
1. Análisis financiero privado .....	54
2. Consideraciones para evaluaciones económicas .....	69
C. Resultados obtenidos .....	79
1. Resultados para el análisis financiero privado .....	80
2. Análisis financiero con políticas de internalización sobre GEI .....	84
3. Resultados de análisis y evaluaciones económicas .....	86
4. Resultados de análisis y evaluaciones según escenarios complementarios .....	90

D.	Importancia de la internalización y el papel del Sistema Nacional Financiero .....	97
E.	Alcance del proyecto en el empleo nacional y brechas de género .....	101
F.	Análisis del impacto sobre las tarifas por incorporación de buses eléctricos .....	107
G.	Análisis por ingresos tarifarios en rutas de buses concesionadas según tecnología diésel o eléctrica del bus .....	112
<b>III.</b>	<b>Análisis de dinámica económica y encadenamiento productivo del servicio de transporte colectivo de pasajeros en Costa Rica</b> .....	<b>115</b>
A.	Encadenamientos de la economía con base en la MIP 2017 .....	115
1.	Micro simulación ante la sustitución tecnológica del servicio NPO126 .....	124
2.	Comparación de productos según tipo de régimen de producción .....	127
<b>IV.</b>	<b>Análisis del Sistema Nacional Financiero y contextualización del financiamiento de unidades eléctricas en Costa Rica</b> .....	<b>131</b>
A.	Contexto económico de financiamiento en Costa Rica .....	131
1.	Comportamiento histórico de crecimiento económico .....	132
2.	El servicio de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis en Costa Rica .....	134
3.	Distribución de cartera crediticia según sector e institución bancaria .....	138
4.	Tasas activas del sistema financiero nacional según tipo de institución bancaria .....	139
B.	Caracterización de la oferta de financiamiento y otras condiciones de mercado para la implementación de buses eléctricos en Costa Rica .....	141
1.	Condiciones actuales de mercado y alcance de instituciones bancarias públicas y privadas .....	141
2.	Iniciativas de apoyo y esfuerzos para el financiamiento de proyectos ambientales .....	144
3.	Barreras y desafíos por superar que permitan facilitar el financiamiento de autobuses eléctricos en Costa Rica .....	147
<b>V.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>151</b>
<b>VI.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>159</b>
	<b>Acrónimos</b> .....	<b>161</b>
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>163</b>
	<b>Anexos</b> .....	<b>169</b>
Anexo 1	Metodología .....	170
Anexo 2	Uso de biodiésel como insumo alternativo para el transporte de pasajeros mediante autobuses .....	175
Anexo 3	Elementos generales del plan de sectorización del transporte público en el Área Metropolitana de San José .....	186
Anexo 4	Supuestos considerados en el modelo financiero .....	202
Anexo 5	Costos de mantenimiento para autobuses .....	203
Anexo 6	Información y datos disponibles para la modelación .....	204
Anexo 7	Supuestos considerados en el análisis con precios, costos y tasas sociales .....	213
Anexo 8	Obtención de coeficientes de ajuste para precios sociales .....	214
Anexo 9	Análisis tarifario: estructuras de costos y otros componentes (depreciación y rentabilidad) aprobadas por ARESEP en rutas de buses concesionados .....	218
Anexo 10	Definición y estructura general del Modelo Insumo-Producto .....	227
Anexo 11	Diferentes escenarios de ingresos tarifarios y sus repercusiones sobre los periodos de recuperación .....	240

**Cuadros**

Cuadro 1	Estimación a futuro de la cantidad de buses eléctricos en el Área Metropolitana, y sus respectivos ahorros anuales en consumo de diésel, emisiones de CO <sub>2</sub> E y aumento en demanda de KWH .....	30
Cuadro 2	Ahorro por disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero .....	31
Cuadro 3	Ahorros en la factura petrolera por reducciones en el consumo anual de diésel a causa de sustitución de tecnologías en autobuses.....	32
Cuadro 4	China: histórico y estimaciones de composición de parque vehicular según tipo de tecnología y estimación de reducción de emisiones, 2013-2021.....	41
Cuadro 5	Acumulado de vehículos eléctricos en Costa Rica .....	50
Cuadro 6	Distribución de la flota vehicular según estilo, 2018.....	51
Cuadro 7	Precios de autobuses diésel y eléctricos según fuentes consultadas .....	56
Cuadro 8	Tasas de consumo promedio bajo ambos escenarios de carga de pasajeros y uso de aire acondicionado.....	60
Cuadro 9	Precios internacionales para fuentes de energía y predicción para el 2021.....	62
Cuadro 10	Costos fijos que incurren buses según tecnología .....	63
Cuadro 11	Costos fijos para fijación de tarifas de tecnologías diésel .....	63
Cuadro 12	Términos de financiamiento de bac credomatic para adquisición de autobuses con tecnologías diésel.....	64
Cuadro 13	Ejemplo de condiciones de financiamiento para vehículos eléctricos.....	65
Cuadro 14	Amortización de deuda según términos de financiamiento de BAC Credomatic .....	66
Cuadro 15	Kilometrajes anuales por autobús para rutas urbanas, según metodología tarifaria .....	68
Cuadro 16	Costos sociales incurridos por muertes y hospitalizaciones a causa de contaminación en el aire .....	71
Cuadro 17	Costos por daños según gases contaminantes y ubicación.....	74
Cuadro 18	Costos por daños promedio según gases contaminantes, 2005 .....	75
Cuadro 19	Factores de emisión según tipo de gas por tipo de tecnología .....	75
Cuadro 20	Factores de emisión según tipo de gas por tipo de tecnología .....	75
Cuadro 21	Factores de emisión seleccionado según tipo de tecnología .....	76
Cuadro 22	Ahorros en emisiones de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> y diésel por implementación de autobuses eléctricos, según periodo de análisis y tamaño de la flota sustituida .....	76
Cuadro 23	Venta de diésel a nivel nacional y consumo de diésel realizado por autobuses .....	77
Cuadro 24	Estimación de costo por ruido .....	78
Cuadro 25	Costo total por kilómetro según modelo de costos.....	82
Cuadro 26	Análisis de sensibilidad univariado para resultados de inversión privada.....	83
Cuadro 27	Resultados del VAN para distintos precios del carbono y respectiva tasa de descuento .....	84
Cuadro 28	Valor actual neto en escenario base con distintos precios para tecnologías y tasa de descuento del 0%.....	85
Cuadro 29	Valor actual neto en escenario base con distintos precios para tecnologías y tasa de descuento del 8%.....	86
Cuadro 30	Bienes seleccionados en valoración económica de precios sociales .....	87
Cuadro 31	Resultados del VAN obtenidos mediante análisis de sensibilidad para caso optimista (+) .....	91
Cuadro 32	Sensibilidad del VAN a causa de precios de gases contaminantes.....	93
Cuadro 33	Valor Actual Neto acumulado y cambio ocasionado por evento, según tasa de descuento .....	95
Cuadro 34	Recaudación acumulada al mes de agosto de ingresos tributarios del total de aduanas y de vehículos de las partidas 8703 y 8704 para los años 2017 y 2018.....	98

Cuadro 35	Cantidad de ocupados según grupo ocupacional en Costa Rica .....	103
Cuadro 36	Total de población ocupada según la calificación de su grupo ocupacional.....	104
Cuadro 37	Total de población ocupada según la calificación de su grupo ocupacional, por sexo .....	104
Cuadro 38	Resultados en variación de tarifas según sustitución de flota convencional por autobuses eléctricos.....	109
Cuadro 39	Ingresos por depreciación de la flota y rentabilidad de la inversión para concesionarios del transporte público en Costa Rica .....	113
Cuadro 40	Costa Rica: importaciones destinadas como insumos para el servicio NP0126 "Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis" según producto, en millones de CRC, absoluto y relativo, 2017 .....	116
Cuadro 41	Clasificación de encadenamientos normalizados hacia adelante y hacia atrás .....	119
Cuadro 42	Costa Rica: clasificación de productos según tipología de Chenery & Watanabe, 2017 .....	120
Cuadro 43	Tipología sectorial según multiplicadores directos de Chenery & Watanabe.....	121
Cuadro 44	Costa Rica: productos clave según tipo de clasificación, 2017 .....	122
Cuadro 45	Costa Rica: resumen de encadenamientos según tipo por tipo de modelo para el servicio NP126 (Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis), indicador/modelo, 2017.....	123
Cuadro 46	Costa Rica: característica de empleo en el servicio NP0126, precios de 2017 .....	124
Cuadro 47	Supuestos establecidos para la micro simulación con cambio tecnológico en el servicio NP0126.....	125
Cuadro 48	Costa Rica: resumen de resultados estimados de encadenamientos sin y con incorporación de tecnología de autobuses eléctricos en el servicio NP0126, 2021 .....	126
Cuadro 49	Proyección de indicadores globales sin y con incorporación de tecnología de autobuses eléctricos en el servicio NP0126, absolutos y relativos, 2021 .....	126
Cuadro 50	Costa Rica, variación de importaciones con y sin incorporación de cambio tecnológico en el servicio NP0126, en millones de CRC, absoluto y relativo, 2021.....	126
Cuadro 51	Costa Rica: principales productos de exportación según actividad económica por tipo de régimen de producción, en términos relativos, enero 2012 a marzo 2020.....	127
Cuadro 52	Costa Rica clasificación de principales productos vinculados a exportación según tipología A y B, y valor agregado, absoluto (millones de CRC) y porcentual, 2017. Principales productos de exportación, 2012-2020 .....	128
Cuadro 53	Costa Rica: clasificación de principales productos vinculados a exportación según pago de tributos, personal ocupado y remuneración de asalariados, en términos absolutos (millones de CRC) y porcentual, 2017 .....	130
Cuadro 54	Costa Rica: utilización del producto "transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", 2016.....	135
Cuadro 55	Costa Rica: cantidad de personal ocupado en la actividad económica "transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", absoluto y relativo, 2016 .....	135
Cuadro 56	Costa Rica: utilización total según componente para el producto NP129 "servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", 2012 .....	136
Cuadro 57	Costa Rica: secuencia de cuentas de producción para el producto NP129 "Transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", 2012 .....	137
Cuadro 58	Costa Rica: tasas activas negociadas según actividad económica por grupo de intermediario financiero en USD, marzo 2018 a abril 2020 .....	140
Cuadro 59	Costa Rica: tasas activas negociadas según actividad económica por grupo de intermediario financiero en CRC, enero 2018 a abril 2020 .....	140

Cuadro 60	Entidades financieras consultadas durante análisis de opciones financieras para adquisición de buses eléctricos .....	142
Cuadro 61	Términos de financiamiento de BAC Credomatic para adquisición de buses con tecnologías diésel.....	144
Cuadro 62	Condiciones de financiamiento para buses eléctricos ofrecidas por el Banco de Costa Rica.....	144
Cuadro A1	Costa Rica: venta de diésel y gasolina (en barriles) a nivel nacional, 2008 a 2018 .....	179
Cuadro A2	Costa Rica: venta de diésel y gasolina (en barriles) a nivel nacional, y necesidad de biocombustibles para sustitución de un 10% de venta, 2018 .....	179
Cuadro A3	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> correspondientes para diésel, gasolina, biodiésel (B100) y bioetanol (con concentración de 10% de etanol) .....	180
Cuadro A4	Estimación de la cantidad barriles vendidos de hidrocarburos, cantidad sustituida por biocombustibles y emisiones evitadas según sustitución, año 2021.....	181
Cuadro A5	Estimación de la cantidad barriles vendidos de hidrocarburos, cantidad sustituida por biocombustibles y emisiones evitadas según sustitución, año 2030 .....	181
Cuadro A6	Estimación de la cantidad barriles vendidos de hidrocarburos, cantidad sustituida por biocombustibles y emisiones evitadas según sustitución, año 2040.....	181
Cuadro A7	Estimación del valor económico de las externalidades evitadas, según distintos precios para el carbono.....	182
Cuadro A8	Estimación del valor económico de las externalidades evitadas, según distintos precios para el carbono, análisis para cuotas de sustitución del 15% .....	182
Cuadro A9	Estimación del valor económico de las externalidades evitadas, según distintos precios para el carbono, análisis para cuotas de sustitución del 20%.....	182
Cuadro A10	Valor actual neto y tasa interna de retorno cuando sólo biodiesel es fuente de ingresos .....	183
Cuadro A11	Pasajeros por día según sector dentro del AMSJ.....	193
Cuadro A12	Viajes y kilómetros por día, IPK y velocidades promedio según sector dentro del AMSJ.....	194
Cuadro A13	Resumen de resultados FOV presentado en el informe del PIMUS .....	195
Cuadro A14	Cantidad de autobuses para las rutas del AMSJ .....	196
Cuadro A15	Matriz multicriterio para la selección de corredor piloto .....	199
Cuadro A16	Calificación criterio demanda de pasajeros .....	200
Cuadro A17	Resumen evaluación multicriterio.....	201
Cuadro A18	Supuestos considerados en el modelo financiero.....	202
Cuadro A19	Costos de mantenimiento para autobuses.....	203
Cuadro A20	Número de las rutas dentro del ASMJ con información disponible.....	205
Cuadro A21	Rutas dentro del AMSJ con información disponible en el sistema Intran y SIR.....	207
Cuadro A22	Rutas dentro del AMSJ con información disponible en ambos sistemas (Intran y SIR) .....	208
Cuadro A23	Variación anual mínima, promedio y máxima de pasajeros según ruta .....	209
Cuadro A24	Variación anual mínima, promedio y máxima de pasajeros según ruta .....	210
Cuadro A25	Supuestos considerados en el análisis realizado con precios sociales, costo social del carbono de CEPAL, 2019 y tasa social de descuento de MIDEPLAN .....	213
Cuadro A26	Ecuaciones para la estimación de valores económicos (factores de conversión) a partir de valores CIF y FOB (Importables). Los valores CIF y FOB están normalizados a 1 .....	217
Cuadro A27	Ecuaciones para la estimación de valores económicos (factores de conversión) a partir de valores CIF y FOB (Exportables). Los valores CIF y FOB están normalizados a 1 .....	217
Cuadro A28	Costos totales mensuales .....	218

Cuadro A29	Costos fijos mensuales .....	218
Cuadro A30	Costos por depreciación de activos fijos .....	219
Cuadro A31	Factores anuales de depreciación para flotas en regla tipo 2.....	220
Cuadro A32	Factores anuales de rentabilidad para flotas de regla tipo 2.....	224
Cuadro A33	Tarifa por pasajeros para el conjunto de rutas y ramales.....	225
Cuadro A34	Índice de pasajeros por kilómetro de rutas y ramales.....	225
Cuadro A35	Costo total por kilómetro del conjunto de rutas y ramales.....	225
Cuadro A36	Estructura general del Modelo de Insumo-Producto .....	227
Cuadro A37	Matriz de oferta total.....	227
Cuadro A38	Matriz de demanda intermedia.....	228
Cuadro A39	Matriz de demanda final.....	228
Cuadro A40	Matriz de valor agregado.....	228
Cuadro A41	Tipología sectorial según multiplicadores directos.....	236
Cuadro A42	Identificación de sectores clave tipo A .....	239
Cuadro A43	Identificación de sectores clave tipo B .....	239
Cuadro A44	Ingresos al operador de concesión por rentabilidad y depreciación de un bus eléctrico, acorde a ajustes atrasados .....	241
Cuadro A45	Ingresos descontados del operador por un bus eléctrico la relación ingresos/precio, acorde a la metodología tarifaria .....	241
Cuadro A46	Ingresos descontados del operador por un bus eléctrico y la relación ingresos/precio, acorde a ajustes atrasados .....	242
 <b>Gráficos</b>		
Gráfico 1	Flota de buses con sectorización.....	27
Gráfico 2	Flota de buses con sectorización para el 2024.....	27
Gráfico 3	Flota de autobuses con sectorización para el 2027.....	28
Gráfico 4	Avance de flotas eléctricas según sustitución bienal plantada por ley y supuesto de renovación para buses eléctricos.....	29
Gráfico 5	Precio del diésel en estaciones de servicio en Estados Unidos, 2019 .....	31
Gráfico 6	Demanda de generación de energía eléctrica y su crecimiento porcentual entre 1995-2017.....	33
Gráfico 7	Ventas históricas y proyecciones de demanda para el 2040 .....	33
Gráfico 8	Avance y composición de la demanda de energía según sector .....	34
Gráfico 9	Comportamiento de la generación máxima disponible y la generación neta necesaria según escenarios de adopción de tecnologías eléctricas para el transporte, 2017-2050 .....	35
Gráfico 10	Proyección de generación de energía eléctrica según fuentes, 2020-2024.....	36
Gráfico 11	China: oferta energética primaria en términos relativos, 2017 .....	39
Gráfico 12	China: venta de autobuses, 2011 a 2017 .....	40
Gráfico 13	Ventas globales de vehículos según tipo de combustible, primera mitad del 2019.....	49
Gráfico 14	Vehículos automotores eléctricos en circulación, según tipo, 2010-2020 .....	50
Gráfico 15	Vehículos automotores en circulación, según tipo, 2009-2018.....	51
Gráfico 16	Factores de emisiones de gei de distintas tecnologías vehiculares (tanque a llanta y pozo a tanque).....	53
Gráfico 17	Estimación del comportamiento del precio de las baterías para vehículos eléctricos.....	57
Gráfico 18	Flujo de uso de energía y carga por hora diaria y capacidad de carga .....	58
Gráfico 19	Gases contaminantes por uso de autobuses, sus efectos y escala de impacto .....	69

Gráfico 20	Rangos de precios asignados a gases contaminantes .....	74
Gráfico 21	Comparativa del tco incremental para ambas tecnologías .....	81
Gráfico 22	TCO Incremental para análisis financiero según distintas tasas de descuento.....	81
Gráfico 23	Flujo de gastos anuales según tecnología .....	82
Gráfico 24	Costa Rica: cantidad y nivel de encadenamientos directos hacia atrás, 2017.....	116
Gráfico 25	Costa Rica: cantidad y nivel de encadenamientos directos hacia adelante, 2017 .....	117
Gráfico 26	Costa Rica: encadenamientos totales absolutos hacia adelante y hacia atrás, 2017 .....	118
Gráfico 27	Costa Rica: encadenamientos totales normalizados hacia adelante y atrás por producto, 2017.....	119
Gráfico 28	Costa Rica: clasificación tipo A de productos según encadenamiento total hacia atrás y grado de dispersión, 2017 .....	121
Gráfico 29	Costa Rica: clasificación tipo B de productos según encadenamiento total hacia atrás y hacia adelante, 2017 .....	122
Gráfico 30	Costa Rica: PIB a precios constantes, 1991-2019.....	132
Gráfico 31	Costa Rica: participación relativa de principales actividades económicas sobre el Producto Interno Bruto (PIB) en términos constantes, 1991 a 2019.....	133
Gráfico 32	Costa Rica: cartera de crédito según actividad económica, enero de 2020, en términos relativos .....	139
Gráfico 33	Cantidad total de pasajeros regulares e ingresos relacionados, ruta San José-Cartago y viceversa .....	156
Gráfico A1	Ejemplificación de análisis inter temporal de cantidad de buses producto de acciones a emprender .....	173
Gráfico A2	Viajes en autobús por habitante por día.....	192
Gráfico A3	Cantidad de buses para las rutas del AMSJ .....	195
Gráfico A4	Preferencia de modos de viaje .....	197
Gráfico A5	Motivos de viaje según modo utilizado .....	198
Gráfico A6	Modo por motivo de viaje .....	198
Gráfico A7	Cantidad de buses por ruta dentro del AMSJ .....	206
Gráfico A8	Pasajeros totales por ruta dentro del AMSJ mensuales.....	209
Gráfico A9	Pasajeros total Área Metropolitana de San José, 2017-2019 .....	212
<b>Diagramas</b>		
Diagrama 1	Esquema de análisis para indicadores de inversión privada y económica .....	79
Diagrama 2	Inversionista adquiere el autobús por su cuenta.....	94
Diagrama 3	Inversionista adquiere el autobús con financiamiento del Banco Nacional.....	94
Diagrama 4	Participación de distintos sectores, pero sin compensación por externalidades .....	94
Diagrama 5	Con compensaciones por externalidades de ruido y contaminantes .....	94
Diagrama 6	Esquema de análisis y consideraciones de políticas sobre indicadores de inversión privada y económica .....	97
Diagrama 7	Posible esquema de función para facilidad de compensación de externalidades .....	99
Diagrama 8	Esquema de acción para buses eléctricos.....	100
Diagrama 9	Resumen de resultados obtenidos para el análisis diferencial entre tecnologías eléctricas y de combustión interna.....	101
Diagrama 10	Potencial mejora de encadenamientos económicos por electrificación total o parcial de la flota de buses .....	158
Diagrama A1	Rutas no troncalizadas versus troncalizadas .....	188
Diagrama A2	Representación de la información contenida en la Matriz Insumo-Producto.....	231
Diagrama A3	Representación de la Matriz I-P empleando la Matriz de Coeficientes Técnicos .....	233

**Mapas**

Mapa A1	Sectores geográficos en la Gran Área Metropolitana .....	186
Mapa A2	Sectores geográficos en el Área Metropolitana de San José .....	187
Mapa A3	Rutas troncales propuestas en el Área Metropolitana de San José según los diferentes informes técnicos por subsector y sector .....	189
Mapa A4	Troncales intersectoriales y nodos integración con el tren .....	191
Mapa A5	Rutas sectoriales de transporte público en el AMSJ .....	192

**Imagen**

Imagen 1	Proceso de reensamblaje y sustitución de sistemas de combustión de diésel a eléctricos.....	37
----------	--	----

## Resumen

Desde 2015 Costa Rica se comprometió con el desarrollo sostenible a través de la firma de diversos acuerdos y compromisos para reducir los efectos del cambio climático y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Entre estos compromisos se incluye la Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés), con especial énfasis en el sector energía.

Entre los principales herramientas empleadas por el gobierno de Costa Rica destacan el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030, que aborda los lineamientos estratégicos para lograr y consolidar el 100% de producción renovable al 2030; el mejoramiento de la flotilla vehicular; la integración del transporte público a través de rutas de buses sectorizadas; la ampliación del tren; la integración del transporte no motorizado, el tren eléctrico interurbano y la modernización del sector de transporte de carga.

Otra herramienta es el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, que propone cambios y modificaciones significativos en la oferta de movilidad y transporte (público y privado). A esta, se suma la aprobación de la Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico (Ley No. 9518, 2018), ley que señala que los autobuseros tendrán que renovar al menos un 5% de su flotilla cada dos años con buses eléctricos.

Simultáneamente se ha buscado brindar continuidad al proceso de reorganización de la relación entre movilidad y centros urbanos densos en servicio. El principal proyecto busca la sectorización del transporte colectivo, iniciado en el año 2000. Para consolidar este proceso, se definió el "Plan de Implementación de la Primera Etapa del Proyecto de Sectorización y Modernización del Transporte Público Masivo Modalidad Autobús del Área Metropolitana de San José". Este busca consolidar los principios de troncalización-priorización-integración, estructurados a nivel de sectores y subsectores.

Este estudio incluye una simulación que muestra el impacto de esta reducción en la cantidad de buses que ingresan al AMSJ, así como el comportamiento de la flota en años futuros, el avance de la electrificación y del proceso de sectorización.

El estudio incluye también una evaluación de la rentabilidad financiera y económica de la implementación de buses de tecnología eléctrica en contraposición a los buses de combustión interna que utilicen diésel como carburante. Se considera, para cada tecnología, su respectiva estructura de costos por autobús, tomando en cuenta infraestructura y equipo necesario, datos de eficiencia y costos de los insumos (electricidad y diésel), y de esa manera, se procura obtener un flujo interanual de costos para realizar comparaciones entre tecnologías.

Adicionalmente al análisis convencional de rentabilidad a precios privados, que utiliza la metodología de costo total de propiedad (TCO, por sus siglas en inglés), se elaboró un análisis complementario para perfeccionar la modelización en forma más precisa para Costa Rica. Ello se ha logrado incorporando una variable fundamental para las particularidades del país, la que suele quedar afuera de las metodologías usualmente aplicadas en los estudios económicos relevados hasta el momento: la componente de regulación que caracteriza al transporte público de buses en Costa Rica. Dicha regulación, a través de las tarifas autorizadas, garantiza a los concesionarios la recuperación de los costos, la devolución de la inversión en los buses a través del pago de depreciación y un margen de rentabilidad del capital.

El modelo de análisis finalmente conformado arroja uno de los hallazgos más trascendentes de este estudio: para Costa Rica resulta positiva la viabilidad financiera “regulada” de la incorporación de buses eléctricos. Tales resultados aportan una perspectiva de oportunidades que justifican las inversiones y el financiamiento para viabilizar el recambio de la flota de buses sostenibles en el país. Asimismo, también resultará importante considerar los impactos sobre los ingresos de los usuarios del nuevo transporte público, los que mayoritariamente forman parte de los deciles de menores ingresos.

A nivel de valoración social, se consideran varios beneficios por reducción de externalidades, entre los que se encuentran los Gases de Efecto Invernadero (GEI) mitigados y gases contaminantes evitados, además del ajuste de la estructura de costos a precios sociales brindados por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), ahorros en factura petrolera nacional y ruido.

El análisis de evaluación económica a precios sociales e incorporando externalidades por beneficios derivados de la reducción de emisiones de GEI, reducción en costos sobre salud y de ruido, muestran valores presentes netos económicos (sociales) positivos dependiendo de la cuantía de los costos de oportunidad de carbono que se utilicen, así como de las tasas sociales de descuento. El análisis simula y muestra los niveles resultantes en los indicadores económicos de rentabilidad, para diferentes alternativas o instrumentos de políticas que podrían establecerse como mecanismos de internalización para potenciar la rentabilidad financiera-privada, así como para mitigar el impacto tarifario sobre los usuarios.

Dado esto, se concluye y recomienda que Costa Rica continúe y fortalezca sus avances con tecnologías alternas para el transporte (eléctricas, híbridas, de hidrógeno, entre otras), de manera que brinden variabilidad a la matriz energética utilizada para el transporte, se dinamicen los empleos relacionados a la producción y mantenimiento de partes y vehículos, así como producción de combustibles, que además resultan un mejor ambiente y calidad de aire para las actuales y futuras generaciones.

Por lo tanto, este tipo de proyectos brindan a Costa Rica la oportunidad de acercarse a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas; además de un mejor encadenamiento del sector eléctrico nacional y una reducción a la dependencia de importación de hidrocarburos y la posible volatilidad de sus precios. No obstante, serán necesarias medidas que permitan internalizar costos por reducción de calentamiento global y salud, para brindar la rentabilidad positiva que facilite estos proyectos; así como también será relevante recuperar la generación eléctrica a costos y precios de eficiencia económica.

## Introducción

Este informe analiza la viabilidad económica y financiera de un eventual proceso de electrificación del transporte público de Costa Rica. Con esta finalidad, el informe aborda los principales aspectos relacionados con la sustitución del parque de autobuses con motores de combustión por uno de autobuses eléctricos (e-buses), en rutas reguladas de transporte público, considerando por un lado, compromisos asumidos por el gobierno de Costa Rica, así como consideraciones energéticas y ambientales que subyacen en las políticas impulsadas por la comunidad internacional en las últimas cuatro décadas; y por otro, brindando una especial atención a los posibles efectos e implicaciones económicas y financieras; así como a las políticas públicas que Costa Rica debería implementar para buscar eficiencia económica asociada al logro de estos objetivos.

La revisión de diversos antecedentes en la ejecución de este estudio permitió identificar una amplia cantidad de actores que deberán ser tomados en cuenta en la implementación de un proceso de estas características, tanto en relación con la sustitución de parque de autobuses como en relación con la sectorización del transporte público, sin cuya colaboración el logro del objetivo se haría muy difícil.

El primer aspecto que aborda este informe es la situación de Costa Rica en relación con la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los diversos acuerdos suscritos por el Estado costarricense en el concierto internacional para contener su expansión y lograr su disminución. Específicamente, se basa en una serie de acuerdos firmados por los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), que traen consigo la aprobación de leyes, estatutos y reglamentos en los diversos sectores emisores de GEI.

Según cifras del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica, el sector energía registró en 2012 la mayor cantidad de emisiones de GEI en términos de CO<sub>2</sub>e, ascendente a 7,214 Gg. Este volumen representó poco más del 64% de las emisiones totales de GEI en Costa Rica el año indicado. Parte importante de la emisión de GEI generada por el sector energía correspondió al subsector transporte, que reportó para el mismo año un total de 4.956 Gg de CO<sub>2</sub>e, que constituye aproximadamente 69% de las emisiones del sector energía y 31% del total de emisiones a nivel nacional.

Desde el punto de vista del bienestar, es prioritario potenciar con políticas económicas específicas aquellas iniciativas que conllevan asignaciones eficientes de recursos para la sociedad en su conjunto. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que, debido a la presencia de externalidades o diversas fallas del mercado, este no logra por sí solo que se generen las respectivas asignaciones. Una relevante variedad de los procesos económicos asociados al uso de recursos naturales y/o a la calidad ambiental presentan diversas fallas de mercado o externalidades.

Más específicamente, desde el punto de vista del bienestar económico no es suficiente evaluar únicamente la rentabilidad financiera (privada), omitiendo la existencia de externalidades o fallas de mercado —por ejemplo descargas de emisiones y contaminantes, procesos asimétricos de información, de abuso de posición dominante, entre otras—, debiéndose asumir que la evaluación financiera no considera la totalidad de los costos y beneficios para la sociedad que resultan de la implementación del proceso de electrificación.

En particular, en el caso del recambio de autobuses de diésel por buses eléctricos, se prevé una variedad de beneficios económicos bajo la forma de externalidades positivas. Estas ameritan ser consideradas con el objeto de lograr una evaluación económica más integral de la incorporación de esa tecnología.

No realizar dicha incorporación en el análisis puede conducir a conclusiones y decisiones erróneas, y resolver, por ejemplo, que ese remplazo no es viable porque la evaluación financiera indica que no es rentable; y de ahí extrapolar que no es conveniente impulsar la actividad, a través de, por ejemplo, líneas de financiamiento para fortalecer su evolución y con ello el desarrollo. Un ejemplo de esta internalización se encuentra en el financiamiento de programas a través del Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD), u otras políticas relacionadas al pago por servicios ambientales.

El Análisis Beneficio Costo económico (ABC económico) ofrece información mucho más completa para evaluar la conveniencia en términos de bienestar de la asignación de recursos y el nivel de eficiencia económica. Esta herramienta utiliza valores estimados de precios sombra (que aproximan los de eficiencia), o precios sociales, como se denomina en economía, la cual emplea la mayoría de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública (SNIP) de los países de América Latina, incluido Costa Rica a través del Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN).

Al utilizarse valores estimados de factores de corrección de precios de mercado e incorporar valores estimados a partir de precios sombra, es posible estimar beneficios económicos por reducción de GEI, beneficios por el ahorro de divisas, costos económicos por material particulado evitado en la combustión de diésel y otras emisiones, entre otros factores.

En caso de que la evaluación financiera muestre un Valor Presente Neto (VPN) negativo, pero la evaluación económica arroje indicadores positivos, se presenta el desafío de lograr diseñar y establecer políticas e instrumentos económicos que permitan internalizar las externalidades positivas en la actividad de transporte eléctrico concesionado, y con ello potenciar su sostenibilidad financiera.

Este estudio realiza un esfuerzo por contextualizar a la realidad de Costa Rica una importante cantidad de parámetros que permiten evaluar con el método de Costo Total de Propiedad (TCO, por sus siglas en inglés) a nivel privado, y también a nivel económico. Además, se ha intentado señalar factores determinantes de las metodologías de valoración financiera y económica que podrían estar afectando los resultados de inversión, como son las tasas de descuento y consideraciones de largo plazo sobre los precios.

El análisis presenta también un menú de instrumentos y políticas económicas que podrían utilizarse para potenciar la internalización de los beneficios generados, y con ello lograr un mayor impulso al remplazo de autobuses diésel y en general un mayor desarrollo asociado al sector de transporte público de autobuses concesionado; sirviendo simultáneamente a que no sean meramente los usuarios de los buses los que, a través del pago de las tarifas, financien estas externalidades positivas.

De esta manera, el análisis de la incorporación de la tecnología eléctrica en el transporte público considera aspectos técnicos, costos asociados, elementos e implicaciones a nivel de estructuras y facilidades de servicios públicos, aspectos propios de la regulación, arreglos institucionales, marcos normativos, tendencias futuras, entre otros, de manera que se abarquen las distintas aristas de una forma más comprensiva e integral.

En primer lugar se presenta el contexto costarricense bajo el cual se fundamentan los diferentes esfuerzos en reducción de emisiones de GEI, el cual de forma ilustrativa se contrasta con los procesos de electrificación del transporte público que están siendo implementados en otros países. Además se brinda un contexto sobre algunos países que han enfrentado el desafío de la electrificación de flotas de manera más acelerada, destacando los casos de China y Chile.

Adicionalmente se aborda el tema de transporte y rutas de autobuses en el Área Metropolitana de San José (AMSJ), a partir del plan de sectorización que se espera brinde un nuevo esquema de oferta de servicio y consumo del transporte público y su renovación de flotas. Junto a esto se realiza un análisis de la información disponible de flotas de buses en el país y las características de la serie de tiempo de dicha flota.

La siguiente sección analiza la rentabilidad financiera y económica de la electrificación del transporte público. Para ello se comparan las estructuras de costos de las nuevas tecnologías eléctricas respecto a las tecnologías empleadas (combustión interna con motores de diésel), tanto a precios privados como sociales, e incorporando estimados de beneficios económicos por reducción de emisiones y particulados.

Asimismo, se evalúan diversas opciones de políticas con el propósito de brindar análisis de alternativas para internalizar los beneficios brindados por las tecnologías eléctricas. Ello con el propósito de potenciar aquellos resultados que tiendan a la eficiencia económica con viabilidad financiera y subsecuentemente se impulse el sector de forma más sostenible, al tiempo que se potencia un mayor desarrollo endógeno que propicie la participación y alianza público-privada, y se logra que no sean los usuarios los que paguen por esas externalidades positivas.

Es conocida la importancia que tienen las tecnologías eléctricas para la disminución de las emisiones de GEI, pero resulta necesario dimensionar el alcance de los beneficios en la salud de la población por la reducción de los gases contaminantes y la relevancia que tienen los autobuses en el consumo de combustible a nivel nacional. Esto debido a que el sector de transporte en autobús representa un 4,3% de las emisiones totales del transporte (SEPSE, 2018).

Dichas emisiones, al igual que la población, están altamente concentradas en el Gran Área Metropolitana (GAM). A manera de ejemplo, según el Plan Nacional de Transporte Eléctrico (2020, p. 21) y el Banco Mundial (2011), el impacto en la salud de la población debido a contaminación en el aire superó los \$210 mil millones para el 2011, con la variante actual de que para el 2019, la flota de vehículos a nivel nacional fue un 51% mayor que la existente en el 2011 (MOPT, 2018). Es por tanto relevante estimar e incorporar en la evaluación económica el aporte que la reducción de emisiones en gases brinda a la salud pública.

Este informe también evalúa la importancia económica relativa del sector de transporte respecto a otros sectores de la economía de Costa Rica. Este es un análisis más macroeconómico. Para ello se analizan distintos encadenamientos y relaciones que presenta el sector y su dinámica en tiempo. Específicamente, se detalla la dinámica existente entre la actividad de transporte de pasajeros con el resto de actividades económicas, a través de la Matriz Insumo-Producto (MIP), la que fue provista por el Banco Central de Costa Rica (BCCR) para los años 2012 y 2017.

La electrificación de la flota se asocia con cambios muy importantes en el uso y funcionamiento del transporte público. Por una parte, se incrementa la inversión en adquisición de buses como consecuencia de la sustitución de los autobuses convencionales por los e-autobuses; por otra, aumenta el encadenamiento del transporte público con el sector económico interno de energía, a la vez que se reduce la importación de combustibles fósiles. Es decir, se sustituiría el uso de materias primas y combustibles importados por electricidad generada localmente.

Seguidamente se incluye una evaluación de la estructura de empleo nacional y la capacidad de generación de empleo directo e indirecto, y se analizan efectos de la electrificación de la flota vehicular. Esta puede contribuir generando más empleo calificado y ofrecer una oportunidad para el empleo femenino, de manera que la fuerza de trabajo femenina se pueda incorporar más activamente y reducir la brecha de género existente en este sector. Esto puede lograrse con programas de entrenamiento y capacitación que acompañen el proceso, en el cual instituciones como el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) pueden aportar significativamente.

Por último, se presentan diversos escenarios asociados al reemplazo de los autobuses convencionales por e-autobuses, que permiten internalizar en el análisis financiero diferentes niveles de beneficios económicos que podría generar esta sustitución, principalmente bajo la forma de externalidades. Además, se considera el avance de otras tecnologías tales como los buses de hidrógeno, tecnologías híbridas, generación de biocombustibles y tecnologías diésel, analizándose el papel que pueden desempeñar en el logro de los objetivos de descarbonización y acaparamiento del mercado de tecnologías alternas.

No obstante lo anterior, ha de observarse que la rentabilidad de las tecnologías eléctricas se encuentra comprometida en gran medida por la falta de instrumentos financieros flexibles que puedan hacer posible la sustitución de la flota de autobuses convencionales. Ese es un primer problema. Además, la comparación de las rentabilidades financieras de los buses eléctricos y las tecnologías diésel convencionales también constituyen un problema para avanzar en la sustitución de la flota, dado que, en principio, estas son más baratas que las empleadas por los e-autobuses, aunque resultan altamente contaminantes. De esta manera, las diferencias de costos entre tecnologías y las emisiones que generan, también han resultado determinantes para las decisiones que se toman. Sin embargo, esta diferencia está atenuándose rápidamente en los años más recientes, como se verá en los capítulos siguientes.

Este trabajo busca ofrecer a los tomadores de decisiones (“policy makers”) un menú de alternativas de mecanismos y políticas para potenciar y alinear la búsqueda de la carbono neutralidad con la eficiencia y el desarrollo económico del país, para los efectos de potenciar una estrategia de crecimiento basada en la capacidad energética endógena y mayoritariamente renovable, como la provista por la generación hidroeléctrica.

# I. Electromovilidad, cambio climático y desarrollo: un desafío insoslayable de política pública

## A. El desafío de la electromovilidad

La irrupción de la electromovilidad se produce en un momento clave del desarrollo del transporte urbano e interurbano de personas y bienes, cerrando probablemente un ciclo largo de poco más de un siglo de predominio del motor a combustión. En este sentido, la electromovilidad está llamada a convertirse en una de las más importantes transformaciones tecnológicas de la era moderna, si tenemos en consideración los enormes cambios que generaron en su época las tecnologías introducidas a los modos de transporte como lo fue el motor a combustión.

De una parte, el aumento incesante del parque automotor y, muy especialmente, de los vehículos destinados al transporte privado, se tradujo en una demanda también creciente de combustibles fósiles que no son renovables. La percepción de la condición de escasez de un recurso que se agotará inevitablemente y la dependencia respecto de un cartel constituido por un selecto grupo de países productores de petróleo, con capacidad de incrementar los precios, quedó al descubierto a mediados de la década de 1970, al desatarse el que fue denominado “shock del petróleo”, que puso término a la disponibilidad de combustibles a bajos precios y a la despreocupación por el consumo. Desde entonces, gobiernos y empresas automotrices intensificaron esfuerzos para desarrollar fuentes alternativas de movilidad y de generación de energía, así como de uso más eficiente de los recursos energéticos derivados del petróleo.

De otra parte, diversas circunstancias asociadas al calentamiento global del planeta y al fenómeno del Cambio Climático, principalmente la intensificación de desastres hidrometeorológicos, indujeron a que buena parte de los países decidieran actuar sobre sus factores causantes, entre estos el transporte automotor por combustión. Éste contribuye con casi una cuarta parte (23%) a las actuales emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI) relacionados con la energía y presenta un crecimiento más rápido que cualquier otra actividad o sector de uso final de energía. Al respecto, en la Declaración del denominado Acuerdo de París, se indicó que, de no actuar, las emisiones de GEI del transporte aumentarían en un 20% para el año 2030 y cerca del 50% para el año 2050 (IEA, 2015).

En este contexto y según lo declarado en el Acuerdo de París, los países consideraron al desarrollo de la electromovilidad como fundamental para disminuir las emisiones del transporte. Más específicamente, se plantearon como objetivo que al menos el 20% de todos los vehículos por carretera de todo el mundo sean impulsados eléctricamente para el año 2030.

Al iniciarse la década de 2010, la electromovilidad da un salto cualitativo en su desarrollo debido a los avances en las tecnologías de baterías de iones de litio (*lithium-ion battery*), que disminuyeron considerablemente el costo de fabricación (ICCT, 2018). El efecto directo de este avance tecnológico fue el aumento de competitividad de los vehículos eléctricos respecto de los vehículos de combustión interna, lo que ha permitido su rápida expansión en varios mercados, la mayoría de los países desarrollados, esperándose que los vehículos eléctricos representen el 35% de las ventas de vehículos globales en el año 2030 (IEA, 2015). Entre las ventajas derivadas de la expansión producida en estos últimos diez años, se indica que ésta contribuye a descarbonizar la matriz energética, mejorar la eficiencia energética, y reducir las emisiones locales y globales al eliminar el uso de combustibles fósiles.

La incidencia del transporte automotor en las emisiones totales tiende a ser mayor en América Latina y el Caribe respecto de los países desarrollados agrupados en la OCDE, lo cual se asocia a las diferencias en calidad, años de uso y nivel de conservación de los vehículos de los parques automotores respectivos. Esto implica que la necesidad de construir una política pública de transporte sustentable en los países latinoamericanos es más urgente y desafiante en comparación con los países de la OCDE. Según datos del World Resources Institute (WRI), el 34% de las emisiones totales de los países de América Latina y el Caribe corresponde a emisiones generadas por actividades de transporte, *vis-à-vis* el 28% en los países miembros de la OCDE. Esto indicaría que en los países de América Latina y el Caribe el sector transporte es mucho más intensivo en emisión de CO<sub>2</sub>, superando en 30% a lo registrado en Estados Unidos y en 80% a los países de la OCDE (BID, 2017).

La transformación del sistema de transporte en curso no solo requiere sustituir el parque de vehículos con motor de combustión por vehículos eléctricos. La Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) ha indicado que este proceso amerita de una infraestructura de carga de vehículos adecuada, y junto a esto abordar aspectos técnicos, regulatorios y de modelos de negocios para fomentar un ecosistema de vehículos eléctricos confiables en un país (IEA, 2018).

Considerando lo anteriormente planteado, el presente documento pretende abordar la electromovilidad desde un enfoque conceptual y práctico. Con este último propósito en este capítulo se señalan las tendencias en dicha materia, el estado actual y perspectivas de Costa Rica, y por último se indican experiencias de políticas públicas mediante las cuales algunos países han avanzado en el fomento de la electromovilidad. La revisión de los aspectos mencionados permitirá un análisis de contexto de los temas que se abordarán en los capítulos siguientes, que se relacionan, según lo expuesto en la introducción, con los aspectos financieros y económicos del proceso de electrificación del transporte público en Costa Rica, cuyo análisis es clave para precisar las condiciones y requisitos que se demandan para lograr que dicho proceso se materialice de la manera más eficiente posible.

## 1. ¿Qué es la electromovilidad?

Conceptualmente, la electromovilidad hace referencia al uso de vehículos eléctricos, entendiéndose por tales a aquellos que hacen uso de combustibles no fósiles y/o energía alternativa y son impulsados por uno o más motores eléctricos.

Para algunos autores, sin embargo, la electromovilidad es un concepto más amplio que incluye una serie de tipologías: aquellos con batería eléctrica (*battery-electric vehicle*) o 100% eléctricos, y los PHEV o híbridos enchufables (*plug-in hybrid*) y con celdas de combustible (*fuel cell vehicles*) que incluyen vehículos de dos y tres ruedas, automóviles, camionetas comerciales ligeras, autobuses, camiones y otros. De acuerdo con lo anterior, en electromovilidad hay dos tipos de propuestas tecnológicas: por

una parte, el vehículo con batería de ion-litio, y por otra, el vehículo de *fuel cell*, que genera la electricidad con un combustible (hidrógeno), permitiéndole activar el motor eléctrico. Mientras que el primero requiere una recarga eléctrica que toma varias horas, el *fuel cell* de hidrógeno se recarga en dos minutos y tiene una autonomía mayor que la del auto eléctrico (García, 2019).

A fines de 2018 existían a nivel mundial más de 3 millones de vehículos eléctricos. La mayoría de estos vehículos estaban siendo utilizados en países desarrollados, como Estados Unidos, Noruega, Francia, Reino Unido, Canadá, Japón, Islandia y Suecia, además de China. En este grupo de países, destaca el caso de Noruega, donde los automóviles eléctricos constituyeron el 39% de las ventas de automóviles nuevos en 2017, nivel que está muy por encima de países como Islandia y Suecia, que también han estado promoviendo el uso de vehículos eléctricos, pero en los cuales la participación de éstos en el total de las ventas de automóviles nuevos fue de solo 11.7% y 6.3%, respectivamente, en 2017. Por su parte, China es el país con más autos eléctricos recorriendo sus ciudades algunas de las cuales tienen flotas compuestas únicamente por buses eléctricos.

Técnicamente, la movilidad eléctrica tiene un conjunto de ventajas asociadas al desarrollo sustentable de los países (en particular, de las ciudades que presentan graves problemas de contaminación y polución) que han favorecido su expansión. Sucintamente, la electrificación de los vehículos permite: i) que el transporte sea más eficiente energéticamente; ii) reduce las emisiones de gases de efecto invernadero; iii) disminuye la dependencia del petróleo, lo cual tiene además un impacto positivo en la balanza comercial de los países que son importadores de crudo; y iv) mejora la calidad del aire local (Clean Energy Ministerial, 2019). Adicionalmente, debe destacarse que los vehículos eléctricos son silenciosos, lo cual favorece reducir los niveles de contaminación acústica; y sus baterías tienen una vida útil entre 3 y 5 años.

Conforme a lo señalado, los países que decidan instrumentar programas de sustitución progresiva del parque automotor constituido por vehículos con motores a combustión por vehículos eléctricos estarán en condiciones de cumplir en parte los compromisos en términos de políticas de cambio climático y metas de ahorro de energía, fijados tanto a nivel local como global.

## 2. Tendencias en la electromovilidad

Las ventas a nivel mundial de vehículos eléctricos nuevos superaron en 2017 el millón de unidades, cantidad 54% mayor respecto a la comercializada durante el 2016, cuando se vendieron 750 mil unidades (BID, 2018). En el mismo año, el acervo de vehículos eléctricos a nivel mundial fue de 3 millones de unidades, registrándose también un importante aumento respecto a lo observado en los años precedentes. Esta expansión ha sido encabezada por Estados Unidos, Europa y China, que se han consolidado como los mercados líderes en electromovilidad. Las ventas de vehículos eléctricos proyectadas en el tiempo, como proporción de las ventas totales de vehículos, apuestan por un creciente efecto sustitución de los vehículos con motores a combustión, estimándose que entre 2025 y 2040 su participación en las ventas de vehículos nuevos pasará de 11% a 55% (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

El incremento de la participación de los vehículos eléctricos en el total de las ventas de vehículos nuevos se explica principalmente por la evolución del costo de las baterías de ion-litio. Desde el 2010, los costos de producción por kWh se han reducido, en tanto la densidad de almacenamiento —medida como kWh por litro— ha aumentado (IEA, 2017). Una vez más, el desarrollo de las fuerzas productivas, inducidas por innovaciones tecnológicas, impulsa el crecimiento y desarrollo de las economías y el bienestar mediante el reordenamiento de las estructuras productivas.

La electromovilidad entró a una fase de consolidación no solamente por el costo decreciente de las baterías de ion-litio. Además, recibió un impulso adicional con el anuncio de los principales actores de la industria automotriz referente a la decisión de abandonar la fabricación de vehículos con motores

de combustión interna en el mediano plazo, debido a la prohibición de su venta en algunos países europeos: por ejemplo, Francia prohibirá su venta en 2040, Alemania en 2030 y Holanda en 2025. De hecho, varios fabricantes de automóviles han asumido crecientes compromisos para reducir la producción y venta de autos a combustión interna, y dar paso a los vehículos eléctricos. Por ejemplo, VW, Daimler, Nissan, Volvo y otros fabricantes de automóviles globales han realizado planes agresivos para electrificar sus vehículos en los próximos 10 años. En un caso más extremo, la compañía China Changan se ha comprometido a vender solo vehículos eléctricos después del año 2025.

En el proceso de consolidación de la electromovilidad, un aspecto muy importante que ha de ser destacado se relaciona con las mejoras introducidas a los marcos regulatorios y normativos que han empujado a la industria automotriz en la dirección de desarrollar tecnologías de transporte más limpias y eficientes, de manera de bajar las emisiones del sector y contribuir a mitigar sus externalidades negativas.

En la perspectiva señalada, ha sido especialmente relevante la Declaración de París sobre ElectroMovilidad y Cambio Climático (2015) que estableció los objetivos a perseguir y el estándar internacional en esta materia que los países decidieron acordar. En esta declaración se señaló que, a pesar de la baja participación de la electromovilidad a nivel internacional en el transporte por carretera (en torno al 1,1%), los países deberían esforzarse por lograr que los vehículos eléctricos alcancen una participación del 20% en el 2030. Este porcentaje es equivalente a más de 100 millones de automóviles (IEA, 2017)<sup>1</sup>.

No extraña, entonces, que los analistas del mercado automotriz esperen que la fabricación de vehículos eléctricos aumente de manera exponencial, esperándose que la cantidad disponible de vehículos al 2030 ascienda a 125 millones<sup>2</sup>. Además, es posible que para el 2040 la cantidad sea aún mayor si el costo de los autos eléctricos no supera la barrera de los 20.000 dólares (en su valor actual).

El desarrollo de la electromovilidad exhibe varias características que se requiere tener en consideración cuando los países estén definiendo sus políticas de modernización e inserción en esta área: el aumento vertiginoso de las ventas de vehículos eléctricos, como ya se expuso, es la característica más evidente, pero no la única; también hay que considerar el papel jugado por China como país que lidera la transición tecnológica en la industria automotriz, la progresiva caída de los precios de las baterías, la incorporación de buses eléctricos en las ciudades y el impacto en el mercado del petróleo (Bloomberg NEF, 2018).

- **Disminución de precios de las baterías de iones de litio y costo decreciente de los vehículos eléctricos.** Como se señaló anteriormente, la creciente competitividad de los precios de los vehículos eléctricos *vis-à-vis* los vehículos con motores de combustión interna se sustenta, principalmente, en la disminución de precios de las baterías de iones de litio ocurrida en el último decenio. El año 2010, los vehículos eléctricos tenían un alto valor debido a que en promedio las baterías tenían un valor igual a 1.000 dólares/kWh. En 2017, sin embargo, el precio de las baterías promedió 209 dólares/kWh. Se estima que hacia el 2030 las baterías alcanzarían un costo de 70 dólares/kWh, es decir, un tercio de los valores actuales (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

Según estimaciones de la IEA, entre 2022 y 2025 el costo y autonomía de un vehículo eléctrico podría ser similar al de uno con motor de combustión interna, provocando un punto de inflexión en la demanda (IEA, 2017). Este punto de inflexión será decisivo para el desarrollo de la electromovilidad, si se asume que hasta ahora la diferencial de precios entre

---

<sup>1</sup> La IEA proyectó que la participación de vehículos eléctricos podría alcanzar entre un 26 y un 32% en 2060.

<sup>2</sup> A nivel global la venta es aún pequeña, estando por debajo el 2% en la mayoría de las regiones. La expectativa es que las ventas se incrementen desde 1,1 millón a nivel mundial (2017) a 11 millones el 2025 y a 125 millones el 2030.

ambas tecnologías refleja, en términos sociales, el costo que representa para la sociedad hacerse cargo del daño ambiental que generan los vehículos con motores de combustión interna. Si esta diferencial de precios desaparece por efecto del menor costo de fabricación de los vehículos eléctricos, su expansión como tecnología dominante no tendrá obstáculos estructurales que la impidan. Por cierto, el desarrollo de la electromovilidad implicará que las necesidades de carga de los vehículos con baterías de ion-litio emerjan como uno de los desafíos a tener en cuenta para las regulaciones en el uso de la red energética.

De acuerdo con el reporte de Bloomberg, la capacidad de fabricación de baterías de ion-litio en la actualidad es de alrededor de 131 GWh por año. En el corto plazo, a causa de las plantas que están anunciadas y en construcción, se espera que la capacidad aumente a más de 400 GWh para 2021. El 73% de la capacidad global se concentraría en China. Pese a lo anterior, se espera que se realicen mayores inversiones en el sector, debido a que para el 2030, se espera que la demanda global de baterías ion-litio para vehículos eléctricos supere los 1.500 GWh.

Dado lo anterior, es factible prever un aumento de la demanda (y del precio) de insumos que son claves para la fabricación de las baterías, tales como el cobalto, el litio y el níquel. Adicionalmente, se estima que la demanda de los componentes de las baterías de ion-litio (electrodos, electrolitos) también aumentaría de casi 0,7 millones de toneladas métricas en 2018 a más de 10 millones de toneladas métricas en 2030. Ello incidiría en una mayor demanda de cobre, aluminio y grafito.

- **Importancia del mercado chino:** en 2017, el 21% de las ventas globales de vehículos eléctricos se produjeron en China, específicamente en seis ciudades de este país. En estas ciudades existen importantes restricciones a la compra y uso de nuevos vehículos con motores de combustión interna, lo que deja en evidencia la firme disposición de las autoridades chinas de avanzar hacia la electromovilidad, así como la importancia de la decisión política para su desarrollo. Se espera que el 2030 las ventas de vehículos eléctricos en China representen el 39% de las ventas mundiales, lo que supone que la electrificación del transporte en ese país avanzará en esta década, del 2020, con mayor celeridad que en el resto de los países de la comunidad internacional. Sobre la base de estos antecedentes, los analistas concuerdan que China liderará la transición hacia la electromovilidad (Bloomberg New Energy Finance, 2018).
- **Autobuses eléctricos.** Su participación en el parque vehicular crece a tasas mayores que los de uso particular. Nuevamente, destaca el caso de China, que lidera la instalación de puntos de carga de los e-buses, y donde las principales ciudades de este país planificaron electrificar completamente su transporte público hacia el 2020. Para el año 2040, se espera que cerca de 2,3 millones de buses eléctricos estén circulando a nivel global.

Respecto a la inserción de los denominados e-buses en los sistemas de transporte público, el avance ha sido creciente y sostenido, lo que ha estado gatillado por la necesidad de varios de los países que lo impulsan de transitar hacia un sistema un transporte sostenible en términos ambientales (menor contaminación atmosférica) y rentable a la vez.

En un ejercicio de comparación entre buses eléctricos y buses convencionales, Bloomberg destaca que los primeros tienen menores costos operativos y que pueden ser más económicos en su adquisición y operación dependiendo de la distancia recorrida, observándose que las opciones de autobuses eléctricos mejoran significativamente en la medida que aumenta el número de kilómetros recorridos anualmente. Por ejemplo, un e-bus de batería de 110kWh junto con la carga inalámbrica más costosa alcanza la paridad con un bus diésel en aproximadamente 60.000 km recorridos por año (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

- **Infraestructura de recarga:** se considera que ésta constituye la principal barrera al desarrollo de la electromovilidad, lo que asociado a dificultades al suministro de materias primas (como el cobalto, níquel o litio), podría afectar la eficiencia y competitividad de los vehículos eléctricos respecto a aquellos que emplean motores de combustión interna. Si se asume que la disponibilidad de cargadores resulta gravitante para la autonomía de los vehículos eléctricos y el desarrollo de la electromovilidad, las políticas de soporte emprendidas por los países para desarrollar la infraestructura de cargadores adquieren una importancia central.

Cabe hacer notar que, a fines de 2017, la IEA estimaba a nivel mundial, la disponibilidad de cerca de 3 millones de cargadores privados en residencias y lugares de trabajo. Al respecto se señala que los cargadores de acceso público complementan el papel de los cargadores privados, razón por la cual deben verse como un componente importante de la infraestructura de suministro. De esta manera, en el diseño de la política de electromovilidad se recalca la importancia de implementar cargadores rápidos en entornos urbanos, los cuales serían esenciales para permitir los viajes de larga distancia.

- Como consecuencia de la inminente expansión de la electromovilidad, se prevé una importante *disminución en el consumo global del petróleo*. Se estima que, por cada 1000 autobuses eléctricos en las calles, se dejan de usar 500 barriles de petróleo cada día. Desde el 2011 el consumo de petróleo ha disminuido cerca de un 3%, estimándose que por efecto del incremento de e-buses en China se está registrando una disminución diaria de 270.000 barriles de petróleo. Esto es más de tres veces la reducción del consumo de petróleo conseguido por los autos eléctricos en el mundo.

## B. ¿Puede Costa Rica avanzar en la senda de la electromovilidad?

### 1. La reducción de emisiones de GEI

En 2015 la comunidad internacional suscribió importantes acuerdos que buscan un desarrollo más sostenible de los países, así como la adopción de medidas y compromisos que enfrentan los efectos del cambio climático. De esta manera, por ejemplo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), definidos en ese contexto, enfatizan metas para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. A su vez, cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años (Naciones Unidas, 2019).

En ese mismo año la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, en su vigésima primera sesión (COP21), dio lugar al Acuerdo de París. Este ofrece el marco global de lucha contra el cambio climático a partir de 2020, teniendo como objetivo fundamental evitar que el incremento de la temperatura media global supere los 2° C respecto a los niveles preindustriales. Además, este acuerdo busca promover acciones que hagan posible que el calentamiento global no supere los 1,5° C (DCC, 2015, p. 9-10).

Durante la celebración del COP21 entre noviembre y diciembre de 2015, Costa Rica presentó su Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés). En esta presentación, Costa Rica reafirma al cambio climático como eje transversal de todas las acciones estratégicas a desarrollarse en el país durante este cuatrienio. Más específicamente, centra su compromiso en aumentar la resiliencia de la sociedad ante los impactos del cambio climático y en fortalecer las capacidades locales para un desarrollo bajo en emisiones a largo plazo. Para esto se establecen dos líneas de contribuciones: mitigación y de adaptación (MINAE, 2015a, p. 2).

En 2016 Costa Rica ratificó el Acuerdo de París mediante la aprobación de la Ley 9.405 (Aprobación del Acuerdo de París) (<https://bit.ly/2NARWGD>). Para el cumplimiento de estos compromisos en materia de mitigación, el país compromete cuatro lineamientos y objetivos de política que se agrupan bajo las siguientes categorías (MINAE, 2015a, p. 13):

- Reducción de la demanda de energía y las emisiones de GEI (eficiencia y conservación energética, estrategias sectoriales bajas en emisiones).
- Descarbonización del suministro de energía (electricidad, biocombustibles).
- Sustitución de combustibles para uso final (edificios, transporte, industria).
- Manejo de sumideros de carbono (planes de uso del suelo, reforestación, control de la deforestación).

Para el cumplimiento de estos compromisos, el Gobierno de Costa Rica, bajo la administración del presidente Solís (2014-2018) presentó ese mismo año, 2015, el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. Este plan abarca elementos de generación eléctrica, uso de energías renovables y movilidad, tanto pública como privada, destacando los siguientes planes:

- Mejoramiento de la flota vehicular del transporte público urbano,
- Integración del transporte público mediante rutas de buses sectorizadas,
- Ampliación de la red ferroviaria, integración del transporte no motorizado, tren eléctrico interurbano y modernización del sector de transporte de carga (MINAE, 2015a, p. 13).

En el mismo sentido, y como parte de las acciones y compromisos internacionales adquiridos, la administración del presidente Alvarado Quesada (2018-2022), presentó en febrero del 2019 el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, que sigue los lineamientos enunciados en el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. El Plan de Descarbonización presentado propone cambios y modificaciones significativas en la oferta de movilidad y transporte (público y privado); la gestión de energía; la construcción sostenible y la industria instalada en el país, así como en la gestión de los residuos de las personas y empresas. Además, incluye pautas para mejorar las prácticas agrícolas y el uso del suelo, y con ello, evitar la deforestación (Gobierno de la República de Costa Rica, 2019). Dicha estrategia contiene 10 ejes que son:

- i) Desarrollo de un sistema de transporte público (autobuses, taxis y Transporte Rápido de Pasajeros-TRP) y movilidad compartida segura, alimentado por energías limpias (sin emisiones) y tan eficiente que desincentive el uso del automóvil particular.
- ii) Transformar progresivamente el parque vehicular del país, transitando de automóviles ligeros de combustión fósil a vehículos cero emisiones, y simultáneamente, promover modelos de negocios de automóviles compartidos autónomos.
- iii) Reducir el impacto ambiental del transporte de carga en el país al favorecer la adopción de tecnologías con mejor eficiencia energética y de vehículos que sean bajos en emisiones de carbono.
- iv) Consolidar un sistema eléctrico nacional capaz de abastecer y gestionar energía de fuentes renovables a un costo competitivo para los usuarios. Asimismo, mejorar la gestión eficiente de los clientes y territorios mediante la digitalización de los procesos institucionales y comerciales.
- v) Desarrollar edificaciones de uso comercial, residencial e institucional bajo estándares de alta eficiencia energética y bajas emisiones.
- vi) Modernizar el sector industrial a través de la aplicación de procesos eléctricos, sostenibles y más eficientes.

- vii) Desarrollar un sistema de gestión integrada de residuos basado en la separación, reutilización, revalorización y disposición final de máxima eficiencia y bajas emisiones.
- viii) Apoyar la adopción de tecnología alimentaria eficiente y baja en carbono que genere bienes de exportación y también para el consumo local.
- ix) Consolidar modelos ganaderos basados en la eficiencia productiva y con una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero.
- x) Consolidación de un modelo de gestión de territorios rurales, urbanos y costeros que facilite la protección de la biodiversidad, el incremento y mantenimiento de la cobertura forestal y de servicios ecosistémicos, a partir de soluciones basadas en la naturaleza.

De las metas contempladas en el Plan Nacional de Descarbonización se puede deducir la intención de vincular a distintos actores económicos que verían beneficiadas sus actividades por el desarrollo de una agenda sostenible, así como a sectores que sus actividades generan altos niveles de contaminación, pero que, aun así, pueden beneficiar el avance de otros. Por ejemplo:

La meta número 4, vinculada a la consolidación de un sistema eléctrico competitivo y renovable, propone que para el 2030 la matriz de energía eléctrica deberá alimentarse en 100% de fuentes renovables, y que para el 2050 la energía eléctrica debiera ser la principal fuente de energía primaria para el sector transporte, residencial, comercial e industrial.

Por su parte, la meta número 1, que propone un sistema de transporte basado en energías limpias, está sólidamente vinculada con los objetivos de 0 emisiones para el 2035 por el 70% de los buses y taxis, y el de disponer de un servicio de tren de pasajeros 100% eléctrico. También, se propone para el 2050 que el sistema de transporte público sustituya al transporte privado como principal opción de movilidad, y que el 100% de los autobuses y taxis sean 0 emisiones para ese año.

Relacionada al contexto de descarbonización y los hallazgos realizados en este estudio, la meta 10 del plan propone un aumento en la cobertura forestal nacional, que permita una mejor fijación de carbono, consolidación de corredores biológicos y una mayor disponibilidad de áreas verdes.

En relación con estas metas y al mejoramiento del transporte público, otra de las herramientas elaboradas por el gobierno central —el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública (2018, p.179)— propone entre sus principales puntos de acción un sistema que genere ventajas de integración a partir de la complementariedad de diversos modos de transporte público (autobús-tren-taxi), mediante la introducción de mejoras en su integración.

En este contexto, se señala la importancia de avances en proyectos como la sectorización e implementación de sistemas de cobros electrónicos. Para estas metas y avances se propone la participación y vigilancia activa del FONAFIFO, como ente ejecutor en temas forestales y de emisiones de GEI, y la Dirección de Cambio Climático como órgano político.

En definitiva, el Plan Nacional de Descarbonización constituye una de las vías sobre las cuales se estructura el Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública 2019-2022 (PNDIP), que busca una desaceleración de las emisiones de GEI en el mediano y corto plazo (MIDEPLAN, 2019, pp. 97-100).

Por otro lado, como parte de los esfuerzos emprendidos por Costa Rica en materia de generar una movilidad baja en emisiones y acorde a los compromisos suscritos ante la comunidad internacional, en febrero de 2018 la Asamblea Legislativa aprobó la Ley Nro. 9.518 de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico. Dicha ley incentiva la adquisición de automóviles eléctricos por medio de la exención del tributo sobre el valor aduanero, el selectivo de consumo y el impuesto general sobre las ventas. En la norma legal se dispone que la exoneración será del 50%, 75% y hasta el 100% de cada impuesto respectivo, según el valor de importación del vehículo.

En lo referente a transporte público, en el artículo 28 de esta ley se instituye la obligatoriedad de los empresarios de autobuses de renovar el 5% de su flota vehicular cada dos años, lo anterior supeditado a viabilidad técnica y financiera. El Gobierno central atenderá este mandato según lo dispuesto en el Plan Nacional de Transporte Eléctrico, publicado el 27 de febrero de 2019. Este plan señala la necesidad de desarrollar estudios de viabilidad financiera, modelos de negocio y esquemas de financiamiento para que la implementación de los nuevos sistemas de transporte público se lleve a cabo de la mejor manera.

Paralelamente a los esfuerzos de incorporación de modos alternativos de transporte de pasajeros con medios bajos en emisiones, destacan los esfuerzos realizados para reorganizar la movilidad, enfocándola en centros urbanos densos en servicio y su sectorización. Esa nueva visión del desarrollo urbano, basada en la sectorización, busca que la planificación de las ciudades se estructure según la disponibilidad de servicios, entre los que se encuentra el transporte público de pasajeros. Para el cumplimiento de esta meta, el gobierno central cuenta en su haber con una serie de herramientas, incentivos y proyectos estratégicos (v.gr., tren eléctrico para pasajeros), que se espera ajusten y complementen las metas y proyectos ya mencionados.

Este último proyecto es considerado un elemento transformador de la movilidad, al ser el medio que creará una serie de puntos intermodales que unirá a diferentes modos de transporte, como bicicletas y autobuses bajos en emisiones, entre otros (Entrevista, Radio Universidad, 2019).

Así también, la Política Nacional de Desarrollo Urbano 2018–2030 ofrece un elemento importante de apoyo para el cumplimiento de los objetivos del VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. Esta política, actualmente en fase de publicación, busca mejorar la calidad de vida de los habitantes del país a través del ordenamiento de las ciudades bajo un enfoque de desarrollo urbano sostenible, y su defensa como sistemas productivos determinantes en la mejora de la competitividad nacional (MIVAH, 2018).

## **2. Mejoramiento de la movilidad urbana en el Área Metropolitana de San José**

### **a) Modernización y sectorización del transporte público**

Desde la década de 1990, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) asignó prioridad a la modernización del transporte público por autobús en el Área Metropolitana de San José (AMSJ). Esto conllevó que se planteara cambiar la logística de operación de las rutas urbanas que ingresan al área metropolitana mediante un modelo de troncalización. Este modelo se basa en unidades geográficas a nivel de sectores y subsectores.

El MOPT ha definido seis principios básicos que orientan el proceso de modernización del transporte público en el AMSJ<sup>3</sup>:

- xi) Sectorización
- xii) Rutas intersectoriales
- xiii) Troncalización
- xiv) Integración de servicios
- xv) Priorización del transporte público
- xvi) Rutas diametral

La sectorización o agrupamiento de rutas urbanas en sectores y subsectores geográficos comenzó a aplicarse en el AMSJ el año 2000 a partir de la promulgación del Decreto Ejecutivo 28337-MOPT. En el período 2000-2016, el proceso de agrupamiento de rutas se fue consolidando paulatinamente en el área metropolitana, especialmente los últimos años: en 2013 entraron en funcionamiento tres rutas intersectoriales y en 2015 lo hicieron tres rutas más.

---

<sup>3</sup> En el anexo 3 se detallan los sectores geográficos seleccionados para la adecuación de rutas, propuestas de troncalización y alcances generales del proyecto.

El servicio de transporte público en el AMSJ se divide en nueve sectores articulados en forma radial desde el centro a la periferia. En total contempla 256 rutas que, durante un día hábil, son utilizadas para movilizar alrededor de 1.218.000 pasajeros.

Se destaca el uso del servicio durante las horas de mayor tráfico, debido a que en éstas la ocupación de las unidades de transporte es de 99% de la capacidad del sistema. Incluso, en algunos sectores se sobrepasa la capacidad y se tiene una ocupación mayor al 100%, como es el caso de Pavas, Hatillos–Alajuelita, San Francisco–Desamparados y Guadalupe–Moravia. Esto destaca la necesidad de reforzar algunos recorridos.

Es útil considerar que la flota total de autobuses que provee el servicio de transporte público del AMSJ la constituyen alrededor de 1.800-1.900 autobuses, cantidad coincidente con la estimada por otros estudios como los de AC&C y Gensler (2017). Se espera que la sectorización programada reduzca la necesidad de buses en recorridos dentro de la GAM, siendo probable que la disminución de la flota gire en torno al 20% de su magnitud actual.

Al respecto, sin embargo, el estudio de AC&C y Gensler (2017) señala que la capacidad de hacer análisis más sólidos del comportamiento del mercado y los concesionarios se ve mermada por la inexistencia de información adecuada para la modelación de la oferta y demanda, debido a que no existe un control continuo de los pasajes vendidos.

#### **b) Impacto de la sectorización en la oferta de servicios de transporte público**

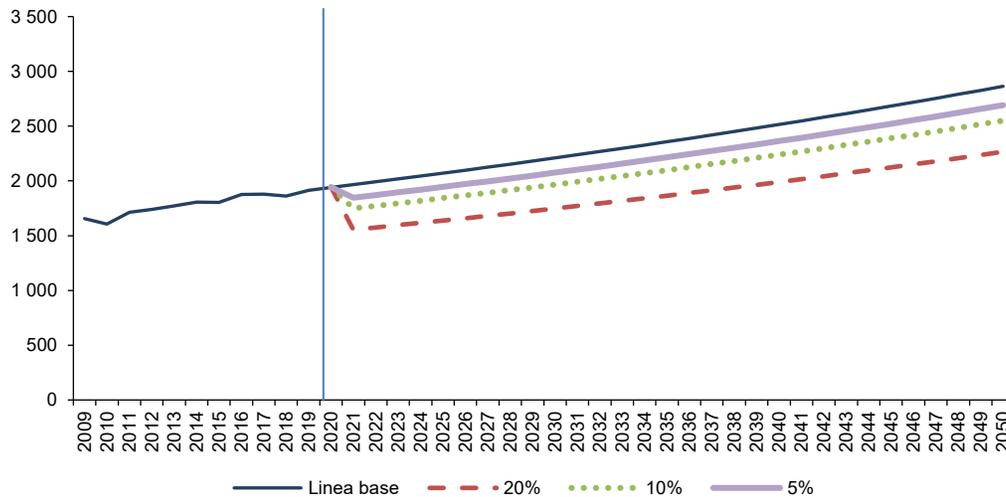
El procesamiento de los datos referidos a la flota de autobuses del AMSJ permite prever varios escenarios, según sean el porcentaje de reducción de la flota al implementarse la sectorización y el año a partir del cual ésta se aplica. Entre los efectos esperados por este proceso, según algunos autores, se produciría una disminución de 15% de las rutas que ingresan a San José. Esto quiere decir que se reducirían cerca de 38 rutas, lo que implica disminuir alrededor de 540 unidades el tamaño actual de la flota de autobuses (Sánchez, L., Agüero, J. y Guadamuz, R., 2018). Similar es la estimación realizada por los funcionarios operativos de empresas concesionarias (Coesa) que fueron entrevistados para este estudio, que esperan una reducción de la flota de buses en torno al 20%.

En el diseño de los escenarios posibles se asume que la sectorización se implemente en tres opciones de año (2021, 2024 y 2027), estimándose para cada año una posible reducción del 20%, 10% y 5% de la flota total. En el gráfico 1 se muestra la evolución probable del tamaño de la flota si la sectorización se implementara en un año tomado como base para ejemplificar, como el 2021, apreciándose la incidencia que tendría la reducción de la flota en los porcentajes señalados.

Para estimar este escenario, se observa el crecimiento promedio del período 2014-2019, sobre la base de datos disponibles para la mayor cantidad de rutas. Únicamente se omite la información referida a la ruta 300 del año 2019, pues no estaba incluida en los cortes transversales correspondientes a los años anteriores (2014-2018) al estimarse la variación promedio anual. Al tratarse de una flota de 236 buses que no se observa en la serie de tiempo, su inclusión distorsionaría el comportamiento promedio de las variaciones anuales en la flota total de buses en el AMSJ.

La serie no permiten asignar un componente autorregresivo o de medias móviles para realizar estimaciones, por lo que se procede a utilizar el crecimiento promedio presentado para los años de la muestra (2014-2019). Tal incremento fue de 1,3%, utilizándose ese guarismo para estimar el tamaño de la flota de autobuses para los años 2020 y 2021. A partir de esto, como ya se indicó, se estiman tres proyecciones, suponiendo reducciones de 20%, 10% y 5% de la flota del 2020. Dado que la sectorización incide en el tamaño de la flota únicamente por el ajuste inicial de las operaciones reducidas hacia San José, se estima que el crecimiento en el tiempo no cambiaría significativamente, por lo que a partir de la reducción de la flota asumida inicialmente se mantiene la tasa de crecimiento de 1,3%.

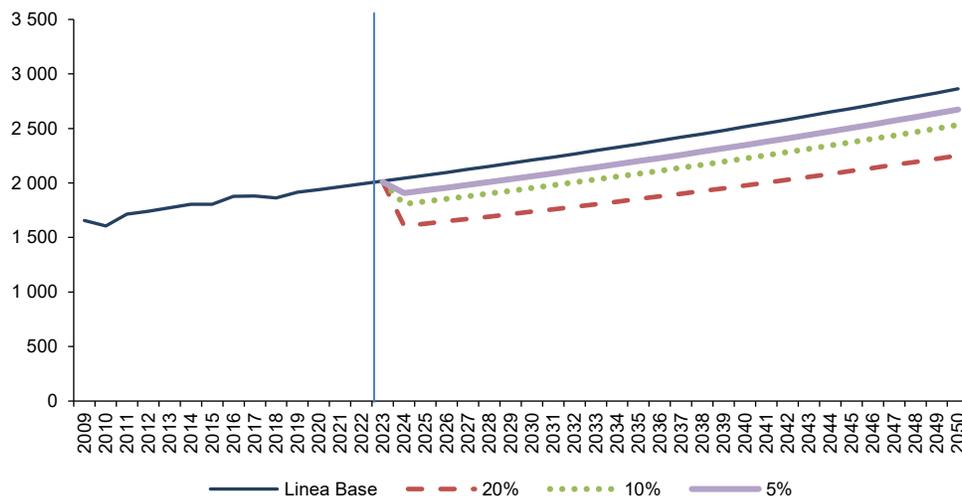
**Gráfico 1**  
**Flota de buses con sectorización**



Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de datos de la ARESEP.

En un segundo escenario, la sectorización se completa el 2024. En este caso se asume una tasa de crecimiento del 1,3% para la flota de buses desde el 2020 hasta el 2023. A continuación, entre el 2023 y el 2024, la flota de autobuses se reduce en 20%, 10% y 5% respecto de su volumen en 2023 por efecto de la sectorización (véase el gráfico 2). En este caso, dada la naturaleza de la estimación, la reducción en términos de unidades de buses es mayor. Sin embargo, la tasa de crecimiento post-sectorización se mantiene.

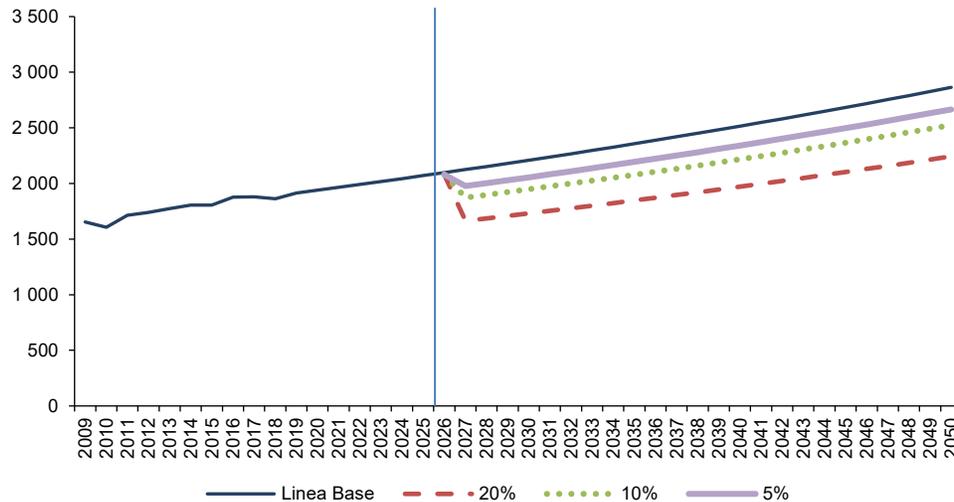
**Gráfico 2**  
**Flota de buses con sectorización para el 2024**



Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de datos de la ARESEP.

Para el último escenario, el correspondiente a 2027, al igual que los anteriores, se asume una tasa de crecimiento de 1,3% de la flota de buses entre el 2020 y el 2026, la aplicación de la sectorización el 2027 y reducción de la cantidad de buses en los porcentajes indicados, y crecimiento de ésta, a partir del 2027 en 1,3%. Nuevamente, se observa las mismas características de los escenarios anteriores excepto que la variación del tamaño de buses es mayor (véase el gráfico 3).

**Gráfico 3**  
Flota de autobuses con sectorización para el 2027



Fuente: Elaborado por los autores con datos de la ARESEP.

### c) Sectorización y sustitución de autobuses convencionales

La modernización del transporte público en el AMSJ implica, además de su reordenamiento sustentado en la sectorización y demás principios de la política impulsada desde el 2000, la sustitución progresiva de los autobuses con motor de combustión interna por autobuses eléctricos. Esta sustitución debe hacerse teniendo en consideración el reordenamiento del transporte público dispuesto por la sectorización del AMSJ. Al respecto, ha de tenerse en cuenta que este proceso requiere un plazo de ocho años para establecerse en plenitud, según lo planteado en forma mayoritaria en las entrevistas realizadas.

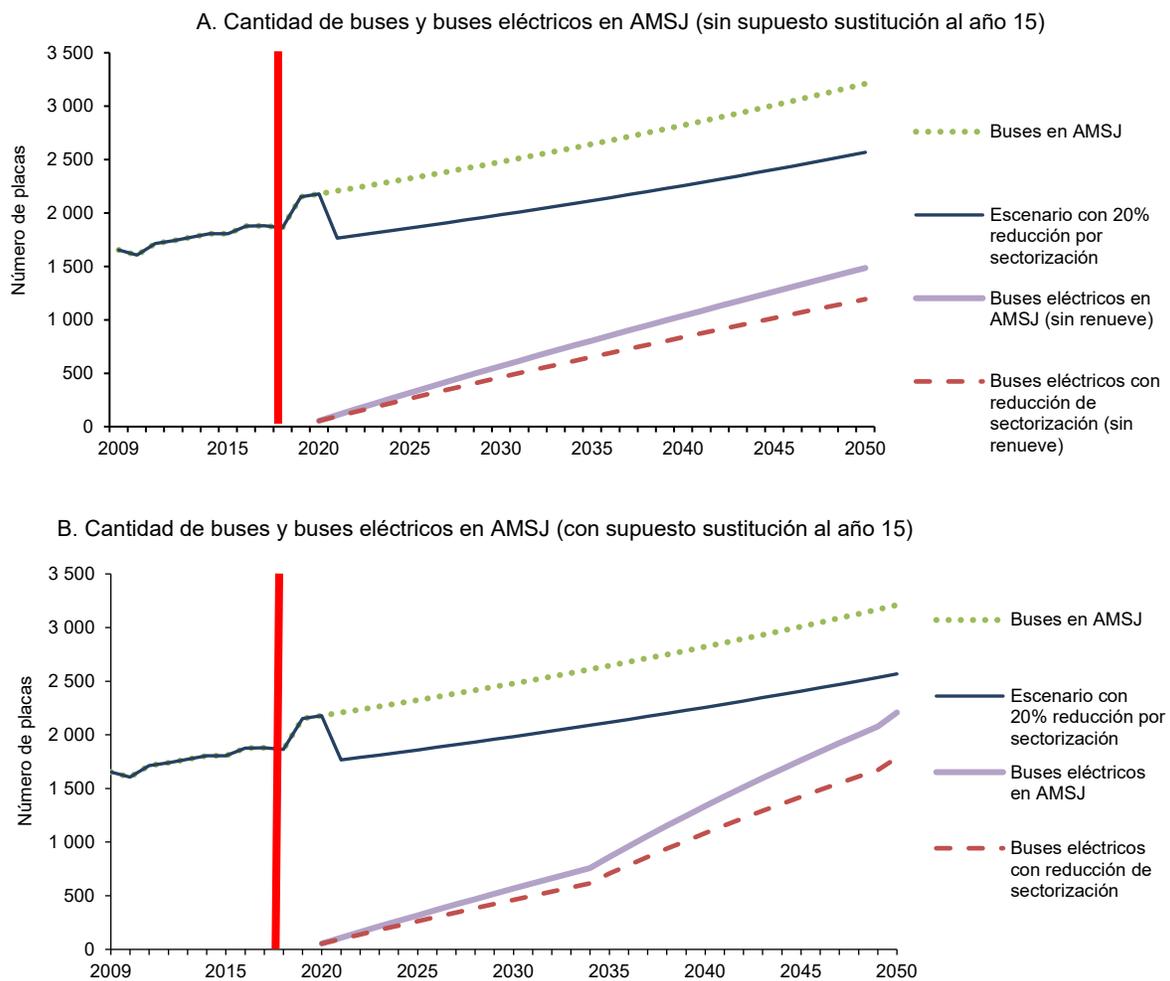
Las estimaciones referidas al proceso de electrificación de la flota de autobuses consideran supuestos similares al escenario inicial acá planteado. Por lo tanto, para los escenarios que consideran una disminución de la flota por efecto de la sectorización se realiza una estimación de la cantidad de autobuses según los datos existentes. Así, para el año 2020, se aplica una disminución del 20% de la flota, y para la proyección correspondiente a los años posteriores se mantiene la línea base con un crecimiento del 1,3% anual (tasa establecida conforme el comportamiento autorregresivo de las series y su variación promedio).

Para la estimación de las series de autobuses eléctricos se utiliza una tasa de recambio igual al 5% bianual del saldo de placas concesionadas de buses diésel (es decir, un 2,5% anual del saldo de buses no sustituidos), tanto para la línea base como para el escenario de sectorización. Por lo tanto, el recambio de tecnologías se realiza a dicha velocidad, pero las unidades eléctricas que cumplen con su vida útil se asumen que son renovadas por otro autobús eléctrico. De esta manera, la proporción de autobuses eléctricos respecto del total aumenta de manera más acelerada (véase el gráfico 4).

Dicho supuesto es vital para el rápido avance de la electromovilidad en el país. La Ley Nro. 9.518 establece la obligatoriedad de sustituir bianualmente un 5% del saldo de la flota diésel, pero pasados los 15 años, una cierta cantidad de buses eléctricos debe ser renovada al cumplir su vida útil. Si los autobuses por renovar a partir del año 15 de implementación de este plan de sustitución de flota incluyen los e-buses que cumplieron su vida útil, se ralentizará el proceso en su conjunto. Por lo tanto, el reemplazo de los e-buses que cumplieron su vida útil no deben ser considerados en el registro de buses con motores de combustión interna que deben ser reemplazados conforme a lo dispuesto en la Ley Nro. 9.518.

Para ilustrar el impacto que tiene el considerar o no este supuesto dentro de los resultados, se confecciona el gráfico 4, que presenta el avance de escenarios con o sin consideración del supuesto.

**Gráfico 4**  
**Avance de flotas eléctricas según sustitución bienal plantada por ley y supuesto de renovación para buses eléctricos**



Fuente: Elaborado por autores sobre la base de datos de la ARESEP.

En el gráfico presentado, se observa un crecimiento mayor para las series de autobuses eléctricos a partir del 2035, primer año en el que los e-autobuses adquiridos durante el 2020 cumplen con su vida útil y deben ser renovados. Para éste y años posteriores, la cantidad de buses a adquirir por las

concesionarias debe corresponder a los necesarios para cumplir con el porcentaje de sustitución estipulado por la norma legal y también para sustituir los e-autobuses que cumplen su vida útil.

Cuando se incluye el supuesto de renovación de e-autobuses por otros e-autobuses se alcanza para el 2050 una proporción de electrificación de casi 70%, mientras que cuando no se considera este supuesto se alcanza una proporción de solo 46%. Por lo tanto, el objetivo de 100% de electrificación de la flota se alcanza en 2066 para el escenario con el supuesto incluido, porcentaje de cumplimiento que se reduce a 57% para ese mismo año sin el supuesto.

En 2020, la disminución de la flota de autobuses determinada por la sectorización implicaba que la cantidad de buses eléctricos a adquirir anualmente disminuyera también. De hecho, se observa una pendiente menor en el largo plazo. Esta disminución no afectará de manera significativa, para los años siguientes, la velocidad de aumento de la proporción de e-autobuses respecto al total, ya que escenarios con o sin consideración de sectorización rondan el 70% de electrificación para el 2050.

Sin embargo, la cantidad de e-autobuses estimada para 2025 (264 buses) y la menor cantidad de buses en la GAM por efecto de la sectorización, implican reducciones de más de 6,19 millones de litros de diésel anuales, y ahorros en emisiones por sobre 20.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e anuales. Para el 2050 (1.787 e-autobuses) se obtendrían ahorros de casi 42 millones de litros de diésel y reducciones de emisiones por casi 136 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e anuales. Además, existen ahorros implícitos por reducción de contaminantes, reducción de importaciones y apoyo a mitigación de riesgos ambientales (véase el cuadro 2).

**Cuadro 1**  
**Estimación a futuro de la cantidad de buses eléctricos en el Área Metropolitana, y sus respectivos ahorros anuales en consumo de diésel, emisiones de CO<sub>2</sub>E y aumento en demanda de KWH**

	Placas en AMSJ	Buses a adquirir anualmente (2,5%)	Total de buses eléctricos AMSJ	Proporción de buses eléctricos (en porcentajes)	Litros de diésel ahorrados (l/año)	Demanda de kWh (kWh/año)	Emisiones de GEI evitadas (tonCO <sub>2</sub> e/año)
2020	2 179	54	54	3	1 280 141	3 540 815	4 143
2025	1 859	41	264	14	6 195 382	17 136 163	20 051
2030	1 984	39	462	23	10 864 241	30 050 028	35 161
2035	2 116	92	707	33	16 618 706	45 966 634	53 785
2040	2 257	72	1 084	48	25 466 381	70 438 925	82 420
2050	2 568	114	1 787	70	41 996 009	116 159 173	135 917
2060	3 117	119	3 040	98	71 432 221	197 578 482	231 185

Fuente: Elaborado por autores con datos de la ARESEP.

Nota: Se considera un kilometraje de 50.000 km/año y factores de consumo y contaminación según los descritos en el anexo 4.

Para poner en valor monetario lo que estas disminuciones en emisiones e importación de hidrocarburos representan, se procede a calcular los montos según las cantidades estimadas y precios para el diésel y el CO<sub>2</sub>.

Para el CO<sub>2</sub> se emplea inicialmente el Costo Social del Carbono o CSC (CEPAL, 2019), que es fijado para América Latina en 25 dólares/ton CO<sub>2</sub>e. A este valor se agrega un dólar por año hasta el 2060, siguiéndose la recomendación del manual de la Unión Europea (2014), la que implica asumir la alta probabilidad de incrementos sucesivos del costo asociado al carbono.

Los montos obtenidos por las reducciones anuales de CO<sub>2</sub> mencionadas, considerando un kilometraje de 50.000 km/anuales por cada autobús eléctrico, se detallan en el cuadro 2.

**Cuadro 2**  
**Ahorro por disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero**

	Emisiones de GEI evitadas (tonCO <sub>2</sub> e/año)	Precio de CO <sub>2</sub> (USD/tonCO <sub>2</sub> e)	Ahorro por disminución de GEI (milesUSD/año)
2020	4 143	25	103,58
2025	20 051	30	601,53
2030	35 161	35	1 230,65
2035	53 785	40	2 151,41
2040	82 420	45	3 708,90
2050	135 917	50	6 795,85
2060	231 185	60	13 871,10

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Según las valorizaciones presentadas en el cuadro 2, el ahorro anual por disminución de GEI (emisiones evitadas) superaría los 6,79 millones de dólares a partir de 2050. Además, dado que existe el riesgo social y ambiental de un aumento drástico de las emisiones de GEI en el futuro cercano, los beneficios a obtener por emisiones evitadas podrían ser mayores.

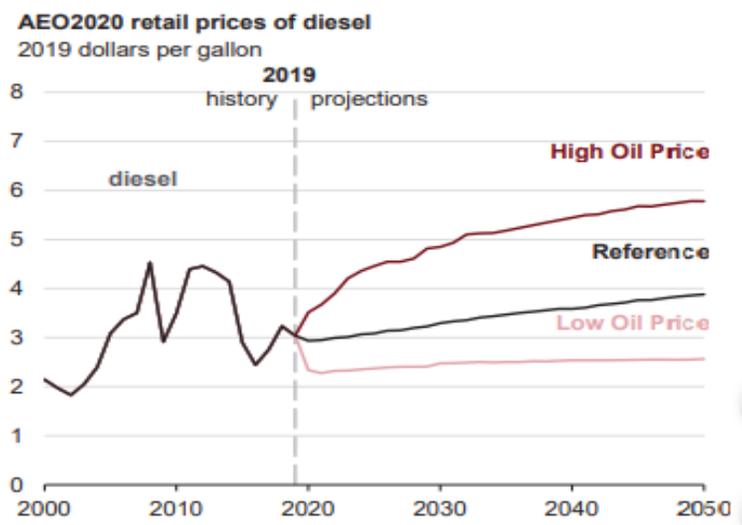
#### d) Disminución de la factura petrolera

Otro beneficio implícito para la economía costarricense que conlleva la electrificación del transporte público es la disminución de la factura petrolera, lo que tiene una incidencia importante en la balanza comercial. Gran parte de estos recursos, que se destinaban a la importación de hidrocarburos, podrían reasignarse con el propósito de potenciar las operaciones del Instituto Costarricense de Electricidad.

Para estimar la disminución de la factura petrolera es posible utilizar las estimaciones de la Energy Information Administration (2020) en su Energy Outlook 2020. En el 2019 el precio promedio del diésel en Estados Unidos fue aproximadamente 3 dólares por galón (0,80 dólar por litro).

El gráfico 5 muestra los precios cobrados en las estaciones de servicio por el diésel a partir del 2000 y las predicciones del precio a partir de 2020 hasta el 2050.

**Gráfico 5**  
**Precio del diésel en estaciones de servicio en Estados Unidos, 2019**  
(En dólares por galón)



Fuente: EIA (2020, p. 42). Energy Outlook 2020.

A finales del período considerado en la estimación (año 2050), el precio del diésel fluctúa entre 2,4 y 5,8 dólares el galón. De esta manera, para la estimación de los beneficios se puede partir de un precio de 3 dólares por galón para el 2020 y suponer un crecimiento anual de 0,083 dólares por galón hasta llegar a 5,5 dólares por galón en 2050. Dicho precio máximo es el considerado también para el 2060 (véase el cuadro 3).

**Cuadro 3**  
**Ahorros en la factura petrolera por reducciones en el consumo anual de diésel a causa de sustitución de tecnologías en autobuses**

	Litros de diésel ahorrados (l/año)	Precio estimado del diésel (USD/l)	Ahorro por disminución de factura petrolera (En miles de dólares/año)
2020	1 280 141	0,80	1 024
2025	6 195 382	0,91	5 638
2030	10 864 241	1,02	11 082
2035	16 618 706	1,13	18 779
2040	25 466 381	1,24	31 578
2050	41 996 009	1,46	61 314
2060	71 432 221	1,46	104 291

Fuente: Elaboración propia utilizando datos de EIA (2020, p. 42). Energy Outlook 2020.

Nota: precios del diésel acordes a escenario de precio alto brindado por la EIA (2020).

Los beneficios económicos posibles de generar por el ahorro en la importación de petróleo son de una magnitud importante y creciente, y de variada incidencia. El ahorro anual estimado aumentaría progresivamente conforme se incremente el parque de vehículos eléctricos y, a la vez, disminuyen los vehículos motorizados a combustión, estimándose que el ahorro generado ascendería a 75,7 millones de dólares hacia el 2050 y a 129,6 millones en 2060, cuando haya sido sustituida buena parte de los autobuses que prestan servicios de transporte público.

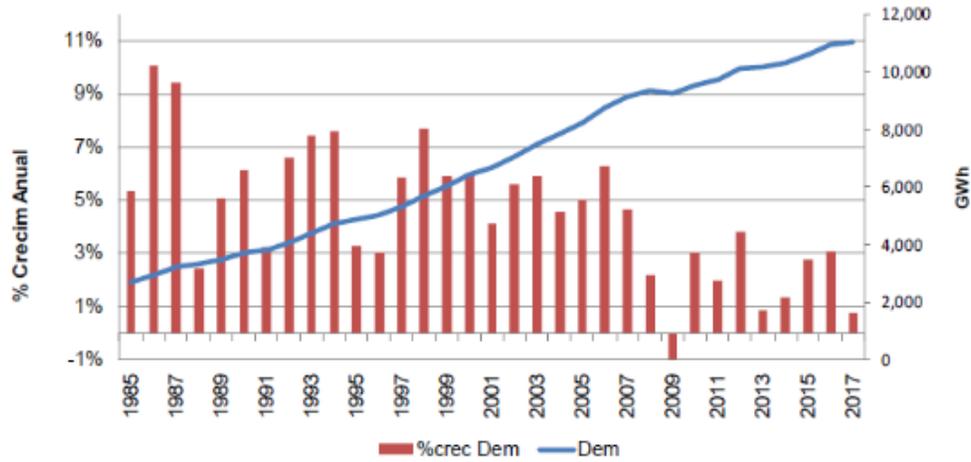
Simultáneamente, conforme se va consolidando el proceso de electrificación del transporte público, se reduciría significativamente la dependencia de Costa Rica de insumos energéticos que ahora debe importar sin ser un agente tomador de precios (por lo tanto, expuesto a los vaivenes de los precios internacionales), a la par de disminuir la emisión de GEI, lo que también implica un menor gasto en salud pública. Como previamente se mencionó, un porcentaje amplio de estos fondos ahorrados serían percibidos en el mercado interno mediante el cobro de tarifas eléctricas por el ICE u otros operadores, además de un mejor aprovechamiento de la producción eléctrica nacional.

Por lo tanto, a pesar de que la proporción de electrificación estimada inicialmente no alcance el objetivo del 100% para el 2050, los escenarios futuros con una mayor implementación de tecnologías limpias y un mercado de electromovilidad más afianzado, pueden brindar a los concesionarios la oportunidad de trasladarse a tecnologías sustentables a tasas mayores. Para tal efecto, podría ser necesario mejorar las especificaciones sobre los porcentajes de flotas que deben ser cambiados y precisar los factores a considerar (antigüedad, tamaño de la flota, demanda, porcentaje de operación en sobreuso, cantidad de viajes por bus en las rutas, entre otros), de manera de hacer el proceso más estable y acorde a las necesidades ambientales y mejor encaminado a la electrificación total del parque de autobuses.

#### **e) Aumento de demanda de energía eléctrica**

Está claro, por otra parte, que el aumento en la cantidad de autobuses eléctricos en el país se reflejaría en un aumento en la demanda de energía eléctrica a nivel local. Ha de considerarse que en el Plan de Expansión de la Generación 2018-2034, elaborado por el Instituto Costarricense de Electricidad, la demanda de energía eléctrica aumentó entre el 1990 y el 2006, en un promedio del 5,5% anual entre 1990 y 2006 (ICE, 2018, p.7). En años posteriores al 2007, se observan crecimientos porcentuales menores al 5% (véase el gráfico 6).

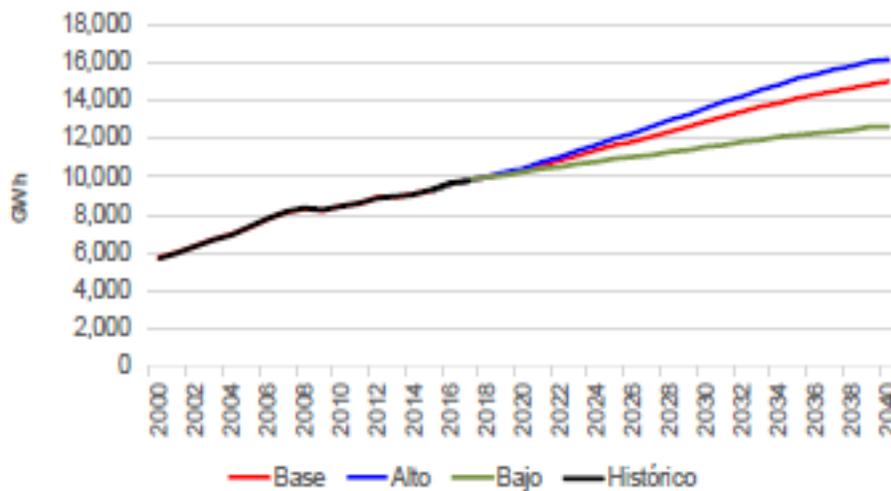
**Gráfico 6**  
**Demanda de generación de energía eléctrica y su crecimiento porcentual entre 1995-2017**  
*(En GWh, eje derecho y en porcentajes, eje izquierdo)*



Fuente: ICE (2018), Plan de Expansión de la Generación 2018-2034.

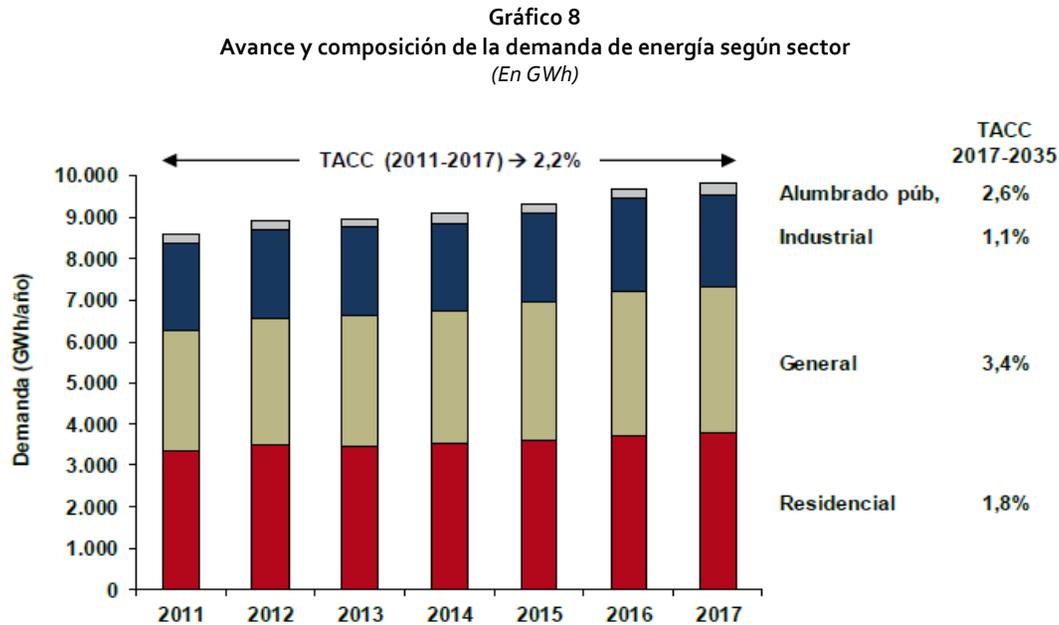
Dado que la demanda no coincide exactamente con la generación efectiva, este plan contempla algunas proyecciones para la demanda de energía eléctrica. Tales predicciones consideran tres escenarios de crecimiento de la demanda: alto, bajo y medio (véase el gráfico 7). Empero, en la metodología utilizada no está especificado que se considere la irrupción y aumento creciente de vehículos eléctricos en el país, lo que podría distorsionar, si así fuese, la estimación de la demanda y sostenibilidad del sector energético a futuro.

**Gráfico 7**  
**Ventas históricas y proyecciones de demanda para el 2040**  
*(En GWh)*



Fuente: ICE (2018). Plan de Expansión de la Generación 2018-2034.

La electrificación de los distintos tipos de vehículos (hogares, empresas, instituciones públicas y flota de transporte público) causará con seguridad un aumento de la demanda de energía. Al respecto, BCIE y Creara (2019) hacen una caracterización de la demanda de electricidad en el país, desagregándola por tipo de usuarios. Esta desagregación permite constatar que el consumo residencial y el general (conformado por el comercio y el consumo público) mantienen una proporción cercana al 75% de la demanda total. Además, señalan que la demanda ha mantenido una tasa promedio de crecimiento anual del 2,2% (véase el gráfico 8).

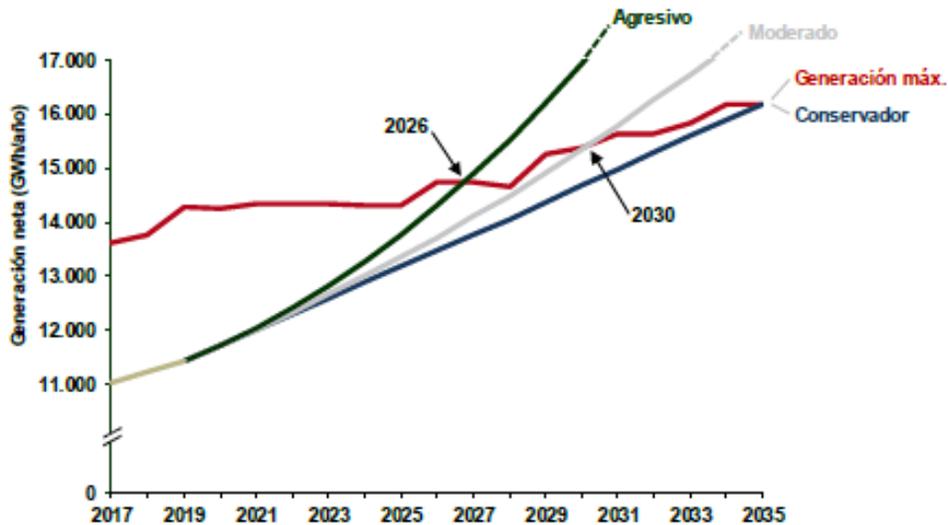


Fuente: Creara (2019, p. 87), acorde al Plan de Expansión de la Generación 2018-2034.

Sobre esta base, Creara realiza estimaciones de la demanda futura de electricidad y el efecto de los vehículos eléctricos sobre la misma (Creara, 2019, p. 92). Para ello, considera 3 escenarios según las tasas de adopción de tecnologías eléctricas, además de aspectos de rendimiento y kilometraje promedio para los distintos tipos de vehículos eléctricos. Compara los resultados de demandas obtenidos con la generación máxima disponible mediante fuentes renovables para cada año y encuentra que el suministro de energía eléctrica puede verse comprometido, dependiendo de la velocidad o agresividad en la adopción de la población de las tecnologías eléctricas.

Las estimaciones realizadas por Creara (2019), señalan que, si la adopción de tecnologías eléctricas se lleva a cabo de manera conservadora, la capacidad de generación máxima no se vería afectada. Sin embargo, si la adopción de tecnologías eléctricas es más rápida, y, por lo tanto, se produce una acelerada reducción en el consumo de combustibles fósiles, sí podría comprometerse la capacidad de suministro eléctrico (véase el gráfico 9). Por lo tanto, es importante que los operadores eléctricos hagan un buen seguimiento del avance de la electromovilidad con el propósito de no comprometer el suministro de energía eléctrica a cierta parte de la población o actividades productivas, o bien, que el sistema eléctrico costarricense aumente su capacidad de generación (potencia) si advierte que el suministro se ve comprometido.

**Gráfico 9**  
**Comportamiento de la generación máxima disponible y la generación neta necesaria según escenarios de adopción de tecnologías eléctricas para el transporte, 2017-2050**  
*(En GWh)*



Fuente: Creara (2019, p. 87), acorde al Plan de Expansión de la Generación 2018-2034.

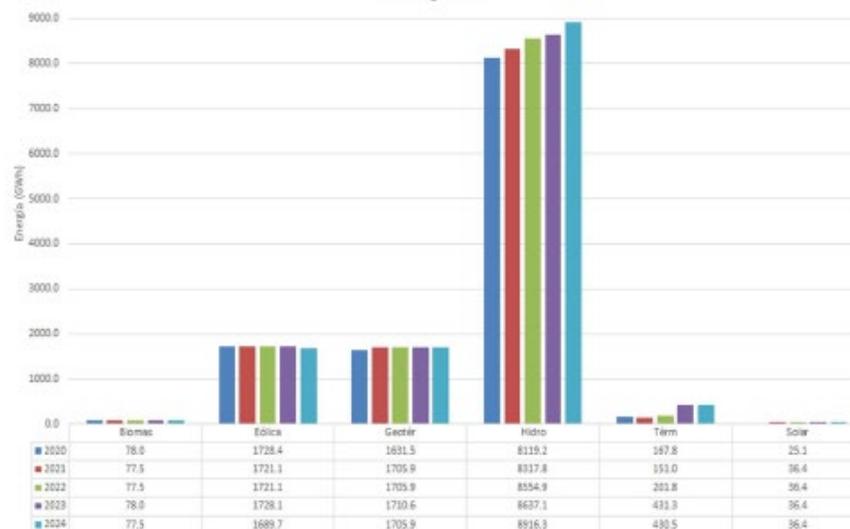
El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) ha elaborado un Planeamiento Operativo Energético para el SEN 2020-2024, que incluye predicciones de demanda y producción de energía eléctrica, pero más concentradas en el corto plazo. En virtud de las características de la matriz energética disponible, basada en la hidroelectricidad, la producción anual de electricidad proyectada para el período 2020-2024 conserva el predominio de la generación hidroeléctrica de los últimos años. Se espera que esta fuente de energía se mantenga predominante en los ciclos siguientes (ICE, 2020, p. 37).

Se estima que en el 2040 la flota de autobuses eléctricos en la Gran Área Metropolitana podría ser superior a 1.330 buses. Esta cantidad de autobuses representa un consumo de aproximadamente 602 millones de kWh, equivalente a 602 GWh (véase el cuadro 2). Por lo tanto, este aumento en la demanda que produciría la electrificación del transporte público, estimado en 602 GWh, representa aproximadamente 7,4% de la generación de energía hidroeléctrica del 2020. Dado que el transporte público de pasajeros mediante autobuses no constituye el principal motivo de uso de combustibles a nivel nacional, el crecimiento de la flota vehicular eléctrica privada y pública puede generar aumentos en la demanda de electricidad en periodos de tiempo más cortos, y comprometer en consecuencia el abastecimiento futuro. Al respecto debe tenerse en consideración que el sistema eléctrico debe tener la capacidad de responder a la demanda máxima potencial de energía, independientemente que ésta se produzca en solo un tramo horario.

Las predicciones de generación eléctrica según fuente brindadas por el Instituto Costarricense de Electricidad se señalan en el gráfico 10.

Dado que el proceso de electrificación de la flota de autobuses se llevaría a lo largo de varias décadas a partir del tiempo presente, se sugiere disponer de una mejor oferta de combustibles para la flota que emplea tecnologías convencionales y que debe permanecer en funciones y durante este período de transición. De esta manera, el tema de los biocombustibles ha sido introducido y analizado por distintos actores en varias ocasiones.

**Gráfico 10**  
**Proyección de generación de energía eléctrica según fuentes, 2020-2024**  
 (En GWh)



Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad (2018). Plan de Expansión de la Generación 2018-2034.

El avance logrado en la producción de biocombustibles constituye otra vía para mejorar la independencia energética de Costa Rica. Efectivamente, la producción de biocombustibles mediante recursos producidos localmente —como el sorgo y la planta aceitera—, permite además un mejor aprovechamiento de los recursos existentes y una mayor cantidad de enlaces entre el sector primario y secundario con el de servicios. Esto último mediante un mayor encadenamiento entre productores agrícolas, fabricantes de biocombustibles y entidades financieras aportantes del financiamiento requerido.

El marco referente a las leyes y planes que impulsan el uso y producción de biocombustibles en el país, así como estimaciones de algunos beneficios en emisiones de GEI por la sustitución de hidrocarburos son mencionados en el anexo 2.

También resulta relevante considerar que frente a una mayor demanda de energía eléctrica, Costa Rica disponga de la capacidad instalada suficiente para generar la energía adicional requerida mediante fuentes renovables o de menor impacto ambiental y con eficiencia económica. En otras palabras, se ha de tener consciencia respecto a que la necesidad de una mayor generación eléctrica no debe comprometer el suministro general ni la matriz energética renovable del país.

### C. Experiencias internacionales relevantes

Esta sección expone algunos de los principales casos internacionales de incorporación de autobuses eléctricos como solución para un transporte colectivo sostenible en términos ambientales. Este recuento se enfoca en los países que han sido pioneros en la incorporación de esta tecnología, especialmente en América Latina, con el propósito de obtener un cercano reflejo de la ruta que debe atravesar Costa Rica para alcanzar tal sustentabilidad.

Un aspecto relevante de las experiencias analizadas es la iniciativa impulsada para producir autobuses por las empresas ensambladoras, así como para generar un mercado en torno a la conversión de los buses de combustión interna en buses eléctricos.

Al respecto destacan los resultados obtenidos en Alemania y Chile. En Alemania, el proveedor alemán de partes y sistemas automotores ZF y la empresa In-Tech desarrollaron una nueva tecnología llamada e-troFit<sup>4</sup>, que permite transformar los autobuses diésel a eléctricos. Aunque esta tecnología es solamente ofrecida en Alemania, se espera una rápida expansión en los demás países de Europa.

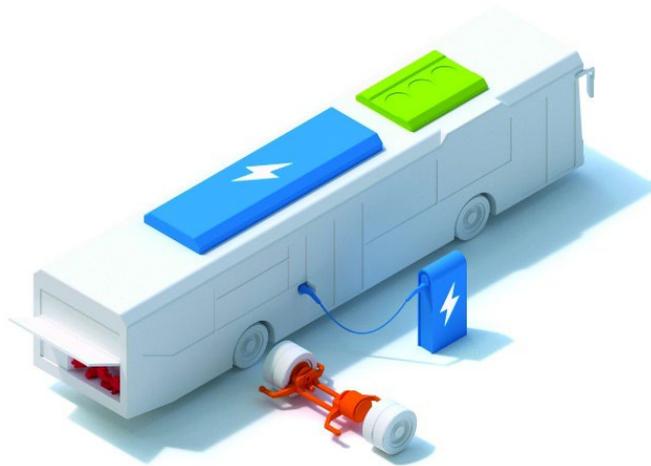
Esta opción presenta grandes ventajas para los países que desean electrificar su transporte público, en la medida que les permite sortear exitosamente las varias dificultades relacionadas con la sustitución de grandes flotas por buses nuevos, la gran y constante relevancia del transporte público en la vida de las personas, los tiempos de espera para la fabricación de los buses y baterías, así como el diferencial de precio entre las tecnologías aplicadas.

El periodo de vida útil de un autobús de combustión ronda los 15 años, y el cambio es recomendado en gran parte por motivos ambientales, asumiéndose que cumplido este ciclo los motores, filtros y sistemas se desgastan y generan mayor contaminación. Por esta razón se entiende que cumplido este período de vida útil irrumpe la oportunidad de brindar a la estructura del autobús una segunda vida útil, dado que el chasis y carrocería se mantiene en buen estado, mediante un sistema eléctrico y cero emisiones.

Además, las diferencias en el tiempo de fabricación es un factor a favor de la reconversión, ya que el proceso de fabricación de un autobús nuevo puede tardar hasta más de 14 meses, en tanto el proceso de reensamblaje y reconversión puede realizarse en menos de un mes, según lo señalado por representantes de las empresas interesadas en desarrollar este mercado. Ello se explica, básicamente, porque el proceso consiste en la extracción de los motores y partes mecánicas necesarias en las tecnologías de combustión y el aprovechamiento de los espacios restante para la inclusión de baterías y sistemas centrales eléctricos.

A pesar de las grandes similitudes de diseño entre las marcas de autobuses, ha de tenerse en cuenta que el reensamblaje debe ser realizado según las características específicas del autobús que es renovado. De todos modos, e-TroFit brinda una idea del resultado una vez realizada el reensamblaje (véase la imagen 1).

**Imagen 1**  
**Proceso de reensamblaje y sustitución de sistemas de combustión de diésel a eléctricos**



Fuente: Tomado de boletín informativo de e-TroFit.

<sup>4</sup> Más información del proceso, desarrollador y demás en <https://www.e-trofit.com/en/>.

En el caso de Chile, la empresa Reborn Electric<sup>5</sup> ha incursionado en el reensamblaje de autobuses en los últimos años. Actualmente, la empresa se encuentra en el testeo interno del prototipo de bus construido durante el 2017 y 2018, bajo la supervisión técnica del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de ese país.

El prototipo realizado por Redborn Electric partió con el apoyo y financiamiento de Enel, empresa distribuidora de electricidad en la Región Metropolitana de Chile. Este proyecto consistió en tomar un autobús operado por la empresa de transporte Metbus, el que tuviera la mayor cantidad de kilometraje, procediéndose a convertir su sistema de propulsión a 100% eléctrico.

Redborn Electric y Enel coinciden en destacar que el costo del reensamble es menor al precio de importación de los autobuses y que la reducción de los costos de operación asociados a la sustitución del insumo energético de combustible por electricidad, son notables. Asimismo, ambas empresas señalan que el proceso puede ser aplicado a casi cualquier tipo de autobús. También remarcan que este proceso de sustitución de los sistemas de combustión por sistemas eléctricos podría hacerse extensivo a los autos privados, ampliándose considerablemente el mercado potencial de esta actividad. Pero no todos los avances registrados en América Latina consisten en la reconversión de unidades de combustión en buses eléctricos. En tal sentido, destaca el caso de Colombia, que avanza a paso firme en la electrificación del transporte público. En dicho país se anunció la licitación para adquirir más de 800 buses eléctricos para la ciudad de Cali, que se sumarían a los más de 1.000 buses eléctricos que le fueron adjudicados a la empresa fabricante BYD para el operador TransMilenio de Bogotá. Ello junto a anuncios e inauguraciones de patios eléctricos en planteles capaces de cargar gran cantidad de buses simultáneamente.

## 1. China

El gran país asiático es reconocido por su población (que según datos de Banco Mundial alcanzó la cifra de 1,38 billones de personas para el 2017), el tamaño de su mercado interno y su dinámico crecimiento económico (que en promedio ha sido del 10% anual en la última década). Tales factores determinan que China desempeñe un papel predominante en las decisiones económicas del planeta, luego de transformarse en el principal productor y consumidor de energía del mundo y el mayor emisor de GEI.

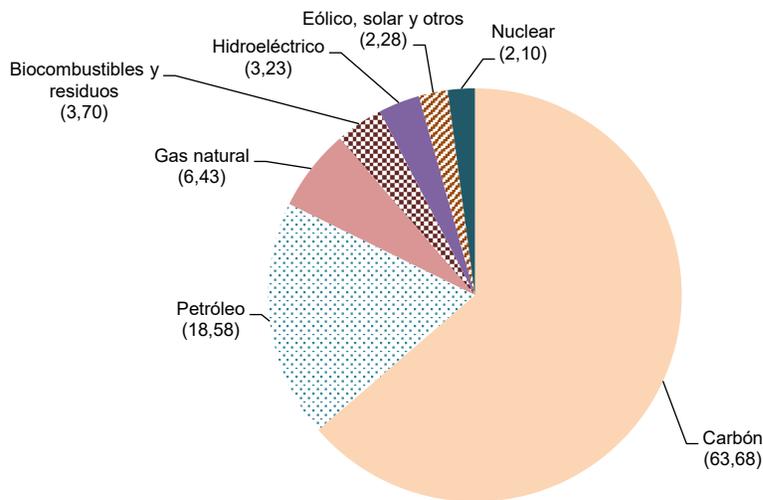
La principal fuente de emisión de China, según Li (2018), son los vehículos con motores de combustión interna y el transporte como actividad económica. En 2017 su parque automotor ascendió a 310 millones de vehículos, siendo persistente el alza del número de automóviles a través de los años. Para ese mismo año, 2017, las emisiones de dicha flota vehicular se estimaron en 333 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, 57 millones de toneladas de NOx, más de 40 millones de toneladas de HC y 5 millones de toneladas de PM.

Por otra parte, casi dos tercios (63,7%) de la energía eléctrica producida China en 2017 procedió de plantas generadoras que insumen carbón, seguido en un 19% de producción eléctrica basada en quema de petróleo y poco más del 6% de gas natural (véase el gráfico 11). En definitiva, la matriz energética China depende en más de un 90% de fuentes energéticas no renovables y con alta capacidad de emisiones de GEI. A pesar de ello, el creciente desarrollo económico de China y su compromiso ambiental han provocado que el país busque gradualmente el reemplazo del carbón por otras fuentes de energía más limpias.

---

<sup>5</sup> Más información del proceso, desarrollador y demás en <https://www.rebornelectric.cl/>.

**Gráfico 11**  
**China: oferta energética primaria en términos relativos, 2017**  
*(En porcentajes)*



Fuente: Elaboración propia de los autores a partir de IEA (2019).

La producción de energía eléctrica de China ya supera a la de Estados Unidos en más de un 40%, no obstante que la demanda energética y, subsecuentemente, el consumo de carbón se ha desacelerado en los años más recientes. Esto condujo a una reducción de las emisiones del país, pero siguen siendo relevantes a nivel planetario. De hecho, las emisiones de CO<sub>2</sub> de China representan un 28% del total de emisiones a nivel mundial, no obstante que su emisión per cápita sea menor a las registradas en algunos de los países de la OCDE (China Power Team, 2019).

A partir de 2013, el gobierno encabezado por el presidente Xi Jinping ha venido realizando reformas políticas y económicas enfocadas parcialmente en el desarrollo sostenible a largo plazo. Entre las directrices impulsadas, destaca el intento de acoplar la producción de China a los lineamientos adoptados en París por la comunidad internacional, principalmente en aspectos energéticos y de transporte (Antuña, 2016).

Varios son los entes públicos encargados de las políticas ambientales en China, destacando el Congreso, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reformas (NDRC) y los ministerios pertinentes. Los compromisos adquiridos por China se han ido cumpliendo con creces, a pesar de que aún falta un gran camino por recorrer (ITPD, 2018).

Los avances que China ha tenido en el campo de las energías renovables han permitido que este país se convierta en el mercado más grande del mundo en esta materia, al haber desarrollado la mayor capacidad instalada de producción eléctrica mediante plantas hidroeléctricas, eólicas y solares, además de ser el principal inversor en tecnologías de este tipo (IEA, 2017).

Entre las legislaciones y planes de desarrollo promovidos destaca el Plan Quinquenal 2016-2020, que propone un conjunto de objetivos económicos, sociales y ambientales especialmente relevantes, a saber:

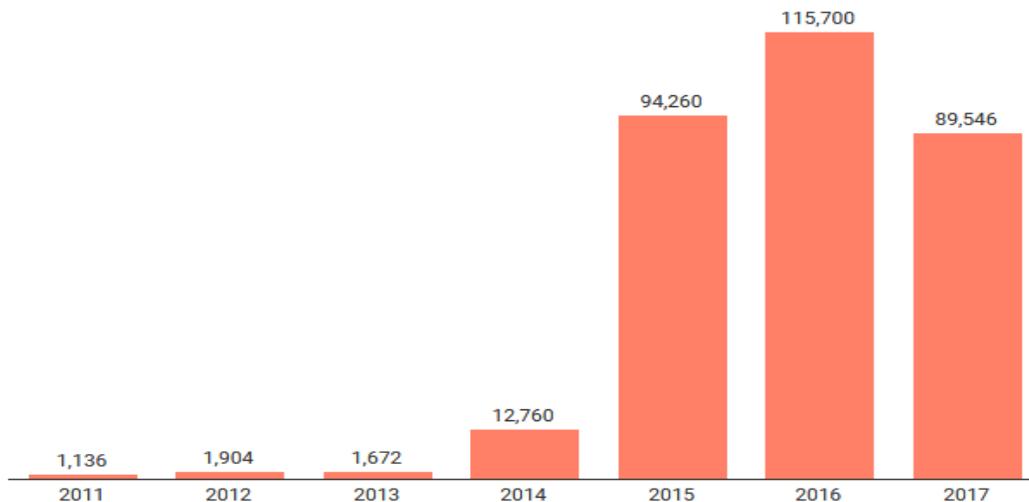
- Sostenimiento del crecimiento económico de 6,5% promedio durante el quinquenio.
- Establecer límite máximo de consumo de carbón para producción de energía.
- Reducción del consumo de energía y de las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de PIB.
- Aumento en la calidad del aire, creación de empleos y mejor distribución de la población.

Otra herramienta de política pública para desarrollar la electromovilidad en China es el Plan de Ahorro de Energía y Nuevo Desarrollo Energético para la Industria Automotriz 2012-2020, introducido en 2012. Este plan surge de la necesidad de reducir las emisiones contaminantes del aire causadas, principalmente, por los vehículos de motor de combustión interna. En el plan mencionado se incluyen políticas y medidas específicas relacionadas con los objetivos de mitigación, apertura de investigación y desarrollo, propuesta de herramientas regulatorias y electro-movilidad. En dicho marco, el plan propone metas de participación de vehículos totalmente eléctricos para el plazo establecido, metas de emisiones y de consumo de energía para las tecnologías de transporte a desarrollar a futuro (China State Council, 2012).

Sin duda, el desarrollo de medios eléctricos de transporte público y privado fue un foco de acción elegido por China para hacer frente al cambio climático. Al respecto, el reporte del ITDP (2018) consigna que el mercado de vehículos de transporte chino ha sido el más grande del mundo por nueve años consecutivos, tanto en lo que se refiere a la producción como a la venta de automóviles y autobuses. Y no solo esto: el desarrollo de las compañías chinas se ha extendido a nuevas tecnologías con uso de energías alternativas. Entre ellas se encuentran vehículos totalmente eléctricos, híbridos, y de combustibles alternativos, entre otros.

En el contexto descrito, se ha incrementado el mercado de autobuses que utilizan energías renovables para su funcionamiento. Además, el Gobierno y distintos ministerios del país asiático han impulsado la producción y ventas de este tipo de equipos, convirtiendo a China en líder mundial en transporte eléctrico. La información disponible muestra una tendencia creciente de las ventas de autobuses eléctricos. A pesar de que en el año 2017 se observó una contracción de las ventas, se espera que estas recuperen su dinamismo debido a la mayor cantidad de países buscando opciones más amigables con el medioambiente y al probable deterioro ambiental en el planeta (véase el gráfico 12).

**Gráfico 12**  
China: venta de autobuses, 2011 a 2017  
(En unidades)



Fuente: Statista Mordor Intelligence (2018).

Las ventas de autobuses eléctricos producidos en China son lideradas por las empresas BYD y Yutong (empresa líder en producción de buses de ambas tecnologías). Entre las tecnologías alternativas que parecen conseguir peso y relevancia en la industria automotora destaca aquella que permite que los autobuses utilicen hidrógeno como combustible, obteniéndose un mejor rendimiento y menor contaminación.

A pesar de que las tecnologías eléctricas aplicadas al transporte han sido cuestionadas, principalmente por su incidencia real y efectiva en la emisión de materiales contaminantes, no se puede poner en duda la importancia del cambio tecnológico que se está desarrollando en China, más todavía si se tiene la percepción que este proceso seguirá desarrollándose progresivamente.

El cuestionamiento del que han sido objeto las tecnologías eléctricas se refiere al efecto real que se obtendría en materia medioambiental, vía sustitución de la flota de vehículos con motor a combustión interna por e-autobuses, si estos últimos son alimentados por electricidad generada por centrales térmicas, especialmente a carbón, en tanto se estaría sustituyendo las emisiones evitadas por los autobuses con motores de combustión interna por emisiones generadas por la producción termoeléctrica. Se asume, en consecuencia, que los e-autobuses deben ser alimentados con energía generada por fuentes renovables (especialmente no convencionales) y alternativas.

Estimaciones realizadas por el Institute for Transportation and Development Policy (ITDP, 2018) muestran cómo ha evolucionado la composición del parque vehicular según tecnología y las proyecciones que se estimaron, además de las emisiones tanto generadas como reducidas para años anteriores y futuros (véase el cuadro 4). En apenas cuatro años, la participación de los e-autobuses pasó de 0,5% a 26,3% en tanto los autobuses híbridos subieron de 0,5% (en conjunto con los buses eléctricos) a 13,2%. De haberse cumplido las proyecciones a partir de 2018, en 2021, los e-autobuses serían la tecnología dominante (69,1%) y ya no existirían autobuses con motores a combustión interna que emplearan diésel o petróleo.

**Cuadro 4**  
**China: histórico y estimaciones de composición de parque vehicular según tipo de tecnología y estimación de reducción de emisiones, 2013-2021**

Años	Número de vehículos (10.000)	Composición del vehículo (en porcentajes)					Kilometraje operativo total (100 million km)	Emisiones de CO <sub>2</sub> cada 10 mil autos (10,000 tons)	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (10,000 tons)
		Diesel	Gas natural	Petróleo	Híbrido	Eléctrico			
2013	50,96	59,30	24,30	3,40		0,50	348,96	63,28	0,00
2014	52,88	52,90	30,20	2,50		6,73	346,69	62,68	31,81
2015	56,18	45,10	32,50	1,70		15,50	352,33	60,38	163,33
2016	60,86	37,20	30,50	1,40	11,50	15,60	358,32	55,67	463,57
2017	65,12	28,70	27,90	1,00	13,20	26,30	361,32	50,14	855,59
2018E	69,25	21,05	25,60	0,65	13,20	37,00	364,32	44,02	1 333,61
2019E	73,63	13,40	23,30	0,30	13,20	47,70	367,32	37,08	1 929,50
2020E	78,30	5,75	21,00	0,00	13,20	58,40	370,32	30,08	2 599,75
2021E	83,26	0,00	17,70	0,00	13,20	69,10	373,32	23,55	3 308,37

Fuente: Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), 2018.

Los esfuerzos realizados por China en temas de mitigación se reflejan en los resultados obtenidos. En 2009 se seleccionaron 13 ciudades con el propósito de implementar un plan piloto para promover el uso de autobuses y vehículos de transporte privado eléctricos. A finales del 2017, en la ciudad de Shenzhen se había logrado la circulación de 16.359 autobuses eléctricos (equivalente al 100% de la flota de autobuses requeridos por la ciudad), convirtiéndose en la primera ciudad china con total electrificación de su transporte público. El programa implementado permitió reducir el consumo de combustible del transporte público en un 95%, además de generar un ahorro de 366.000 toneladas de carbón para la producción de energía y una reducción del 4,8% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (ITDP, 2018).

## 2. Chile

En América latina, Chile es uno de los países que cuenta con uno de los mercados de electromovilidad más desarrollado de la región. Ello es el resultado de la implementación de varias medidas de política orientadas a promover la movilidad eléctrica en la última década, teniendo por trasfondo el cambio de la matriz energética que releva la generación de energía renovable no convencional (ERNCC) como uno de sus pilares más importante. Las fuentes generadoras de este tipo de energía permiten no solamente reducir las emisiones de GEI, sino, además, disminuir la dependencia de la economía chilena del petróleo que importa, que abastece el 95% del consumo de hidrocarburos que Chile requiere.

El sector transporte contribuye con un 22% de las emisiones totales del país, participación que podría aumentar a 40% en años venideros. Asimismo, se estima que la contaminación del aire en las principales ciudades del país tiene un costo anual aproximado de 670 millones de dólares, al que además se le asocia aproximadamente 4.000 muertes prematuras (Edwards *et al*, 2018, p. 12).

Enfrentado a esta situación, el gobierno de Chile decidió promover la movilidad eléctrica a través de una serie de acciones. Entre éstas, destaca la creación de una Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA por sus siglas en inglés), que fue diseñada para apoyar el objetivo de reducir las emisiones en un 20% mediante la promoción de alternativas de transporte sostenible (Edwards *et al*, p. 13). Asimismo, el gobierno chileno ha dispuesto medidas más estrictas e incentivos para la adquisición de vehículos generadores de menos emisiones de GEI, adoptando la normativa de emisiones Euro VI, considerada como la más alta de las normativas europeas.

Adicionalmente, el gobierno de Chile puso en marcha en 2017 la Estrategia Nacional de Electromovilidad, cuya orientación es estimular la adquisición y uso de vehículos eléctricos, sustituyendo progresivamente los vehículos con motores de combustión. El objetivo principal de esta estrategia es disponer al 2050 un transporte público constituido únicamente por autobuses y automóviles eléctricos y que al menos un 40% del parque automotor privado lo compongan vehículos eléctricos.

En materia de transporte público, la estrategia seguida no se ha limitado al transporte colectivo en autobuses, promoviendo también las flotas de taxis eléctricos y autos eléctricos corporativos y gubernamentales. En el caso de los taxis, se dispuso la creación de un subsidio para su renovación, el cual se financia vía el cobro a vehículos contaminantes bajo el esquema de vehículos ecológicos.

Como parte de la Estrategia Nacional de Electromovilidad, el gobierno presidido por Michelle Bachelet anunció en septiembre de 2017 una licitación para la renovación de 3.000 autobuses, equivalente a casi el 50% de la flota de Transantiago que opera en Santiago. En esta licitación se especificó el requisito de incluir 90 autobuses eléctricos, en tanto los autobuses restantes deberían cumplir con las normas de emisiones Euro VI (Edwards *et al*, 2018). En marzo de 2018, sin embargo, la nueva administración canceló tal licitación debido a los aumentos percibidos en los costos del sistema (Edwards *et al*, 2018).

Mientras se desarrollaba la licitación concebida para renovar parcialmente el parque de autobuses, se produjo un importante avance en el mercado por cuenta de actores privados. En mayo 2016, la empresa BYD lanzó su primer autobús eléctrico en Chile, vendiendo un año después los primeros dos buses eléctricos a la empresa MetBus, una de las operadoras de Transantiago. Ésta realizó una alianza estratégica con ENEL X, para el aprovisionamiento y facilidad de puertos de cargas, además de las mediciones del rendimiento de los buses eléctricos. En acuerdo con la Municipalidad de Santiago, se dio comienzo en noviembre de 2017 a una prueba piloto, realizándose pruebas y conducciones de más de 100.000 kilómetros. Esto le permitió al operador tener un mejor conocimiento de la tecnología adquirida y del contexto de operación (Araya, 2019).

Los resultados de la fase piloto llevaron a que en agosto de 2019 se adquirieran 100 unidades de autobuses eléctricos dando cumplimiento a la fase 2 del proyecto. Ésta contempla la incorporación de 183 nuevos buses eléctricos, los cuales tienen un costo operacional por kilómetro de 0,11 USD, mientras que el de un bus tradicional a combustión se eleva a los 0,47 USD por kilómetro (BYD, 2019).

Teniendo en consideración la irrupción de buses eléctricos en el sistema de transporte público en Santiago, el gobierno de Chile dispuso la instalación de 40 paraderos digitales a través del código QR en el segundo semestre de 2019. Asimismo, las autoridades han planteado como meta la incorporación de al menos 2.000 autobuses eléctricos en Santiago hacia el 2022 (equivalente a un tercio de la flota de autobuses de la ciudad) y entre 300 a 500 unidades operando fuera de la capital (Chávez-Bravo, 2019).

Durante el 2019 el Ministerio de Transporte de Chile proyectó que hacia fines del 2020 la Red Metropolitana de Movilidad en Santiago dispondría de un total de 408 buses eléctricos, esperándose el arribo de 208 unidades nuevas que se unirían a las 200 ya existentes. Dicha cantidad (408 unidades) equivale a más del 13% del total de buses existentes en Chile.

A pesar de que las economías de Chile y Costa Rica tienen una gran cantidad de factores en común, además de los compromisos adquiridos por ambas naciones para reducir las emisiones CEI, es notorio que el proceso de electrificación del transporte público en Chile avanza a pasos más acelerados. Esto se ve facilitado principalmente por el tamaño de las empresas de transporte existentes en Chile, incidiendo también la coordinación y trabajo conjunto que éstas han desarrollado con las autoridades de transporte y ENEL, la empresa de distribución eléctrica de Santiago. Asimismo, desempeña también un papel importante la capacidad de Chile para hacer frente a pedidos de tales dimensiones. A pesar de los esfuerzos realizados en Costa Rica, ha de tenerse en consideración que la capacidad de las empresas concesionarias costarricenses no es suficiente para demandar buses eléctricos a esa velocidad y escala.

### 3. Brasil

Brasil es un país que destaca por formular claras directrices orientadas a la electrificación del transporte público sobre la base de acciones conjuntas de actores públicos y privados relevantes. En este sentido, sobresalen los casos de las ciudades de São Paulo y Campinas, que presentan un importante progreso en la electrificación de la flota de buses de transporte público.

Brasil adolece de serias ineficiencias en su sistema de transporte público, lo que en términos ambientales se traduce en el aumento persistente y sostenido de las emisiones de GEI y que ya alcanzan altos grados de contaminación. De hecho, el sector transporte constituye la mayor fuente de emisiones de GEI. Esta situación tiene un impacto negativo en la salud y bienestar de las personas. En el 2015, por ejemplo, 52.284 muertes fueron atribuibles a las exposiciones a PM<sub>2.5</sub>, las que superan en un amplio margen las pautas de la OMC (solo en São Paulo, las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> superan en un 60% tales pautas).

En los últimos años, Brasil ha registrado un significativo cambio en la participación de los modos de transporte empleados para el desplazamiento de las personas en las ciudades, produciéndose una notoria disminución del empleo del transporte público por la población (-15%), en tanto la participación del automóvil privado se duplicó y la de las motocicletas se triplicó. Casi la totalidad de los vehículos empleados corresponde a unidades motorizadas a combustión. Así, por ejemplo, en 2017, únicamente el 0,02% del parque automotor correspondía a vehículos de pasajeros o camionetas eléctricas (Edwards, Viscidi & Mojica, 2018). Sin embargo, Brasil dispone de una matriz energética que contiene una importante proporción de energías renovables, lo que determina que la electrificación del transporte público tiene una base de sostenibilidad importante.

São Paulo cuenta con una de las flotas de autobuses más grandes del país con un tamaño de más de 16.000 unidades. Los servicios de transporte son suministrados por empresas concesionarias bajo el monitoreo y administración de la empresa pública São Paulo Transportes. El interés por introducir tecnologías renovables en el servicio de transporte público proviene desde el 2009 cuando

se aprueba la Ley Nro. 14.933, con el objetivo de reducir las emisiones de São Paulo en un 30% respecto a las registradas en el 2005, meta a alcanzar el 2021. Esta iniciativa incluía la introducción de trolebuses eléctricos.

Específicamente, el Plan de Cambio Climático del 2009 de São Paulo incluía en su artículo 50 la exigencia de reducir anualmente un 10% los autobuses que utilicen combustión interna fósil, para así obtener un 100% de autobuses eléctricos para el 2018. Este objetivo estuvo lejos de ser logrado, al punto que actualmente únicamente el 2% de la flota de Sao Paulo funciona con energía renovable. A raíz del incumplimiento del Plan, en enero de 2018 se modificó el artículo 50, mediante una ley complementaria (Ley Nro. 16.802), que estableció un conjunto de objetivos para poder lograr una reducción de las emisiones provenientes del transporte público en un 50% y 100%, en plazos de 10 y 20 años respectivamente.

Por esta razón, las licitaciones de las rutas hoy se articulan con esta reformulación de los objetivos, de manera que ahora las empresas deben presentar un plan de reducción de emisiones y de cambio de tecnología 120 días después de haberse adjudicado la concesión (Edwards *et al*, 2018).

El Estado paulista ha recorrido un largo camino tras el objetivo de sustituir su transporte público de vehículos con motores de combustión interna por e-autobuses, debiendo hacer un aprendizaje de los errores cometidos durante el proceso, además de aquilatar los resultados positivos obtenidos de las iniciativas emprendidas.

En 2011, São Paulo Transportes desarrolló un programa denominado "Ecoflota" con el propósito de iniciar el ingreso de nuevas tecnologías en el servicio de transporte público. En 2013, la misma entidad implementa un plan piloto que arrojó importantes resultados y avances para la electrificación del transporte público, como fue la certeza de la factibilidad de operar el 80% de las rutas con e-autobuses.

En 2014 Brasil recibió el premio por demostrar la viabilidad técnica y económica de un sistema de transporte público constituido por e-autobuses, y por evidenciar el ahorro en costos operacionales en comparación de las unidades de transporte tradicionales. La empresa proveedora BYD, de origen chino, junto con empresas operadoras de transporte público de São Paulo, acordaron entregar 70 e-autobuses para el 2019, lo cual implicaría que São Paulo pase a ser una de las ciudades latinoamericanas con mayor dotación de e-autobuses en su transporte público. Algunas estimaciones señalan que las emisiones en São Paulo se reducirían en alrededor de un 75% si se logra una correcta transición hacia el transporte eléctrico.

A diferencia de São Paulo, en la ciudad de Campinas la participación del sector privado en la electrificación del transporte ha sido más relevante. Esto sucede porque Campinas se ha beneficiado de la instalación de la primera fábrica latinoamericana de BYD, que conllevó una inversión de 65 millones de dólares y la creación de 450 empleos. La instalación de BYD en Campinas facilitó la implementación de un plan piloto que permitió demostrar la disminución de costos operativos del transporte público, lo que resultó muy atractivo a las empresas operadoras que se enfrentan con altos costos y barreras de diverso tipo presentes en la transición tecnológica.

En 2018, Campinas disponía de 15 e-autobuses, siendo una de las flotas eléctricas más grandes del país. En 2017, el alcalde de Campinas había determinado que para el 2022 al menos el 10% de los 1.500 autobuses que suministran el servicio de transporte público de la ciudad debía ser eléctrico. También, estableció que las rutas con recorridos por el centro de Campinas solo podían ser atendidas por e-autobuses. Al igual que en Sao Paulo, las licitaciones de las rutas se irán articulando progresivamente con estos objetivos, de modo de impulsar y direccionar el mercado hacia dicha tecnología.

La participación de BYD en la electrificación del transporte público que está intentando Brasil ha sido clave. En primer lugar, debe destacarse la decisión de aumentar la proporción de tecnología local utilizada en los procesos de producción de autobuses, llegando a un 70% en el 2022. Esto implica que empresas fabricantes locales tienen la posibilidad de generar encadenamientos con cadenas globales

de valor importantes en el futuro (Edwards *et al*, 2018). En el 2018, BYD lanzó en Campinas un nuevo modelo que produce junto a la empresa brasileña de autobuses Marcopolo, que le ha permitido optimizar la estructura de costos para la primera fábrica latinoamericana de BYD.

Por otro lado, BYD ha procurado mejorar las condiciones de transición hacia la electrificación. De hecho, en 2016 la empresa logró asegurar una línea de crédito del Banco de Desarrollo de China por 294 millones de USD para financiar la introducción de e-autobuses en Brasil. Asimismo, BYD ha acordado vender los e-autobuses a precios locales y colaborar con la mitigación de las distorsiones iniciales en los costos de cambio tecnológico, arrendando las baterías requeridas por los e-autobuses en funcionamiento (Edwards *et al*, 2018).

De esta manera, el proceso de electrificación que se viene desarrollando en Brasil se caracteriza por una interacción entre un desarrollo de producción privada y el mejoramiento de las condiciones de mercado, financieras y legislativas para optimizar el camino hacia el cambio tecnológico. Ciudades como Sao Paulo y Campinas son importantes ejemplos latinoamericanos en la transición tecnológica deseada. Nuevamente se observa la existencia de barreras iniciales al proceso que son similares a las detectadas en Costa Rica y otros países de la región, pero en el caso de Brasil estas son manejadas y atenuadas mediante iniciativas emprendidas por los actores públicos y privados, que interactúan en aras de alcanzar el objetivo de la electrificación del transporte público.



## II. Análisis financiero y económico de tecnología de transporte eléctrico colectivo de pasajeros en Costa Rica

En varios países y zonas desarrolladas el transporte público es cada vez menos competitivo, reflejado en las preferencias de la población inclinadas hacia adquirir sus autos propios o utilizar plataformas digitales de transporte como Uber o DiDi. A esto se agrega que migrar a tecnologías eléctricas o alternas no ha tenido la aceptación deseada, debido al alto costo de los vehículos eléctricos.

Uno de los aspectos que más afecta la decisión de inversión en electromovilidad es la falta de información, principalmente por la poca certeza que existe sobre el funcionamiento de los e-buses bajo algunas condiciones que pudieran alterar su eficiencia o presentar algunas complicaciones para cumplir las demandas diarias. En este sentido, son motivos de preocupación la inclinación de las rutas, la temperatura ambiente o la exposición a condiciones en altura, humedad o nivel del mar.

Asimismo, el mantenimiento del e-bus, a pesar de ser más económico, puede requerir de mayores tiempos para la obtención de repuestos y mano de obra especializada. Además, consideraciones como una autonomía inferior a la deseada por los usuarios, la probabilidad de recorridos improductivos derivados por situaciones de congestión u otras razones, podrían no verse completamente reflejados en los niveles de eficiencia proyectadas en los estudios precedentes.

Algunas de las condicionantes mencionadas obedecen a lo prematuro del mercado de la movilidad eléctrica, siendo esperable que estas serán cada vez más sencillas de superar en la medida que los países y su población adopten una mayor cantidad de vehículos de tecnologías alternas.

A nivel mundial el comercio de los vehículos y autobuses eléctricos se ha logrado abrir espacio entre los consumidores mediante subsidios y acompañamiento estatal que varios gobiernos han brindado a la electromovilidad. En Costa Rica, durante el 2020 se logró ampliar el plan piloto existente para el uso e investigación de e-buses en el transporte de pasajeros, anunciándose en marzo la adquisición de 12 nuevas unidades eléctricas por parte de los concesionarios del servicio.

Sin embargo, la adquisición de los e-buses por los concesionarios debió posponerse debido a la menor demanda del servicio de transporte público que ocasionó la pandemia del coronavirus. De todos modos, la donación de tres e-buses que realizó el gobierno alemán hizo posible recopilar información técnica acerca del desempeño de las tecnologías eléctricas en el territorio nacional.

La ejecución del proyecto de adquisición de e-buses contempla la cooperación de ONU Ambiente, el Banco Interamericano de Desarrollo, la Fundación CRUSA, el BCIE y la Cooperación Alemana GIZ, además del gobierno de Costa Rica.

Entre los aspectos institucionales del plan piloto destaca el aporte realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), que ofrece asistencia técnica a las empresas a cargo de la electrificación de la flota. El ICE facilita la infraestructura básica y conexión trifásica necesaria para cumplir con las condiciones mínimas requeridas para carga y uso de e-buses. Este aspecto representa un pilar fundamental en el esquema de adopción de tecnologías eléctricas, ya que el ICE facilita a los concesionarios la estructura, haciendo posible que los concesionarios cumplan su compromiso de reducir el consumo de hidrocarburos y de mayor uso intensivo de energía eléctrica.

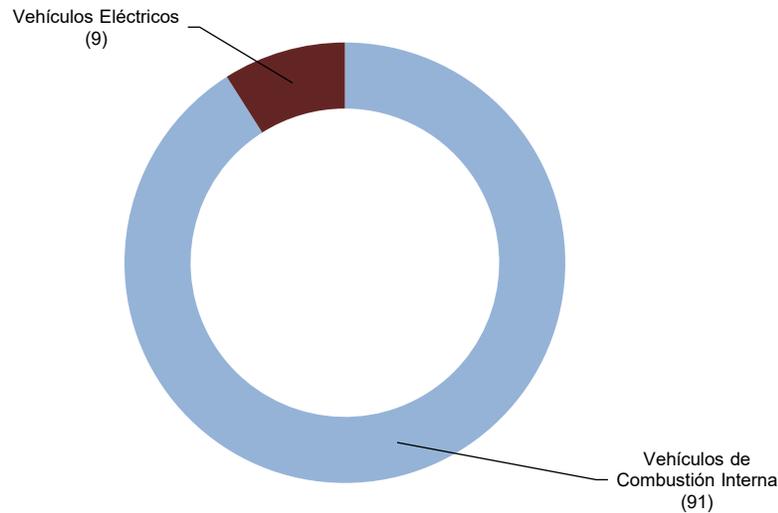
Así también el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) se une a los esfuerzos para capacitar a los choferes y mecánicos de las empresas para un adecuado uso y mantenimiento de los buses y equipos. Además, la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) brindará apoyo en el proceso mediante la definición de una tarifa eléctrica especial para la carga de los autobuses eléctricos en los planteles, y avances en la fijación y aumentos de tarifas para los e-buses. Aunque de momento se propone mantener los nuevos autobuses como flota de refuerzo para no generar cambios tarifarios, se espera avanzar en la metodología y que contemple los distintos rubros de inversión al electrificar la flota.

Las empresas (sector) que previo a la pandemia hicieron público su compromiso de adquirir al menos un autobús eléctrico y operarlo son Lumaca (Cartago–SJ), Tuasa (Alajuela–SJ), Pulmitan (Liberia), Transvi (SJ–Calle Blancos), Autotransportes Moravia (Moravia–SJ), Transportes 205 (Hatillo–SJ), Guapileños (Guápiles–Puerto Viejo), Lared (SJ–Escalante), Tapachula (SJ–Escazú), Tracasa (Guápiles–Siquirres), Comtrasuli (Ciudad Colón–SJ) y Transtusa (Turrialba–Juan Viñas). Estas empresas, además de ser las más comprometidas y dispuestas a comenzar la electrificación de su flota, contribuirán a la obtención de una mejor calidad de datos sobre el desempeño de los e-buses en diversas condiciones y zonas del país, además de aclarar el derrotero a seguir por nuevas concesionarias.

A nivel mundial, en el año 2018 se vendieron más de 2 millones de vehículos eléctricos, suma bastante mayor a los pocos miles vendidos en el 2010 (BloombergNEF, 2019). Ha de tenerse en cuenta, sin embargo, que del total de automóviles vendidos mundialmente para el 2019, un 91% correspondió a tecnologías de combustión interna y solo el 9% a vehículos eléctricos (JATO, 2019). Así, pese a que se observan mejoras en las ventas de vehículos eléctricos, la velocidad de electrificación vehicular no es la esperada para los gobiernos y las empresas fabricantes (véase el gráfico 13).

Para el cumplimiento de los objetivos de descarbonización y electrificación del transporte, establecidos en distintos países, se requiere un proceso de cambio de flota más acelerado que el existente. Países de Europa y América han hecho públicas sus intenciones de aumentar el uso y fabricación de vehículos eléctricos, y esperan que para el 2040 más de la mitad de los autos vendidos anualmente sean de tecnologías alternas.

**Gráfico 13**  
**Ventas globales de vehículos según tipo de combustible, primera mitad del 2019**  
(En porcentajes)



Fuente: JATO Dynamics (2019). Internal Combustion Engines (ICE) counted for over 90% of global car sales in H1 2019.  
Nota: Análisis de 52 mercados, para un 95% de las ventas de autos de pasajeros.

En Costa Rica se ha producido un proceso análogo. No obstante, la tendencia al alza que muestra la compra de vehículos eléctricos por los hogares, la flota de vehículos eléctricos en manos de particulares apenas llegaba a los 600 autos a finales del 2018 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC). Esta cantidad, a pesar de ser el doble de la cifra registrada en 2017, resultaba poco alentadora al compararla con los 1,4 millones de autos que conforman la flota vehicular a nivel nacional. Publicaciones referidas al tema (por ejemplo, Teletica, 2019), destacan los esfuerzos por empresas y entes gubernamentales como el ICE y Correos de Costa Rica para reemplazar sus flotas con tecnologías eléctricas, además de señalar la importancia que tiene para Costa Rica la implementación de tecnologías limpias y afianzamiento de su liderazgo de la región en temas ambientales. Sin embargo, no puede desconocerse que los precios de los vehículos eléctricos son considerablemente altos y esto influye en la decisión de las personas, a pesar de sus menores costos en energía y mantenimiento.

Las estadísticas de la Dirección de Energía del MINAE (2020) confirman la información proporcionada por INEC, aunque se basa en datos diferentes (véase el cuadro 5). A pesar de no incluir datos sobre la cantidad de autobuses eléctricos existentes en el país, las cifras expuestas muestran el crecimiento de la flota vehicular eléctrica en la década del 2010.

En la información expuesta, es posible observar un crecimiento notoriamente pronunciado de la flota de vehículos eléctricos a partir de 2018, y muy especialmente en los años 2019 y 2020, años que coinciden con la entrada en vigor de la Ley No. 9518. Cabe señalar, en el marco de este crecimiento, que la proporción de automóviles eléctricos pasó de representar un 11% de la flota total de vehículos eléctricos en el 2016, a más de un 33% de la flota en el año 2020 (véase el gráfico 14).

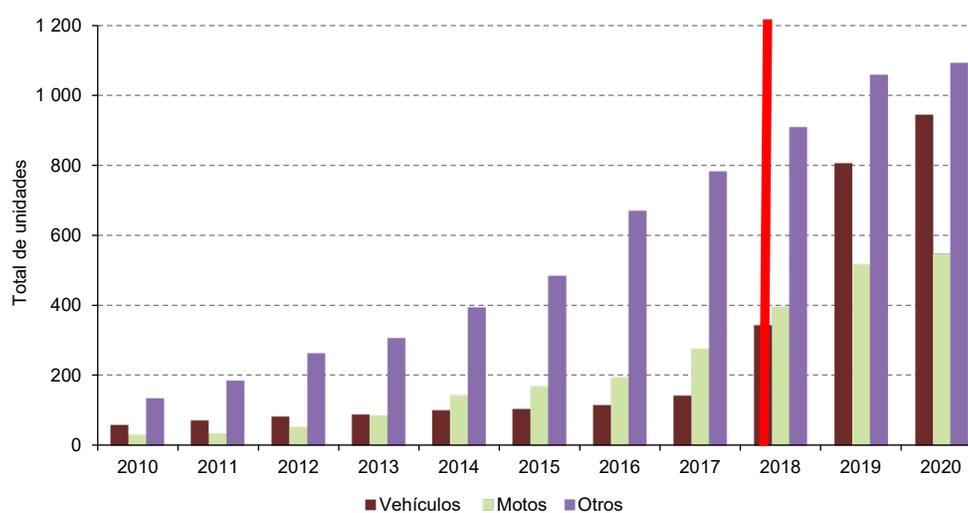
**Cuadro 5**  
**Acumulado de vehículos eléctricos en Costa Rica**

Tipo	Vehículos	Motos	Otros	Total
<=2010	60	31	142	233
2011	74	37	191	302
2012	85	54	268	407
2013	91	88	337	516
2014	104	143	416	663
2015	108	169	505	782
2016	120	194	689	1 003
2017	147	276	801	1 224
2018	340	354	954	1 648
2019	801	478	1 100	2 379
2020	1 249	635	1 192	3 076

Fuente: Dirección de Energía – MINAE. (2020). *Vehículos eléctricos (existencia y oferta)*.

Nota: Otros incluye carros de golf, cuadraciclos, montacargas, carros de trabajo, todos con placa.

**Gráfico 14**  
**Vehículos automotores eléctricos en circulación, según tipo, 2010-2020**



Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de datos de la Dirección de Energía–MINAE. (2020). *Vehículos eléctricos (existencia y oferta)*.

El incremento de los automóviles eléctricos en circulación se relativiza fuertemente con los datos sobre la flota total vehicular del país registrados en el Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura realizado por el MOPT (véase el cuadro 6). En el 2018, los 1.648 automóviles eléctricos en circulación representaban una fracción mínima (0,13%) de los automóviles privados, taxis y motocicletas del país. En 2020, esa participación había crecido a un 40%.

**Cuadro 6**  
**Distribución de la flota vehicular según estilo, 2018**

Cuadro: vehículos automotores en circulación, según estilo, 2018		
Costa Rica:	Total	Porcentaje
Automóviles	959 342	0,62
Motocicletas	312 948	0,20
Taxis	11 380	0,01
Equipo especial	16 742	0,01
Autobuses	18 842	0,01
Camiones de carga < 3500 kg	194 309	0,13
Camiones de carga > 3500 kg	41 283	0,03

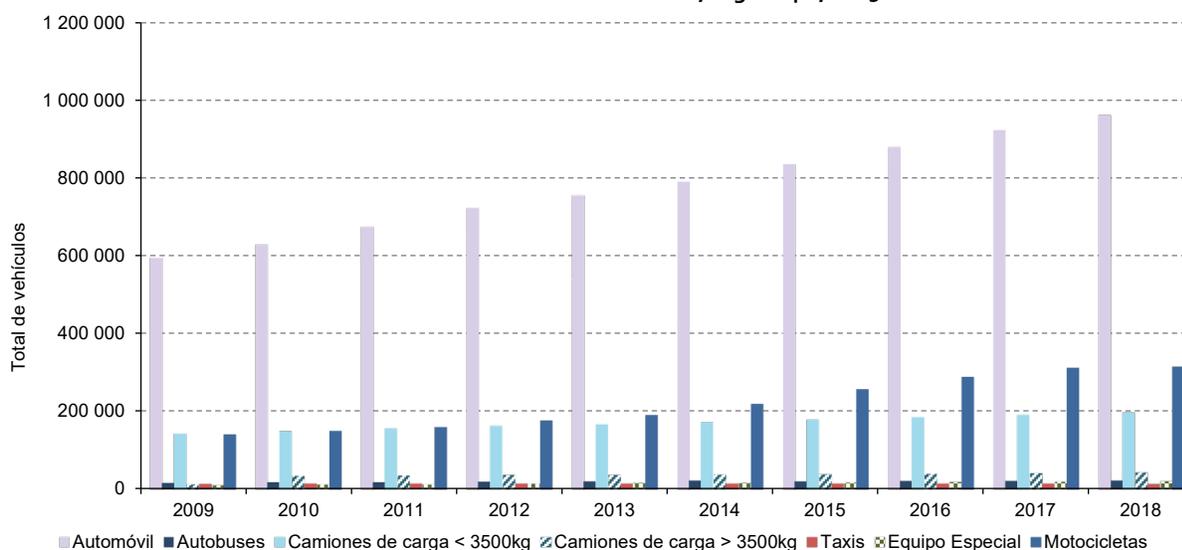
Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de datos del MOPT.

Notas: Vehículos en circulación corresponden a los que cumplieron con las obligaciones de pago con el INS. Rubro de autobús incluye placas de autobuses, microbuses y busetas de ruta y privado.

Otros antecedentes indican que la velocidad de crecimiento de la flota vehicular total podría considerarse acelerada, dado que la cantidad de vehículos creció más del 68% entre el año 2009 (923.791 vehículos) y el 2018 (1.554.846 vehículos). A pesar de esto, se observa que los autobuses aumentaron considerablemente, incluyendo distintos formatos (autobuses de 9 a 12 metros), por lo que el número de unidades con capacidad de 50 o más pasajeros puede ser menor.

La porción de cada tipo de vehículo automotor sobre la flota vehicular ha sido estable a través de los años, exceptuando la diferencia en la cantidad de motocicletas, que pasaron de representar un 15% de la flota vehicular en el 2009 a un 20% en el 2018 (véase el gráfico 15). Se identifica además una tendencia creciente en la adquisición de vehículos durante los siguientes años.

**Gráfico 15**  
**Vehículos automotores en circulación, según tipo, 2009-2018**



Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de datos brindados por el MOPT.

Siendo probable que la cantidad de vehículos continúe aumentando, se requiere incorporar en el parque vehicular la mayor cantidad de vehículos con tecnologías limpias, debido al envejecimiento progresivo de los vehículos de combustión y al hecho de mantenerse en circulación aun cumpliendo su vida útil. Además, debe tenerse presente, como problema a resolver, el fenómeno de la importación de vehículos de combustión interna de segunda mano, que al ser más baratos desincentiva la incorporación de tecnologías alternas o limpias.

Efectos directos del aumento de la flota vehicular son el mayor consumo de combustibles fósiles y el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Al respecto, la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE), en los balances energéticos publicados hace una diferencia entre el consumo de energía por autobuses y microbuses. Se identifica que en el año 2018 el balance energético para el caso de autobuses representó un 2,24% del consumo total final de energía, y un 4,84% del total de energía consumido por el sector de transporte terrestre. Ello pone en evidencia que no obstante representar los autobuses menos del 1,21% de la flota vehicular del país, utilizan casi un 5% del total de energía empleada por el sector de transporte terrestre.

## A. Diferentes tecnologías alternas en autobuses

Dado el compromiso de Costa Rica con el desarrollo sostenible y la reducción de emisiones de GEI, se recalca la importancia de actuar, desde la política pública, sobre el sector de mayores emisiones como lo es el de transporte.

Al existir proyectos como el tren eléctrico y la sectorización, que están estrechamente ligados al desarrollo del transporte público, se espera que el servicio de autobuses migre al uso de tecnologías con menores emisiones de GEI e incremente los beneficios colectivos.

Para muchos autores (por ejemplo, Grutter Consulting, 2018) la implementación de tecnologías que realmente representen una mejora en aspectos ambientales y de sostenibilidad es un objetivo factible, pero advierten que estas tecnologías de bajas emisiones son pocas veces privadamente rentables, por lo que requieren de subsidios estatales y compromisos ambientales por parte de las empresas.

En relación con las diferentes tecnologías empleadas en autobuses, se señala que los motores de combustión mediante diésel han ido mejorando sus estándares a través del tiempo (Grutter Consulting (2018); de hecho, las tecnologías de rango Euro IV o Euro V<sup>6</sup> presentan ventajas significativas sobre las exigencias anteriores. En el caso de las tecnologías alternas, se considera la implementación de aquellas que tengan menores factores de emisión en comparación a las recién mencionadas, lo que permite medir la eficiencia de cada tecnología en términos de emisiones de GEI (gCO<sub>2</sub>e por km). Cabe destacar que los índices estimados por Grutter Consulting (2018) fueron obtenidos en México bajo condiciones propias del país, pero sirven de base para mostrar el comportamiento de las tecnologías y brindar una idea de potenciales resultados en Costa Rica (véase el gráfico 16).

De acuerdo con las mediciones de Grutter Consulting (2018), los mejores resultados de eficiencia se obtienen en autobuses con tecnologías de carga de oportunidad<sup>7</sup>, autobuses de baterías eléctricas y trolebuses<sup>8</sup>. En este caso, las emisiones presentadas consideran las emitidas por consumo de diésel, energía eléctrica o cualquier otro combustible que utilicen. Sin embargo, dado que la matriz

---

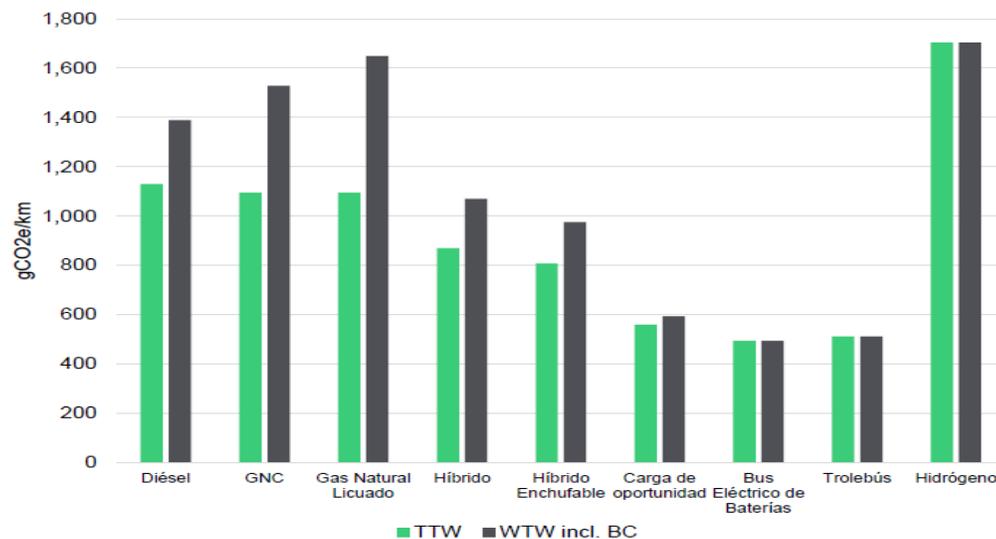
<sup>6</sup> Rangos brindados conforme a normas recomendadas por la Unión Europea que establecen requisitos técnicos, principalmente sobre emisiones, para la homologación de vehículos de combustión y buses.

<sup>7</sup> El cargador de oportunidad se cierra en el estado de 80% de carga y permite que la batería se enfríe.

<sup>8</sup> El trolebús, también conocido como trolley o trole, es un ómnibus eléctrico, alimentado por una catenaria de dos cables superiores desde donde toma la energía eléctrica mediante dos astas. El trolebús no hace uso de vías especiales o carriles en la calzada, por lo que es un sistema más flexible. Cuenta con neumáticos de caucho en vez de ruedas de acero en carriles, como los tranvías.

energética de México utiliza principalmente recursos fósiles, los resultados obtenidos pueden ser mejorados en un país como Costa Rica, cuya matriz eléctrica es mayoritariamente renovable. De todos modos, ha de considerarse que tecnologías como los trolebuses y las cargas de oportunidad necesitan construcción de infraestructura adicional que complejiza el proceso de cambio por parte de los operadores de buses del país.

**Gráfico 16**  
Factores de emisiones de gei de distintas tecnologías vehiculares (tanque a llanta y pozo a tanque)  
(En gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro)



Fuente: CFF y Grutter Consulting. (2018, p. 14). *Análisis de tecnologías alternativas para buses.*

Notas: TTW: Tank-to-Wheels (De tanque a ruedas). WTW incl. BC: (De pozo a tanque).

De acuerdo con las mediciones de Grutter Consulting (2018), los mejores resultados de eficiencia se obtienen en autobuses con tecnologías de carga de oportunidad<sup>9</sup>, autobuses de baterías eléctricas y trolebuses<sup>10</sup>. En este caso, las emisiones presentadas consideran las emitidas por consumo de diésel, energía eléctrica o cualquier otro combustible que utilicen. Sin embargo, dado que la matriz energética de México utiliza principalmente recursos fósiles, los resultados obtenidos pueden ser mejorados en un país como Costa Rica, cuya matriz eléctrica es mayoritariamente renovable. De todos modos, ha de considerarse que tecnologías como los trolebuses y las cargas de oportunidad necesitan construcción de infraestructura adicional que complejiza el proceso de cambio por parte de los operadores de buses del país.

Cabe destacar que a pesar de la creencia que los autobuses de hidrógeno son más eficientes y de menores emisiones, la fabricación de hidrógeno por medio de electrólisis es un proceso bastante intensivo en el uso de electricidad. De esta manera, no obstante que la tecnología del autobús de hidrógeno permite transportes con mejor eficiencia de espacio y otras características, el proceso de creación y distribución de hidrógeno aporta emisiones que pueden superar con creces las emisiones realizadas por e-buses si la matriz de energía eléctrica se sustenta en combustibles fósiles.

<sup>9</sup> El cargador de oportunidad se cierra en el estado de 80% de carga y permite que la batería se enfríe.

<sup>10</sup> El trolebús, también conocido como trolley o trole, es un ómnibus eléctrico, alimentado por una catenaria de dos cables superiores desde donde toma la energía eléctrica mediante dos astas. El trolebús no hace uso de vías especiales o carriles en la calzada, por lo que es un sistema más flexible. Cuenta con neumáticos de caucho en vez de ruedas de acero en carriles, como los tranvías.

A pesar de que en Costa Rica existe la posibilidad de biocombustibles y avances en investigación de hidrógeno (como el autobús desarrollado por la empresa Ad Astra Rocket y que operará en Liberia, Guanacaste), el mercado de estas tecnologías es todavía incipiente e inclusive más costoso por lo que para los efectos del análisis económico y financiero de la electromovilidad aplicada al transporte público, se considera solo el análisis comparativo entre esta tecnología y la basada en diésel<sup>11</sup>.

Dada la variabilidad que existe en las variables definidas y los resultados obtenidos por distintas investigaciones citadas en este documento, los resultados de factibilidad financiera y económica pueden ser muy sensibles a ciertas variables presentes en los modelos. De acuerdo con ello, en este capítulo se hace una revisión de los avances en el mercado nacional hasta la fecha, una verificación de fuentes adicionales afines y el uso de precios sociales para la valoración económica.

## B. Análisis comparativos de estructuras de costos

### 1. Análisis financiero privado

Para los efectos del análisis anunciado, se construyó una herramienta que recolecta y muestra los costos en los que incurre el inversionista durante el periodo de vida útil del autobús. En este caso, el análisis se realiza desde el punto de vista del concesionario u operador de autobuses, quien se enfrenta a la decisión de adquirir una unidad de tecnología eléctrica en lugar de comprar otra con tecnología de combustión de diésel. Al respecto, se estiman los costos anuales (véase los flujos de caja) y los montos diferenciales que son descontados según la tasa de descuento para el escenario seleccionado<sup>12</sup>.

Las diferencias entre las estructuras de costos de las tecnologías pueden catalogarse en tres tipos: i) impuestos; ii) costos de adquisición; y iii) operación y mantenimiento.

En relación con la tributación, el total de impuestos a pagar para la importación de vehículos nuevos es de 52,29% así como para autobuses de 6 años o menos, y de 73,21% para autobuses de 7 años o más. Este porcentaje es el cobrado a las empresas que optan por adquirir unidades de tecnologías convencionales.

Para el caso del transporte de pasajeros mediante concesiones tales tasas no aplican, sino lo dispuesto por la Ley No. 7293, que en su artículo 11 señala:

- Artículo 11.- No estará sujeta a ningún tipo de tributos y sobretasas excepto a los derechos arancelarios cuya tarifa se fija en un cinco por ciento (5%), la importación de autobuses o chasis con motor o sin él para ellos, requeridos para el transporte colectivo de personas.
- Asimismo, exonérase de todo tipo de tributo y sobretasas, excepto de los derechos arancelarios, la importación de microbuses con una capacidad mínima de veintiséis pasajeros, requeridos por los concesionarios y permisionarios del transporte colectivo remunerado de personas. Si la tarifa del impuesto ad valorem supera el cinco por ciento (5%), se exonerará la obligación tributaria correspondiente a dicho exceso tarifario.
- Además, exonérase a los permisionarios y concesionarios del transporte colectivo de personas, de todo tributo y sobretasas, excepto de los derechos arancelarios, para la importación de partes y repuestos para buses y microbuses. Si la tarifa del impuesto ad valorem supera el cinco por ciento (5%), se exonerará la obligación tributaria correspondiente a dicho exceso tarifario. Esta exención no se aplicará a la importación de aquellos bienes similares que se fabriquen en el territorio de los países signatarios del Convenio sobre el Régimen Arancelario y Aduanero Centroamericano. (Ley No. 7293, 1992).

---

<sup>11</sup> A nivel nacional existen distintas investigaciones que apoyan la factibilidad y los efectos positivos de la implementación de tecnologías alternas para autobuses y transporte privado, donde destacan las realizadas por Monitor Deloitte (2019) mediante contratación del Banco Mundial y la realizada por Creara y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) en 2019.

<sup>12</sup> El anexo 4 presenta los supuestos y precios utilizados en este análisis.

De conformidad a lo dispuesto en el artículo citado, se concluye que no existe una ventaja tributaria de una tecnología respecto de la otra —en ambos casos, el monto de impuestos corresponde al 5% del precio del autobús—, habiendo sí un beneficio considerable para las empresas concesionarias de las rutas licitadas respecto de las empresas o empresarios que importan autobuses sin haberse adjudicado la concesión de un recorrido. De todos modos, en el caso de las estaciones y baterías, la Ley No. 9518 (2018) en su artículo 11 establece una ventaja tributaria a la empresa que opera e-buses al exonerar del impuesto de ventas y el selectivo del consumo a los repuestos relacionados al motor eléctrico y sus baterías. Por otra parte, el artículo 34 exonera del pago total de impuesto selectivo de consumo, el impuesto general sobre las ventas y el impuesto de la Ley No. 6879 a la importación de las estaciones de carga y sus partes.

Por lo tanto, podría decirse que las diferencias en los impuestos equivalen al monto específico que alcanza el valor del 5% (por rubro de derechos arancelarios) del precio de los autobuses. Además, a pesar de existir diferencias en el escudo fiscal para la declaración de renta, estos flujos de caja no son efectivos y las metodologías tarifarias contemplan rubros de depreciación y rentabilidad de inversión.

Respecto al escudo fiscal, el Transitorio II de la Ley No. 9518 (2018) dicta:

- TRANSITORIO II-Las empresas privadas que a partir de la entrada en vigencia de la presente ley decidan sustituir su flota de transporte al menos en un diez por ciento (10%) anual, con un mínimo de tres vehículos, por vehículos eléctricos, podrán depreciar el valor de estos vehículos en el plazo de tres años para efectos de la declaración del impuesto de la renta. Para cada vehículo eléctrico se aplicarán las exoneraciones por una única vez. Estas empresas deberán ser incluidas en la lista que elabora el Ministerio de Ambiente y Energía (Minae), para centros de recarga. (Ley No. 9518, 2018).

Además de la diferencia mencionada, los concesionarios y empresas que decidan electrificar su flota vehicular podrían utilizar en sus reportes de renta el método de depreciación acelerada como escudo fiscal.

#### **a) Costos de adquisición del capital (CAPEX)**

Entre los costos de adquisición del capital se incluyen el costo referido a la adquisición de los buses de cada tecnología y los costos de equipo que son exclusivos de los autobuses eléctricos (por ejemplo, las estaciones e infraestructuras de carga y baterías), cuyos montos se detallan en el cuadro 7 (página siguiente).

La empresa BYD dispone de un modelo de autobús de 12 metros de largo, capacidad superior a 30 pasajeros sentados y más de 40 de pie, es decir, características de capacidad comparables con los autobuses de tecnología diésel actualmente en operaciones en Costa Rica. El modelo e-autobús BYD cuenta con las siguientes características:

- Marca y modelo: ByD - KgG.
- Precio: USD 400.000 (batería incluida, cargador aparte).
- Capacidad de batería: 324 kWh.
- Autonomía: 250 km aprox.

No obstante, el precio informado por la distribuidora costarricense, el valor cambia según las otras fuentes consultadas (véase el cuadro 7). Esta variación del precio del autobús (expuesta en el cuadro 7) es uno de los rubros de mayor diferenciación detectado en el análisis.

**Cuadro 7**  
**Precios de autobuses diésel y eléctricos según fuentes consultadas**  
*(En dólares)*

Empresa o marca informante	Precio para bus eléctrico	Precio para bus diésel
Grutter Consulting <sup>a</sup>	220 000	150 000
BloombergNEF <sup>b</sup>	420 000	450 000
PROTERRA <sup>b</sup>	-	550 000
ARESEP <sup>b</sup>	137 000	-
Deloitte Consulting <sup>b</sup>	440 000	-
Columbia University <sup>c</sup>	850 000	550 000
YUTONG <sup>d</sup>	322 200*	-
BYD <sup>d</sup>	315 500*	-
QEV <sup>d</sup>	287 000*	-
CAF <sup>e</sup>	432 000	155 000
CAF para buses Volvo <sup>e</sup>	290 000 (híbrido)	192 000
Creara, Energy Experts <sup>f</sup>	401 050	155 000

Fuente: Elaboración propia de los autores mediante recolección de datos de distintas fuentes.

Nota: \* precio incluyen chasis, carrocería y estación de carga.

<sup>a</sup> Deloitte Consulting.

<sup>b</sup> <https://www.e-trofit.com/en>.

<sup>c</sup> Columbia University (2016).

<sup>d</sup> BID (2020).

<sup>e</sup> CAF (2019), con un costo para tecnología diésel de aproximadamente USD 100.000.

<sup>f</sup> BCIE (2019).

Por otra parte, la autonomía de batería seleccionada corresponde a 324 kWh dadas las opciones de compra presentadas en el boletín de información brindada por la empresa. Dicha autonomía se ajusta a un kilometraje diario intermedio de 250 km sin comprometer su uso.

La vida útil de la batería se extiende aproximadamente siete u ocho años, debido a que su uso continuo y cargas a altas potencias degradan progresivamente sus capacidades. Al respecto, se estiman escenarios conservadores que presumen dicha vida útil para la batería, no obstante que en escenarios pesimistas se asume que la batería será reemplazada cada 5 años.

El precio de este equipo también varía según las fuentes consultadas, situándose entre 150 y 490 USD/kWh para una batería nueva, según Deloitte (2019), y 225 USD/kWh según Creara (2019). Cabe señalar, sin embargo, que en el mercado del transporte eléctrico se observa un avance tecnológico y aprovechamiento de economías a escala para las baterías, esperándose precios más bajos cuando se requiera adquirir el repuesto.

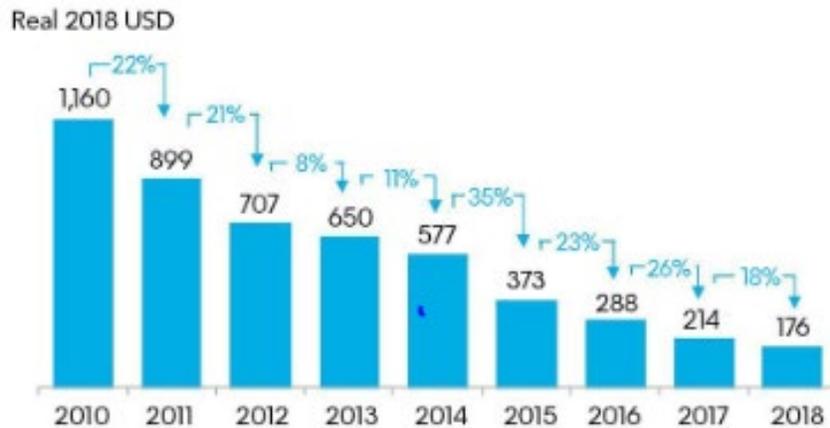
Al respecto, BloombergNEF (2019) analizó el comportamiento del precio de las baterías durante los años recientes, concluyendo que el mercado se irá ajustando a la creciente demanda, lo que induciría menores precios por kW de capacidad de la batería (véase el gráfico 17).

De acuerdo a lo señalado, en nuestras estimaciones se asume una batería inicial incluida en el precio del bus; además, para el precio de la batería de repuesto (necesaria en el año 8) se supone un costo medio de 110 USD/kWh, supuesto conservador según los pronósticos mencionados.

El rubro de las baterías constituye una de las principales incertidumbres presentes en el mercado, especialmente porque existe cierto cuestionamiento sobre la capacidad y disponibilidad de los depósitos de metales para la elaboración, su vida útil real, desempeño, duración de estas, su posible uso posterior o valor residual. Estas preocupaciones y cuestionamientos obedecen a que las baterías producen gran cantidad de contaminantes tanto en su producción como en su desecho al término de su vida útil, lo que ha llevado a buscar otros usos como almacenaje de energía o reciclaje de sus metales.

Ha de considerarse, sin embargo, que las baterías forman parte primordial del desarrollo de la electromovilidad, por lo que el acceso a tecnologías más eficientes, limpias y durables es primordial para encaminar los procesos de descarbonización.

**Gráfico 17**  
Estimación del comportamiento del precio de las baterías para vehículos eléctricos  
(En dólares/KWh)



Fuente: BloombergNEF (2019), Electric Vehicle Outlook 2019.

En el caso de los cargadores o estaciones de carga, se consultó a la empresa Energías Limpias de Costa Rica (ELCO), que actualmente se encuentra fabricando cargadores para vehículos eléctricos a nivel nacional<sup>13</sup>. Esta empresa está abocada a desarrollar y distribuir tecnologías de cargadores que funcionan a velocidades de carga de 100 kWh mediante "pistolas". Con una carga individual de 100 kWh, un bus podría ser cargado en menos de 4 horas durante el tiempo que se encuentra en la estación.

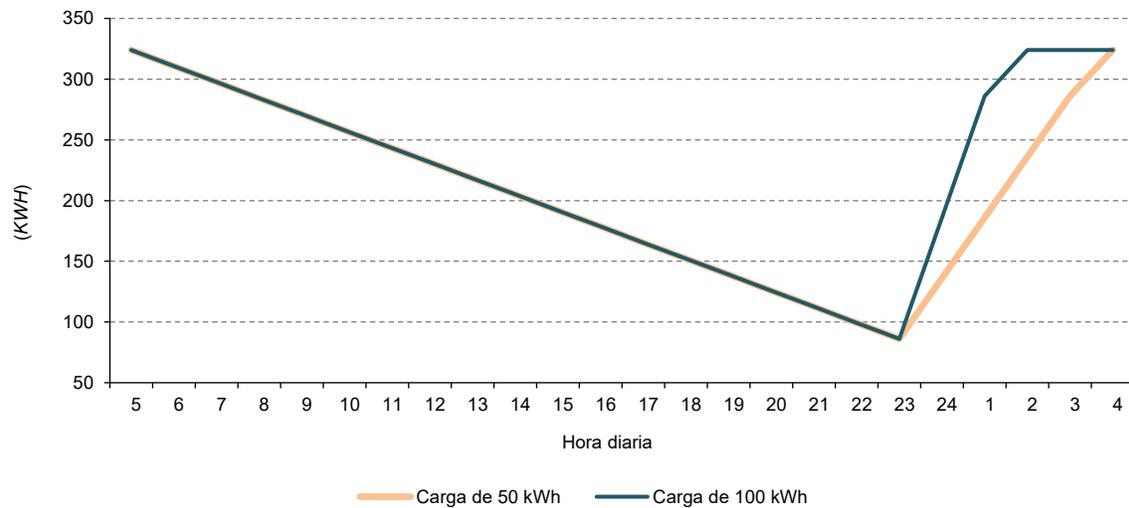
Para ejemplificar como dicha estación podría ser utilizada hasta por dos buses simultáneamente, la capacidad de la batería debería ser suficiente para brindar autonomía durante el kilometraje diario que los recorridos requieren. Se podría disponer de un autobús eléctrico que recorra aproximadamente entre 120-150 kilómetros diarios (cifra alcanzable según los rangos de kilometraje anual presentados por las empresas), permitiendo un tiempo de manejo de 19 horas, aproximadamente. Para tal efecto, se requiere cargar un bus durante parte de la noche (4 horas) a 100 kWh, o bien, cargar dos autobuses simultáneamente a 50 kWh, lo cual colaboraría a la durabilidad de las baterías.

De este modo, el flujo y horas de carga varían según se decida cargar un único autobús por estación, o cargar ambos autobuses durante horas de la noche y madrugada. Cabe destacar que la carga piso o carga mínima según este esquema es de 83 kW, monto que es mayor al 10% de la capacidad total de la batería y al 10% de recorrido que estima ARESEP como recorrido improductivo, por lo que no debería comprometer el funcionamiento del bus tanto en recorrido como en tiempo en paradas (véase el gráfico 18).

De esta manera, se observa que la autonomía de los autobuses permite, con cierta flexibilidad, compartir un cargador de alta velocidad y ser cargados simultáneamente durante los turnos de la noche. Según ELCO, esta tecnología de estaciones de carga con velocidad de 100 kWh tiene precios estimados de USD 34.000 para el caso de estación con una sola pistola de carga y de USD 38.000 con dos pistolas de carga, por lo que se considera un precio de USD 19.000 por cargador por unidad.

<sup>13</sup> ELCO se encarga de diseño, producción, importación de partes estandarizadas e innovación en el tema de cargadores de baterías.

**Gráfico 18**  
**Flujo de uso de energía y carga por hora diaria y capacidad de carga**  
*(En KWh)*



Fuente: Elaborado por los autores.

Nota: Se considera un kilometraje de 120 km/día, un factor de eficiencia de 1,3 kWh/km y una velocidad de carga de 100 kWh para un solo autobús durante la noche y de 50 kWh para carga simultánea de dos autobuses. Capacidad de la batería de 324 kW. Punto de carga mínima para ambos casos: 86 kW a la hora 23.

Otro aspecto por considerar es el desgaste de la batería. A través de los años, este desgaste y pérdida de capacidad podría provocar que un e-autobús no dispusiera de suficiente autonomía para realizar los recorridos diarios con solo una carga. Se espera que este problema sea solucionado con posterior eficiencia y mejor uso de las estaciones de carga. En el caso de rutas que requieran de una mayor autonomía, se pueden instalar estaciones de recarga provisionales a los extremos de las rutas, con el propósito de brindar apoyo de carga entre carreras, si fuese necesario.

Paralelamente, los precios de los autobuses con motores de combustión aceptados por ARESEP se obtienen a partir de la metodología tarifaria brindada por la entidad. En este caso se utiliza el valor de USD 127.000 para la adquisición de autobuses con fines urbanos<sup>14</sup>. Claramente, este punto de diferenciación es el de mayor importancia entre las tecnologías, ya que la inversión necesaria para adquirir los buses eléctricos y el equipo necesario para su funcionamiento viene a ser mucho mayor que la inversión inicial necesaria para la adquisición del autobús con motor de combustión.

Este precio corresponde a una estimación promedio brindada por el Ministerio de Hacienda. Sin embargo, se considera que este monto corresponde a un modelo básico de un autobús nuevo, el que se elevaría al incluir sistemas avanzados de eficiencia y control de la contaminación. Al respecto, ha de tenerse en consideración que factores tales como la marca y año de fabricación de los autobuses diésel están sujetos a normas de regulación de contaminantes (conocidas como normas Euro). Estas regulaciones cada vez se vuelven más restrictivas en lo concerniente a cantidad de emisiones de GEI y material particulado. De hecho, en algunos países de la Unión Europea, además de Brasil y otros, se ejercen restricciones a la adquisición de autobuses con motores de combustión, estableciéndose requerimientos mínimos de Euro V o Euro VI. Tales requerimientos, por cierto, incrementan los precios de los autobuses diésel, lo cual favorece la competitividad de las tecnologías eléctricas e incide en un mayor bienestar común por la reducción de emisiones.

<sup>14</sup> Mayores precios se observan en otras categorías, como lo son interurbano y montano.

Costa Rica, sin embargo, no mantiene restricciones tan elevadas a la importación de autobuses con motores de combustión, lo que afecta negativamente la eficiencia energética y ambiental del transporte público. En el Plan Nacional de Energía 2015-2030 se señala que un 69% de la flota nacional de autobuses tiene una edad promedio de 11 años, careciendo de la eficiencia energética y ambiental óptima, en tanto el 31% restante mantiene una edad promedio de 7,05 años, que se utiliza para rutas regulares (MINAE y PNUD, 2015).

En el Plan Nacional de Energía se destaca que durante 2014 el Consejo de Transporte Público incorporó en las condiciones contractuales para la continuidad de las concesiones que las nuevas unidades deberán como mínimo cumplir con requerimientos Euro III. Este mismo requerimiento Euro III fue señalado por el MOPT (2017, p. 17) en su Plan Sectorial de Modernización del Transporte Público Remunerado de Personas modalidad autobús y abarcado en los contratos brindados a los concesionarios.

La aceptación de unidades con requerimientos Euro III permite a los concesionarios adquirir unidades baratas, que comparativamente tienen una mejor rentabilidad financiera que las tecnologías bajas en emisiones y deterioran la valoración financiera de las unidades eléctricas, configurándose una señal que va en sentido contrario a los objetivos de la electro-movilidad y de las tecnologías más respetuosas del medio ambiente, posponiéndose la incorporación de tecnologías limpias al transporte público.

Este comportamiento de postergación en la adopción de tecnologías alternas se observa también en otros países de América Latina y no es privativo de Costa Rica. La Comisión Internacional de Transporte Limpio<sup>15</sup> (2020) señala, por ejemplo, que Brasil y México se encuentran entre los países que iban a comenzar su adopción de tecnologías convencionales Euro VI, pero que los operadores han pedido postergar las leyes referentes al menos dos o tres años debido al efecto de la pandemia sobre la demanda de pasajeros.

## **b) Costos de operación del bus (OPEX)**

Los costos de operación son aquellos en los que se incurre durante el funcionamiento y mantenimiento del autobús. Entre estos destacan los costos de consumo, ya sea por uso de energía eléctrica o combustible diésel, y los costos de mantenimiento. Estos costos dependen, primero que nada, del kilometraje a realizar, por lo que dependen, a su vez, de la ruta asignada. Cabe destacar que, para efectos de este estudio, los precios de electricidad y combustible se verifican de manera actualizada y brindan un contexto realista.

Grutter Consulting (2018), Deloitte (2019) y Creara (2019), coinciden en que los buses de tecnología eléctrica consumen un total de 1,3 kWh/km aproximadamente. Dicho coeficiente de eficiencia es un tema controversial, pues puede variar según las condiciones de las rutas, la cantidad de pasajeros transportados, e incluso el uso de aire acondicionado (este factor puede incidir hasta en 1,0 kWh/km).

Al respecto, el Centro Mario Molina (2020), financiado por la Fundación CRUSA y ONU Medio Ambiente, realizan en Chile un ejercicio computacional con el objetivo de medir el rendimiento y consumo energético de los autobuses eléctricos que operaría en las rutas del AMSJ. Esto, con el propósito de identificar las rutas que tengan mejores condiciones para ser electrificadas.

Así, sobre la base de la identificación de las rutas y sus características topográficas, se aplica un programa colaborativo llamado "Advanced Motor Fuels"<sup>16</sup>, mediante los cuales se simula el desempeño de dos autobuses eléctricos virtuales (un BYD KgFE y un Yutong E12LF) en dos escenarios de consumo.

---

<sup>15</sup> Véase ICCT (2020) en: <https://theicct.org/blog/staff/euro-vi-latam-espanol-oct2020>.

<sup>16</sup> Programa proporcionado por la Agencia Internacional de Energía y la herramienta Autonomie, que fue desarrollado por Argonne National Lab.

El primer escenario contempla una carga similar al 50% de capacidad de pasajeros con el aire acondicionado apagado (escenario regular o moderado), en tanto el segundo escenario considera una carga equivalente al 100% de ocupación de pasajeros y aire acondicionado encendido (escenario de consumo extremo).

La medición del consumo en ambos escenarios extremos permite delimitar las exigencias realizadas al bus y determinar en qué rutas los buses pueden funcionar inclusive a ocupación completa, y en qué otras rutas no resulta factible la electrificación del transporte público, aun en escenarios de demanda moderada.

Los rendimientos de consumo promedio indican en qué rutas la electrificación del transporte público es factible y bajo cuál escenario de uso no extremo los autobuses eléctricos pueden mantener factores de eficiencia de 1,3 e incluso menores. De hecho, una gran cantidad de rutas obtuvieron factores de eficiencia de 1,10 kWh/km o menores, lo que permite establecer el supuesto de 1,3 kWh/km como un parámetro conservador y razonable (véase el cuadro 8).

**Cuadro 8**  
**Tasas de consumo promedio bajo ambos escenarios de carga de pasajeros y uso de aire acondicionado**

Escenarios	Promedios de consumo (kWh/km)	
	BYD K89FE	YUTONG E12LF
Escenario 1	1,32	1,36
Escenario 2	1,83	1,84

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de datos del Centro Mario Molina (2020, p.15).

Los resultados arrojan también autonomías bastante favorables para algunas rutas como Sabana—Cementerio y San José— Barrio México, en las cuales ambos autobuses obtienen autonomías superiores a los 250 km/carga en el escenario controlado y por arriba de 165 km/carga en el escenario de consumo extremo. Rutas como San José —San Francisco y San José— Alajuelita obtuvieron autonomías por encima de los 125 km/carga bajo el escenario regulado, pero estas y otras rutas obtuvieron autonomías menores a los 100 km/carga bajo escenarios extremos. Por lo tanto, se concluye que no todos los autobuses cumplirían con el requisito diario de mínimo 160 kilómetros diarios, por lo que una evaluación de la ruta y posible desempeño del bus resulta necesaria para cada empresa que busque la electrificación de su flota.

En relación con el consumo de los autobuses con motor de combustión existen varias estimaciones relativamente coincidentes. Grutter Consulting (2018), por ejemplo, reporta un coeficiente de consumo de 42 l/100km (0,42 l/km), mientras que ARESEP contempla un factor de 0,47 l/km para buses en escenarios con ruta urbana dentro de la GAM, considerado para esta especificación de modelo.

A la vez, el precio de combustible diésel a la fecha (27 de diciembre, 2019) aparece reportado por la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) en 0,9694 USD/l, incluyendo el respectivo impuesto único a los combustibles y márgenes al tipo de cambio. Según el coeficiente de uso de combustible y el precio del diésel resulta en un costo de consumo de diésel de 0,4556 USD/km.

Por otra parte, el costo de consumo de energía eléctrica para los autobuses es reportado por Deloitte (2019) entre 0,27 USD/km para rutas urbanas (que sería el caso de las rutas para la GAM) y 0,17 USD/km para el caso de Creara (2019). Este último es utilizado en las valoraciones económicas por el hecho de considerar la tarifa T-CO (tarifa comercial y de servicios) y no estar influenciada por impuestos y subsidios en comparación a la tarifa promocional en discusión<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> El estudio señala un costo de 0,22 USD/kWh para sedán y SUV, según la tarifa residencial T-RE.

Al respecto la ARESEP se encuentra en proceso de aprobación del Decreto Ejecutivo asociado a la Ley No. 7593. Este decreto autoriza el cobro de la electricidad a precio preferencial para las estaciones de uso y carga de buses eléctricos. El monto presentado por parte de la entidad es de 60,25 colones/kWh, lo que representa 0,103 USD/kWh según el tipo de cambio considerado. Este monto para la electricidad es el utilizado durante la valoración privada financiera y representa el precio que el concesionario debería pagar.

Para el efecto de comparar los costos de consumo entre ambas tecnologías, se considera un autobús diésel que recorre dos kilómetros por litro de combustible, *vis-à-vis* un autobús eléctrico que utiliza 2 kWh para desplazarse los mismos dos kilómetros, sin uso de aire acondicionado ni sobrecarga de pasajeros<sup>18</sup>. El costo de la unidad de diésel por movilizar los dos kilómetros fue prácticamente un dólar (un litro de diésel); en cambio, el costo incurrido por el autobús eléctrico fue de 120,50 CRC, es decir, USD 0,206. De esta manera, el costo del consumo de un autobús eléctrico es un 80% menor del consumo del autobús convencional, además de la reducción en emisiones por el no uso de hidrocarburos. Por lo tanto, la tarifa eléctrica propuesta para el servicio de transporte es una excelente medida para aventajar las tecnologías eléctricas; además, al ser posible la medición del consumo de los e-autobuses mediante la conexión a los cargadores, es posible un fácil seguimiento del consumo eléctrico efectivo.

Se asumen tasas de crecimiento reales del 1% para el precio de la electricidad, en línea con el análisis realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en el informe sobre las proyecciones de demanda eléctrica en Costa Rica y de 2,75% para el precio del combustible diésel. Este guarismo corresponde a la variación interanual promedio del precio del diésel brindados por RECOPE (2019) para el período 2015-2019, con variación nominal de 5,75% e inflación por año de 3%. Al término del año 5 se asigna al precio del combustible un crecimiento anual total del 1%, con el objetivo de evitar crecimientos explosivos y mantener el supuesto conservador.

Dado que en Costa Rica el precio a público del combustible es atribuido en gran medida a cargas tributarias, es difícil asegurar que los valores cobrados en las estaciones de servicio coincidan o se comporten exactamente según el precio internacional. El impuesto a los combustibles constituye una importante fuente de ingresos para el gobierno nacional, lo que explica decisiones como la de mantener los precios del combustible durante situaciones adversas como la generada por la pandemia del coronavirus, no obstante, la fuerte caída del precio del crudo en los mercados internacionales.

Las compras realizadas por RECOPE se concentran en gran medida en importaciones procedentes de Estados Unidos, llegando al 98% en el 2015 (La Nación, 2016). Dichas compras entre el 2012-2016 fueron intermediadas principalmente por la compañía Valero Marketing & Supply Co., que alcanzó un porcentaje máximo sobre las importaciones (82,02%) en el 2014.

Energy Information Administration (EIA) estima que el precio del petróleo y el diésel volverán a subir, llegando hasta los 32 dólares por barril para la segunda mitad del 2020, 48 dólares el barril en promedio para el 2021 hasta alcanzar los 54 dólares el barril para finales del 2021 (EIA, 2020).

Respecto a productos derivados como el diésel y la gasolina, las medidas internacionales tomadas en el contexto de la pandemia han llevado a que sus precios, a nivel internacional, se reduzcan hasta alcanzar los 1,91 dólares el galón para el caso de la gasolina y a 2,22 dólares el galón en el caso del diésel (lo que representan 0,505 dólar/litro para la gasolina y 0,5865 dólar/litro para el diésel) (véase el cuadro 9).

---

<sup>18</sup> Ambas tecnologías tienen alta probabilidad de eficiencia según la edad y uso de los autobuses.

**Cuadro 9**  
**Precios internacionales para fuentes de energía y predicción para el 2021**  
*(En dólares)*

Dólares por	2018	2019	2020	2021	Variación promedio (en porcentajes)
Barril petróleo WTI <sup>a</sup>	65,1	57,0	30,1	43,3	-5,2
Barril petróleo Brent <sup>b</sup>	71,2	64,4	34,1	47,8	-5,5
Galón de gasolina <sup>c</sup>	2,7	2,6	2,0	2,2	-6,4
Galón de diésel <sup>d</sup>	3,2	3,1	2,4	2,5	-6,7
Gas natural <sup>e</sup>	10,5	10,6	10,5	10,7	0,9
kWh de electricidad <sup>f</sup>	0,129	0,130	0,131	0,134	1,4

Fuente: Elaboración propia según EIA (2020).

<sup>a</sup> Según West Texas Intermediate.

<sup>b</sup> Según Brent.

<sup>c</sup> Según precio promedio en gasolineras.

<sup>d</sup> Según precio sobre carretera.

<sup>e</sup> Dólares por mil pies cúbicos.

<sup>f</sup> Según promedio residencial de Estados Unidos.

Los diversos aspectos a considerar en los costos de mantenimiento de la tecnología eléctrica no parecen estar suficientemente consolidados debido a la escasa madurez del mercado. Durante la consulta realizada a los encargados de BYD en Costa Rica, estos señalaron que la necesidad de repuestos y precios no están todavía estandarizados ni definidos con mayor certeza. A pesar de mantener un programa en el que utilizan un autobús eléctrico en las instalaciones de la Universidad de Costa Rica (UCR), recomiendan de momento su revisión cada 7.000 km, distancia que no resulta favorable para los autobuseros quienes necesitan de su flota prácticamente la totalidad de los días. Por su parte, el boletín técnico del bus KgG presente en el sitio web oficial de BYD, señala que la frecuencia de mantenimiento del autobús eléctrico es de 10.000 km, distancia superior a los 5.000 km que señalan para la tecnología diésel.

Las distintas fuentes consultadas coinciden en que hay partes, filtros, lubricantes y aceites que no se requieren en las tecnologías eléctricas, pero sí en las tecnologías diésel, lo que se traduce en ventajas competitivas para los e-autobuses respecto de los autobuses con motores de combustión. Sin embargo, los autobuses eléctricos poseen tecnologías que aún permanecen en pruebas y son susceptibles a fallas, además de la necesidad de cambiar las llantas del e-autobús más frecuentemente debido a su mayor peso.

Las publicaciones y fuentes consultadas registran una gran dispersión en la variación de los costos de mantenimiento de los buses durante el año, incluso en los costos de mantenimiento por kilómetro. A pesar de la creencia que dichos costos son menores dada su menor cantidad de piezas y requerimientos, la baja disponibilidad y alto precio de sus repuestos podría revertir este hecho y hacer que sea más cara.

Debido a que las empresas autobuseras de Costa Rica no disponen de un desglose de los gastos de mantención de los vehículos, en este informe se optó por utilizar los valores estimados por la consultora Creara (2019), obtenidos de la revisión de manuales de usuario de los vehículos y de entrevistas a fabricantes y talleres en Costa Rica y España<sup>19</sup>. Sobre el particular, Creara reporta costos de mantenimiento de 0,0985 dólar/km para la tecnología de combustión interna y de 0,0490 dólar/km para la eléctrica. Tales valores muestran que el costo de mantenimiento por kilómetro de los autobuses con tecnología diésel serían más del doble del costo de mantenimiento de los autobuses eléctricos. A su vez, Deloitte (2019) confirma que el costo del mantenimiento de los autobuses con tecnología diésel es más alto que el de los autobuses eléctricos, aunque en menor proporción (38,2%), estimándolo en 0,199 dólar/km para la alternativa diésel y 0,144 dólar/km para la tecnología eléctrica. De esta manera,

<sup>19</sup> La información de los costos de mantenimiento estimados por Creara (2019) según cada tecnología (anexo 5).

el ahorro por costos de mantenimiento de un autobús que se obtiene por el cambio de tecnología, de un vehículo con motor de combustión a uno eléctrico, oscilaría entre los 2.500 y 3.500 dólares por año (Grutter Consulting, 2019).

En definitiva, la revisión de distintos análisis de factibilidad y prefactibilidad relacionados con la implementación de tecnologías eléctricas, muestran que los autobuses con motor de combustión tienen costos por mantenimiento que superan entre 40% y 50% los costos respectivos de los autobuses eléctricos.

### c) Costos fijos y legales

Entre los costos fijos y legales que los operadores del transporte público deben solventar se encuentran los relacionados a los pagos por derechos de circulación, impuestos, RTV y seguros (véase el cuadro 10).

**Cuadro 10**  
**Costos fijos que incurren buses según tecnología**  
(En dólares)

Rubro/tecnología	Autobús diésel	Autobús eléctrico
Marchamo	2 210	5 662
Seguro	3 542	3 896
Revisión técnica (semestral)	30	30

Fuente: Creara (2019).

Los precios de los rubros mencionados se actualizarán con una tasa del 3% anual, en conformidad con la tasa de inflación proyectada por el BCCR (con rango meta del 3% ± 1%). Cabe destacar también que la herramienta considera las exoneraciones a los derechos de propiedad de los buses eléctricos, que gracias a la Ley 9518 durante el primer año reciben una exoneración del 100% sobre este impuesto. Este se va reduciendo un 20% cada año hasta llegar a exonerar el 0% para el sexto año. En el cuadro 11 se detallan los costos fijos e impuestos contemplados en las metodologías tarifarias para el servicio de autobuses facilitadas por la ARESEP.

**Cuadro 11**  
**Costos fijos para fijación de tarifas de tecnologías diésel**

Costos de mantenimiento	Dólares	Colones
Prima anual del seguro obligatorio automotor -SOA-	170,3	99 119,08
Impuesto anual a la propiedad de vehículo	13,7	8 000,00
Tasa anual de la Ley 7088	3,2	1 871,00
Timbre anual por Fauna Silvestre	1,9	1 078,00
Impuesto anual a favor de las municipalidades	0,3	200,00
Prima A del seguro semestral por vehículo	169,4	98 603,80
Prima C del seguro semestral por vehículo	87,6	50 968,65
Inspección técnica vehicular semestral	31,1	18 100,00
Canon anual Aresep	1 788,6	1 040 873,12
Canon anual CTP	595,7	346 655,00

Fuente: Elaboración propia a partir de metodología tarifaria brindada por ARESEP.

Para los efectos de incluir los autobuses eléctricos en las metodologías de regulación de las tarifas es necesario que los costos reportados sean revisados y autorizados por parte de la ARESEP, tanto para su actualización, como para su valoración e inclusión en futuros recambios de flotas. Esto es así debido

a que las metodologías asignan coeficientes a los costos de mantenimiento y operación, por lo que algunos de estos factores dependen del valor tarifario del autobús. Dado que el precio de las unidades eléctricas es más alto, es posible que se sobreestimen las tarifas, no obstante que los costos de operación y mantenimiento de los autobuses sean más bajos.

#### d) Términos de financiamiento

Algunas de las entidades financieras consultadas afirman haber mantenido acuerdos con los operadores de autobuses para transformar sus flotas diésel a eléctricas. Asimismo, afirman mantener conversaciones en las que existe espacio para financiar la adquisición de autobuses eléctricos con tasas preferenciales.

Entre las entidades financieras consultadas que brindan recursos para la adquisición de autobuses, la mayor parte señaló que los términos para los préstamos, inclusive a nivel de tecnologías diésel, varían según las necesidades de la empresa y los bancos. Ello determinó que algunas entidades se abstuvieron de ofrecer financiamiento considerado “estándar” o de ventanilla, en virtud de su variabilidad. Excepcionalmente, BAC Credomatic facilitó las condiciones más predeterminantes para adquisición de autobuses diésel bajo la figura del leasing (véase el cuadro 12), a pesar de mantener cierta variabilidad en sus términos de financiamiento.

**Cuadro 12**  
**Términos de financiamiento de bac credomatic para adquisición de autobuses con tecnologías diésel**

Término de financiamiento	Valor
Porcentaje de financiamiento	Máximo 80%, sujeto a análisis de cada caso
Tasa fija	6,90% a dos años
Tasa variable	Libor a 3 meses + 7%
Plazo	84 meses
Comisión	3,25%

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por Gerente de Banca Comercial y Leasing.

Nota: Libor a 3 meses a 1,75113% para el 31 de enero según BCCR.

Es importante señalar que con la aprobación de la “Ley Fortalecimiento de las Finanzas Públicas” No. 9635 (diciembre de 2018), por tratarse de un producto financiero, el *leasing* incluye un margen de intermediación financiera que es gravado por la administración hacendaria. Sin embargo, en relación con la adquisición de autobuses y prestación de este servicio, dicha legislación establece que:

“...Los servicios de transporte terrestre de pasajeros y los servicios de cabotaje de personas, siempre y cuando cuenten con permiso o concesión otorgada por el Estado, y cuya tarifa sea regulada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), cualquiera que sea su naturaleza o el medio de transporte utilizado. Asimismo, la importación de autobuses y las embarcaciones utilizadas para la prestación de estos servicios de transporte colectivo de personas. Esta exoneración también será aplicable a la compraventa local, el arrendamiento y el *leasing* de estos bienes, en el tanto los titulares sean concesionarios o permisionarios. El alquiler y el *leasing* comprenderán los bienes muebles, así como también los planteles y las terminales utilizadas para su operación” (Ley Nro. 9.635, artículo 8, punto 24, p. 8).

En definitiva, la Ley Nro. 9.635 favorece la adquisición de equipos como arrendamiento de inmuebles con fines de transporte terrestre de pasajeros, para efectos de lo cual se debe comprobar el permiso de concesionario otorgado por la ARESEP.

Este punto es importante aclararlo ya que en las entrevistas realizadas a gerentes de entidades financieras se constató que la opción de leasing se había debilitado tras la aprobación de la Ley Nro. 9.635. Esto parece confirmar el paulatino ajuste que viene presentando Costa Rica a nivel de sectores productivos y cierto recelo a métodos alternativos de financiamiento. Parte de la menor atracción del leasing como modo de financiamiento es explicada también por la incertidumbre del valor futuro de la flota y su alto precio actual.

Sobre otros aspectos relevantes del mercado de financiamiento en Costa Rica, las entidades bancarias mencionan la dificultad de controlar los estados contables de las empresas autobuseras, debido a la contratación de servicios prestados por terceras empresas y a la práctica de llevar cuentas separadas de los flujos. Estos procedimientos dificultan que las empresas de autobuses puedan ser “banqueables” y optar por financiamiento. A pesar de esto, se señala que en el transporte público de Costa Rica hay empresas operadoras que logran mantener sus cuentas en orden y permiten a los banqueros ofrecer tratos de financiamiento.

En la definición de una propuesta de financiamiento son relevantes aspectos tales como el plazo, que generalmente coincide con 84 ó 96 meses; las tasas de interés, el porcentaje de apalancamiento y la comisión a pagar, entre otros. Ante la indisponibilidad de métodos y líneas de financiamiento exclusivas para autobuses eléctricos en el país, se emplean los términos facilitados por el Banco Nacional de Costa Rica para vehículos eléctricos (véase el cuadro 13).

**Cuadro 13**  
**Ejemplo de condiciones de financiamiento para vehículos eléctricos**

Término de financiamiento	Línea vehículos diésel	Línea vehículos eléctricos
Apalancamiento	80%	90%
Tasa fija	11,40% por 2 años	8,25% por 2 años
Tasa variable	TB+6,10% años 3 y 4, TB+7,50% resto del plazo	TB + 2,75% resto del plazo
Plazo	96 meses	96 meses
Comisión	3,25%	1,37%

Fuente: Elaboración propia a partir de información brindada por Banco Nacional desde Centro de Contacto.

Nota: TB del Banco Central cerró en 4,50% para el 15 de marzo del 2020.

Se decide utilizar los recién mencionados términos de financiamiento para el desarrollo de modelo, con la idea de reflejar la ventaja comparativa que los bancos podrían ofrecer para la adquisición de buses eléctricos. Además, ha de considerarse que, a partir de los términos de financiamiento facilitados por BAC Credomatic, las tasas fijas para financiamiento pueden ser menores a las utilizadas en el modelo, por lo que los resultados podrían ser más atractivos para la adquisición de tecnologías eléctricas.

El Banco Nacional ha participado en el financiamiento de unidades de autobuses híbridos, ofreciendo términos de financiamiento con 0,30% de reducción en las tasas de interés y comisión. Sin embargo, señalan que se encuentra trabajando internamente para brindar mejores condiciones a tecnologías alternas para cuando el mercado muestre mejores señales.

En Costa Rica existen varias iniciativas en las que confluyen instituciones públicas y privadas interesadas en financiar distintas maneras de promover tecnologías verdes o proyectos ambientales que contribuyan a la descarbonización de la actividad productiva.

Ejemplo de esto es BAC Credomatic, que mediante su línea de leasing financia el desarrollo de tecnologías alternas, ofreciendo tasas de interés y/o comisiones más convenientes que otras entidades financieras.

Asimismo, destaca el proyecto “MiTransporte” desarrollado conjuntamente por la Agencia Internacional de Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ por sus siglas en alemán) y la Fundación CRUSA. Este se instaura con el propósito de solventar la necesidad de información que permita el

desarrollo de productos financieros facilitadores de la bancarización del transporte público sustentado en buses eléctricos. Mediante este proyecto se está generando información de la estructura operativa de la nueva tecnología, sobre la base de la incorporación de tres e-buses y la conformación de un consorcio público-privado. Además, las entidades mencionadas apoyarán la selección del o los concesionarios que participarán en el proyecto, las rutas, la tecnología a emplear por los autobuses, y el diseño de uno o varios instrumentos financieros para la masificación de los e-buses en rutas de servicio público (Fundación CRUSA, 2019).

Otra alianza público-privada que amerita ser relevada lo constituye el convenio entre la empresa BYD y la Universidad de Costa Rica, que buscan estudiar múltiples variables para producir datos científicos que determinen cuál es el desempeño de un bus eléctrico y su impacto en el consumo energético que demanda a la red eléctrica, entre otras aristas. Este convenio concedió a la UCR el uso de un e-autobús marca BYD durante parte del año 2019, para prestar servicios internos de transporte de pasajeros que funciona dentro del campus universitario. El objetivo del convenio es obtener información sobre la evolución del funcionamiento del vehículo por parte del Laboratorio de Investigación en Potencia y Energía (EPER-Lab) pueda (UCR, 2019).

Dada la gran diferencia de precios entre tecnologías, al aplicar los términos de financiamiento idénticos, se estima una diferencia de flujos (sin descontar) superior a los USD 90.000. Por esta razón se requieren instrumentos especiales que permitan el financiamiento de tecnologías limpias que equiparen los costos y beneficios a la entidad (véase el cuadro 14).

**Cuadro 14**  
**Amortización de deuda según términos de financiamiento de BAC Credomatic**

Rubro	Unidades diésel				Unidades eléctricas			
	Tasa aplicada	Saldo de deuda (En dólares)	Pago de interés (En dólares)	Amortización (En dólares)	Tasa aplicada	Saldo de deuda (En dólares)	Pago de interés (En dólares)	Amortización (En dólares)
Año 0								
Pago de prima	-	-	-	25 400	-	-	-	84 000
Pago de comisión	3,25	-	-	4 128	1,35	-	-	18 900
Año 1	6,90	101 600	7 010,4	12 700	6,90	336 000	23 184,0	42 000
Año 2	6,90	88 900	6 134,1	12 700	6,90	294 000	20 286,0	42 000
Año 3	8,75	76 200	6 668,3	12 700	8,75	252 000	22 052,5	42 000
Año 4	8,75	63 500	5 556,9	12 700	8,75	210 000	18 377,1	42 000
Año 5	8,75	50 800	4 445,5	12 700	8,75	168 000	14 701,7	42 000
Año 6	8,75	38 100	3 334,1	12 700	8,75	126 000	11 026,3	42 000
Año 7	8,75	25 400	2 222,8	12 700	8,75	84 000	7 350,8	42 000
Año 8	8,75	12 700	1 111,4	12 700	8,75	42 000	3 675,4	42 000
Precio de las unidades				127 000				420 000
Porcentaje financiado				80				80
TBP (En porcentajes)				4,50				4,50
Libor 3 meses (En porcentajes)				1,75				1,75
Tasa de descuento	13,0	4,5	2,5	0,0	13,0	4,5	2,5	0,0
VAN (comisión + interés)	28 535,39	35 498,77	37 618,12	40 610,92	99 619,02	122 647,52	129 656,39	139 553,82

Fuente: Elaborado por los autores.

### e) Depreciación y valores residuales

En general, las metodologías tarifarias consideran entre sus variables los costos de depreciación del capital. Su cálculo se realiza mediante una depreciación acelerada (factores de depreciación mayores para los primeros 7 años), permitiendo a los operadores descontar gran parte del valor del autobús (un 80%) durante la primera mitad del periodo de vida útil. Los factores utilizados en las metodologías tarifarias de la ARESEP (para flota regla tipo 2) se detallan en el análisis de dicha metodología (véase el anexo 9).

Los factores de depreciación permiten al concesionario depreciar el 100% del valor del autobús mediante tarifas<sup>20</sup>. Además, se asume la venta del autobús al alcanzar los 15 años de vida útil en algún mercado exterior y a un valor residual del 10% para ambas tecnologías.

Este supuesto puede presentar variaciones. La necesidad de reducir emisiones y el uso de combustibles fósiles por los autobuses de tecnologías convencionales pueden derivar en depreciar una menor proporción de su valor en comparación a las tecnologías eléctricas, o bien, un posible auge en el mercado de autobuses de baterías haría del valor residual de éstos últimos aún mayor.

### f) Tasas de inflación, tasa de rentabilidad y tasa de descuento

La tasa de inflación considerada es la publicada por el BCCR en su Programa Macroeconómico 2019-2020 (3% ± 1, p. 24), la que es utilizada en el modelo para incrementar algunos de los precios en el tiempo; como es el caso de los costos de operación y de mantenimiento.

La tasa de descuento representa el costo de oportunidad del capital invertido por parte de los concesionarios. En su construcción se indaga sobre las tasas de rentabilidad exigidas en las metodologías tarifarias y las tasas sociales de descuento recomendadas por MIDEPLAN, entre otras fuentes<sup>21</sup>.

En el caso de las metodologías tarifarias se consideran dos tasas distintas según los años de uso del autobús. Una tasa corresponde al 16,2%, utilizada para la flota de autobuses Tipo 1 y que coincide con la tasa activa promedio del Sistema Financiero Nacional. La segunda tasa es de 11,50%, que es fijada mediante la resolución RIT-096-2018 (ARESEP, 2018).

Dicha normativa establece que el cálculo de la tasa de rentabilidad para la flota tipo 2 se realizará mediante el método del Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC por sus siglas en inglés). De esta manera, para la flota tipo 2 se considera la proporción de los costos que son cubiertos por recursos propios y la proporción mediante deuda, es decir, el financiamiento aportado por un tercero. El cálculo considera indicadores financieros para cada tipo de capital (propio o financiado), provenientes de información contable contenida en los estados financieros remitidos a ARESEP.

A partir del año 2018 se calculó la primera tasa, pero en el apartado 4.6.1.b del anexo 4 de la Resolución mencionada sobre la metodología tarifaria se estableció que dicha tasa será actualizada una vez al año y deberá ser publicada en el Diario Oficial La Gaceta como máximo el último día hábil de abril de cada año.

Las actualizaciones a dicha tasa se muestran en las siguientes resoluciones:

- 11,50 %: RIT-096-2018 del 23 de julio de 2018 (expediente OT-273-2018).
- 12,91 %: RE-0032-IT-2019 del 23 de abril de 2019 (expediente OT-231-2019).
- 13,01 %: RE-0027-IT-2020 del 24 de abril de 2020 (expediente OT-182-2020).

<sup>20</sup> Estos ingresos adicionales no son considerados hasta la sección G de este capítulo.

<sup>21</sup> Stern, N.H. (2007). Centro para la Economía y Política del Cambio Climático (2015).

Mediante el método de WACC se obtiene una menor tasa de rentabilidad en comparación al método de Tasa Activa Promedio del SFN, lo que puede resultar en tarifas menores. Dado que el método de WACC es aplicado a las flotas tipo 2 y los buses eléctricos que serán adquiridos son nuevos, esta es la tasa considerada para el análisis financiero privado.

En distintos escenarios se consideraron las tasas de descuento utilizadas por diferentes operadores, así como la tasa social de descuento estimada por parte del MIDEPLAN (8,31%), (MIDEPLAN, 2019).

#### g) Período de análisis

El periodo de análisis se fijó en 15 años, que corresponde al periodo aceptado por la ARESEP para uso y depreciación del autobús. Además, se considera la vida útil de las baterías eléctricas, que necesitan ser remplazada al séptimo u octavo año, dado lo cual el uso de dos baterías alcanza aproximadamente los 15 años de proyecto.

#### h) Kilometraje

A pesar de tener costos mayores de inversión, los autobuses eléctricos poseen menores costos operativos y de mantenimiento relacionados con el kilometraje del bus. Por lo tanto, las unidades eléctricas poseen una mayor competitividad en rutas con mayor kilometraje al necesitar menos cambios de componentes, tales como aceites y filtros, en comparación con a las unidades de combustión, además de presentar un costo por consumo de energía menor.

A partir de la metodología tarifaria de la ARESEP, se considera que el rango de kilometraje anual por unidad es de 40.000 a 50.000 km. Entre algunas de las rutas incluidas en el análisis de tarifas, se consideran únicamente las ofrecidas en rutas urbanas con kilometraje promedio señalado (véase el cuadro 15). Sin embargo, rutas interurbanas con recorridos relativamente planos pueden ser consideradas y declaradas aptas para la operación de autobuses eléctricos.

**Cuadro 15**  
**Kilometrajes anuales por autobús para rutas urbanas, según metodología tarifaria**

Operador o empresa	Número de ruta	Recorrido anual promedio ( <i>En kilómetros</i> )
Autotransportes López S.A.	1 221	47 673
Buses INA Uruca	10	52 588
Autotransportes Raro S.A.	61	43 388
Coopana R.L.	20	49 938
Autotransportes Ruta Setecientos Diez S.A.	710	56 238
Microbuses Rápidos Heredianos S.A.	400-A	49 303

Fuente: Elaborado por los autores a partir de kilometrajes y rutas obtenidas desde modelos tarifarios ordinarios llenos, para rutas urbanas (extensión  $\leq 25$  km) y facilitados por ARESEP.

Nota: Como supuesto inicial se utiliza un kilometraje de 45.000 km/año.

Se justifica el uso de un factor por concepto de kilometraje improductivo, que compensa los tiempos en el que el autobús se encuentra en pausa para permitir el abordaje de pasajeros, o por congestión vial, traslado a los planteles y otros tiempos en los que el autobús se mantiene encendido y funcionando a pesar de estar detenido. Se asume un coeficiente por kilometraje improductivo de 10%, considerado un supuesto conservador, pero que coincide con el brindado por las metodologías tarifarias de ARESEP.

Dado que el contexto de electrificación sucede en un entorno urbano, se asume un ajuste por superficie de rodamiento del 0%.

## 2. Consideraciones para evaluaciones económicas

Para el análisis económico, además de mantener gran parte de los resultados y variables utilizadas en el análisis financiero, se considera también las ventajas y desventajas comparativas a nivel social de cada tecnología, es decir, sus externalidades. En esta sección se pasará revista a las principales diferencias entre ambas tecnologías desde una perspectiva económica.

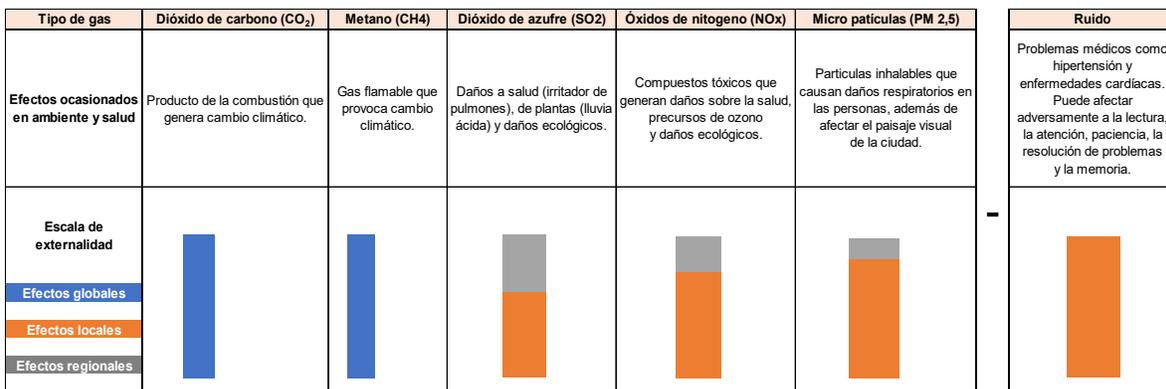
### a) Consideraciones del diferencial en emisiones entre tecnologías

Los autobuses eléctricos son considerados “cero emisiones” durante su uso ya que no contemplan procesos de combustión; en comparación a las tecnologías diésel, las emisiones de GEI de los e-buses son menores o nulas, ya sea por combustión, rodamiento o generación de combustible entre otros (Grutter Consulting, 2018). Según esta consultora, las emisiones de GEI y otros gases contaminantes presentes en los servicios prestados por los autobuses de diésel son: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), PM<sub>2.5</sub><sup>22</sup>, metano (CH<sub>4</sub>) y óxidos de nitrógeno (NOx).

El valor económico de estas externalidades se obtiene de fuentes oficiales nacionales, organismos internacionales e investigaciones realizadas anteriormente. Estos expresan en dinero los daños causados a la salud de las personas por la inhalación de gases y partículas, y al medioambiente debido a la liberación de GEI.

Dado que cada gas produce efectos diferenciados según escala, se hace relevante observar la distribución y el efecto que pueden generar las emisiones ahorradas mediante la sustitución de un autobús diésel por uno eléctrico. El gráfico 19 permite ilustrar dichos efectos y su rango de afectación para cada uno de los gases considerados.

**Gráfico 19**  
Gases contaminantes por uso de autobuses, sus efectos y escala de impacto



Fuente: Elaborado por los autores.

Nota: Escala de externalidad no refleja datos exactos sobre distribución del efecto, solo nivel de alcance.

En el caso de las emisiones de GEI, se observa que los gases de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> contribuyen al calentamiento global, por lo que su escala de afectación es, literalmente, global. Los restantes gases contaminantes son de escala local y regional (es decir, localizaciones cercanas a focos de contaminación), que dañan la salud de las personas (enfermedades crónicas respiratorias, cardiovasculares, entre otras), el ecosistema y afectan negativamente el paisaje urbano.

<sup>22</sup> Materia particulada (PM por sus siglas en inglés) 2.5, son partículas muy pequeñas en el aire que tiene un diámetro de 2.5 micrómetros (aproximadamente 1 diezmilésimo de pulgada) o menos de diámetro.

Un estudio del impacto de los gases contaminantes sobre la calidad del aire, realizado por CEPAL en el marco de las actividades del programa EUROCLIMA, señala que durante el siglo XX la concentración de la población en las ciudades ha crecido exponencialmente, estimando que ésta será de 60% al año 2030 si esta tendencia se mantiene. Este comportamiento se ha replicado en la GAM. De hecho, al año 2011 la GAM albergaba el 54,7% de la población de Costa Rica, con una tasa de crecimiento en promedio de 3% anual en un área equivalente a solo un 3,8% del territorio nacional (CEPAL, 2017).

La concentración de la población conlleva, la mayoría de los casos, concentraciones de la contaminación. A pesar de que el efecto de los gases contaminantes sobre las personas individuales puede ser pequeño, la exposición a los mismos por grandes grupos de personas durante tiempos prolongados y recurrentes lo convierte en un asunto de salud pública.

En este contexto de crecimiento poblacional y efectos adversos de la exposición de los gases sobre el ser humano, CEPAL analiza el impacto del deterioro de la calidad del aire sobre la salud, realizando además una valoración económica de los beneficios que la reducción de contaminantes conllevaría para la GAM.

En 2011, el 57% de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción y consumo de energía se originó en el sector transporte. Debido a la concentración de la población, el 70% de la flota vehicular del país existente en el país hacia el 2011 se concentró en la GAM, y pese a la concentración de vehículos en esta área, el 54% de la población hacía uso del transporte colectivo (CEPAL, 2017).

El crecimiento de la flota vehicular genera una mayor demanda de combustibles y un aumento de emisiones de contaminantes. En año 2011 se generaron 418.663 toneladas de monóxido de carbono (CO), 64.640 toneladas de óxidos de nitrógeno (NOx) y 6.149 toneladas de PM<sub>10</sub> (CEPAL, 2017).

El procedimiento empleado por la CEPAL para evaluar el impacto y los beneficios económicos incluye un Análisis de Trayectoria de Impacto<sup>23</sup>, así como del uso de funciones de concentración-respuesta. Las dimensiones consideradas para evaluar los daños de salud fueron mortalidad, morbilidad y admisiones hospitalarias, además de apreciaciones sobre distintos escenarios, niveles de exposición y otras características de la población existente en la GAM, sea o no residente.

Dicha metodología permite obtener valores monetarios y sociales de la vida humana, considerando variables como el PIB, edad y esperanza de vida de la población. Adicionalmente, la valoración económica incluye estimados monetarios de enfermedades recurrentes y considera la disposición a pagar de las personas por evitarlas.

Por ejemplo, la disposición a pagar para evitar un episodio de bronquitis crónica leve en Estados Unidos es de 302.373 dólares por caso. Para transferir dicho valor a Costa Rica se utilizó el método nave, que considera la paridad de compra entre países y la elasticidad de ingreso. De esta forma, para obtener el beneficio económico, se multiplica el número de casos de bronquitis atribuibles a la concentración de PM<sub>10</sub> (u otro gas respectivo) por el valor monetario obtenido para cada caso. Además, se consideran los costos relacionados a ingresos, cuidados y estadías hospitalarias para también multiplicarlos por el respectivo número de casos atribuibles a gases contaminantes (CEPAL, 2017, p.31).

La valoración económica incluye consideraciones de reducción de emisiones de gases, planteando un escenario de reducción según los estándares de la OMS, otro escenario según estándares de Estados Unidos y un tercer escenario según los presentes en Costa Rica (CEPAL, 2017). Los dos primeros no son cumplidos por la casi totalidad de los cantones de la GAM.

---

<sup>23</sup> IPA por sus siglas en inglés.

Dado que la reducción total de emisiones de gases es prácticamente utópica y que las regulaciones de Estados Unidos y el Ministerio de Salud de Costa Rica son bastante permisivas, en este estudio se optó por utilizar los resultados obtenidos por CEPAL (2017) para el escenario de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que coincide con las recomendaciones de la OMS.

**Cuadro 16**  
**Costos sociales incurridos por muertes y hospitalizaciones a causa de contaminación en el aire**

Rubro de valoración	Beneficio económico
Según enfoque de muertes evitadas o años de vida ganados	
Muertes atribuibles	228,80 muertes anuales evitadas por exposición de largo plazo, para un total de 185.543.776 dólares anuales
Años de vida ganados	Con este enfoque resulta en un promedio de 115.870,828 dólares anuales (con 12.745,68 vidas ganadas al año)
Morbilidades atribuibles	
Bronquitis crónica en adultos	Evitados 563,45 casos (8,52% del total) para un beneficio de 17.290,86 dólares anuales
Bronquitis aguda en niños	11.284,13 casos evitados al año (27,42% del total)
Asma	4.507,55 crisis evitadas al año (3,27% del total) para un promedio de 54.892 dólares al año
Ingresos hospitalarios atribuibles	
Por causas respiratorias	Se reducen 61,04 ingresos por causas respiratorias (0,99% del total)
Por causas cardiovasculares	Se reducen 41,93 ingresos por causas cardiovasculares (0,51% del total)
En total, el beneficio anual por reducción de ingresos hospitalarios es de 233.469 dólares	

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de antecedentes obtenidos de CEPAL (2017).

CEPAL ha señalado que en alguna literatura los impuestos al combustible son acusados de frenar el crecimiento económico, no obstante ser el principal causante de las emisiones de gases y un bien utilizado en mayor medida por las personas de altos ingresos (CEPAL, 2017). En razón de estas características, deduce, los impuestos a los combustibles deberían ser catalogados como un impuesto progresivo, pero dado que es aplicado como porcentaje único sobre el precio independientemente del ingreso de los compradores, estos impuestos pueden afectar la distribución del ingreso y la riqueza. En consideración a esta situación, CEPAL recomienda aplicar instrumentos correctivos diversos, tales como los incentivos a las tecnologías limpias (en el derrotero de la Ley No. 9518), impuestos a la circulación y políticas que busquen el mejoramiento del transporte público para descongestionar las zonas de alta concentración de personas y vehículos.

Ha de tenerse en cuenta, en relación con los costos en la salud de la población suscitados por gases contaminantes, que la GAM, a pesar de ser menos del 4% del territorio nacional, concentra el 75% de la flota vehicular, el 70% de la industria y el 60% de la población del país (Plan Nacional de Transporte Eléctrico, 2020). Por lo tanto, se asume que el impacto ambiental a nivel de país registrado en esta pequeña extensión de territorio es muy preocupante.

Este impacto se ve reflejado en el estudio "Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Costa Rica" (Banco Mundial, 2011), que muestra como los gastos en salud por gases contaminantes en el aire representaron un 1,1% del PIB y los de mortalidad un 0,9% del PIB, ascendiendo a la suma de \$210 mil millones en 2011. A estos resultados hay que añadir que muestreos realizados por el Ministerio de Salud (2016) exhiben que entre el 32% y 38% de los resultados de las zonas de estudio se encuentran por encima de los  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , porcentaje que aumenta a niveles bastante mayores en los cantones que tienen concentraciones por encima de las  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  recomendadas por la OMS.

No obstante que la gran mayoría de sitios de muestreo en San José mantienen niveles superiores a los recomendados, los gases contaminantes como las PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> se mantendrían estables (Ministerio de Salud, 2016), de lo que se deduce que la tendencia de la concentración en los últimos años se ha mantenido o inclusive reducido entre el 2013 y 2016.

El impacto económico por contaminación que calculó la CEPAL (2017) se midió considerando el deterioro en salud ocasionado por la concentración de PM<sub>10</sub> en el aire. Además, otras fuentes (OPS-OMS)<sup>24</sup> señalaron que las partículas consideradas PM<sub>2,5</sub> son las principales causantes de daños respiratorios, cardiovasculares y de otros tipos. De acuerdo con ello, se hace necesaria la readecuación de los costos según el tipo de partículas emitidas por los autobuses.

Al respecto, la Universidad Nacional (s.f.) calculó el promedio anual de la concentración de partículas de PM<sub>10</sub> en la GAM, obteniendo por resultado que del total de emisiones de partículas en el entorno, la relación entre PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> ronda entre 0,66-0,70. Esto quiere decir que aproximadamente dos terceras partes del total de PM<sub>10</sub> emitidas son de tamaño igual o menor a las PM<sub>2,5</sub>. Por lo tanto, a pesar de no disponerse del costo específico en salud de responsabilidad del PM<sub>2,5</sub>, podría considerarse que este es un porcentaje cercano al 70% del impacto total por material particulado, en virtud de ser las partículas de este tamaño (o menores) las más nocivas.

Para cuantificar las emisiones no emitidas por cada e-autobús que se adquiera, se utilizan los factores de emisión de cada uno de los gases mencionados para cada tecnología. La puesta en valor monetario de estas externalidades se realiza según precios sociales que se hayan calculado, publicado o prevalezcan en el mercado.

Por cierto, la medición de las emisiones debe considerar además de las generadas durante el uso del autobús, las emisiones generadas por la generación de la energía que el autobús utilice. En el caso de los e-autobuses se emplea, en consecuencia, un factor de emisión por generación de energía eléctrica.

De esta manera, en la medición de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el análisis realizado por Monitor Deloitte (2019) utiliza factores elaborados por la Environmental Protection Agency, que obtienen factores totales de emisión para las tecnologías diésel de 1.571 gCO<sub>2</sub>/km, y para los autobuses eléctricos considera el factor de emisión por la generación de electricidad publicado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) para Costa Rica, que es de 76 gCO<sub>2</sub>/km.

Al respecto, debe tenerse en consideración que el Instituto Meteorológico Nacional (2019) considera que el factor de emisión por generación de electricidad varía anualmente dependiendo de los requerimientos anuales de combustibles fósiles. Así, por ejemplo, dicho factor en el año 2019 fue de 0,0395 kgCO<sub>2</sub>e/kWh (es decir, unos 39,5 gCO<sub>2</sub>e/kWh). Dado que el factor es de reciente data al momento de este estudio y, además, calculado de manera nacional, se define como el valor adecuado para cuantificar las emisiones provenientes por el uso del bus eléctrico.

El precio de la emisión de carbono equivalente se define como el valor que se brinda en territorio costarricense mediante el Pago de Servicios Ambientales (PSA), estimado por el Fondo de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Para este caso, esta institución proporciona créditos de carbono por USD 7,5, monto que corresponden a una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente.

Al respecto, un documento elaborado por CEPAL (2019, p.5) en conjunto con la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) busca obtener el verdadero costo social del carbono (CSC) para Latinoamérica, definido como el valor monetario del daño causado al emitir una tonelada de carbono adicional en un momento dado en el tiempo.

---

<sup>24</sup> <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.

Según la Unión Europea (2014) el costo del carbono debe ser igual para todos los países en tanto no existen grandes diferencias en las formas de generación y significado de las emisiones de carbono, al punto que cada unidad de emisión aporta de la misma manera al calentamiento global y tiene el mismo costo social a través del mundo. No obstante, para establecer un precio a la emisión de GEI, este mismo organismo señala la conveniencia de usar distintos escenarios, para los cuales propone un costo inicial por tonelada de carbono que oscila entre 10 EUR/tonCO<sub>2</sub>e y 40 EUR/tonCO<sub>2</sub>e y un crecimiento anual también variable (desde EUR/año 0,5 para escenarios conservadores y de 2 EUR/año para escenarios más agresivos). Advierte asimismo que las emisiones en años futuros tendrán impactos mayores, por lo que tendrán costos sociales más altos.

Un aspecto muy interesante que la Unión Europea destaca en su análisis del proceso de sustitución de la tecnología diésel es el relacionado con la elasticidad precio de la demanda general de la energía, que difiere según el grado de desarrollo del país. Sobre el particular, la Unión Europea señala que en los países en desarrollo existe una elasticidad precio de la demanda general de la energía, pero que para el caso de los combustibles fósiles, esta es prácticamente inelástica, lo que sugiere la escasez de bienes sustitutos (Unión Europea, 2014). Bajo esta realidad, al decretarse un alza en los precios de los combustibles es muy difícil que se genere una sustitución de la fuente de energía para los bienes y servicios que generan altos niveles de carbono. De esta manera, a pesar de la relevancia que puede tener la rápida adopción de medidas para gravar el carbono y controlar las emisiones, también es importante crear mecanismos con herramientas diferenciadas que permitan mantener la competitividad de los productos y minimizar los efectos negativos sobre el bienestar.

Las medidas propuestas para reducir las emisiones mediante la sustitución de la tecnología diésel por la electromovilidad constituyen una de las opciones con costos más bajos de reducción y mitigación por tonelada de carbono. Es decir, según la curva de abatimiento de GEI a nivel global (que es una curva que refleja los costos de mitigación según actividad económica generadora de emisiones), la implementación de tecnologías limpias del transporte tiene costos más bajos para evitar emisiones mediante vis-à-vis los costos de reducir emisiones en la producción de hierro o la generación de energía basada en el carbón (CEPAL, 2019, p. 23). De acuerdo con lo antes expresado, según este aspecto y un mayor uso del transporte público y de energías sostenibles por la población, sería posible obtener importantes beneficios en la mitigación del cambio climático y en materia de salud a un costo de adaptación relativamente bajo.

El metaanálisis realizado por CEPAL (2019) incluye la revisión de 37 documentos, de los que extraen 261 observaciones de precios del carbono. Los valores son catalogados según autor, fecha de realización del análisis, metodología, tasa de descuento, entre otros rubros.

Los resultados obtenidos presentan un promedio de casi 47 USD/tonCO<sub>2</sub> con una desviación estándar de 62,68 dólares, una distribución sesgada con alta concentración en valores cercanos a cero y pocas en valores extremos, por lo que arriba del 95% de los datos son valores superiores a 418 USD/tonCO<sub>2</sub>.

Las tasas de descuento reportadas abarcan desde el 0% hasta el 8%, por lo que tasas mayores al 8% pierden mucha capacidad de brindar valor monetario al carbono. Al utilizar una tasa de descuento del 0% el valor del carbono es de 282,89 USD/tonCO<sub>2</sub>, mientras que con una tasa del 4% es de 26,87, de lo que se deduce que el costo de carbono sería mayor conforme pasa el tiempo.

Adicionalmente, Deloitte (2019) imputa el costo de externalidades e impacto económico que generan los gases contaminantes al ser inhalados, considerándose que parte de estos gases son producto de la combustión interna de los autobuses que utilizan diésel. Al respecto, Deloitte (2019) señala que existe una gran disparidad entre los precios que se le asignan a estas externalidades según la entidad internacional que los fije (véase el gráfico 20).

**Gráfico 20**  
Rangos de precios asignados a gases contaminantes  
(En dólares/tonelada)



Fuente: Análisis Monitor Deloitte. (2019, p. 164). Desarrollo de una metodología de costos y tarifa para la adopción de servicios de autobús eléctrico en Costa Rica [Ilustración]. Datos del FMI, Banco Mundial, EEA.

Al respecto, el Instituto de Transporte Victoria (2020a) publicó un estudio que recopila y muestra los distintos precios y costos de algunos gases contaminantes y GEI que han sido realizados principalmente para Europa. Destaca el trabajo llevado a cabo por el Departamento para el Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales del Reino Unido, que estima costos y daños por tonelada de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y PM considerando la sensibilidad o afectación según el congestionamiento del área, para así brindar herramientas de evaluación económica de proyectos y políticas (véase el cuadro 17).

**Cuadro 17**  
Costos por daños según gases contaminantes y ubicación  
(£2017/ton)

Contaminante	Valor central	Áreas poco sensibles	Áreas muy sensibles
NO <sub>x</sub>	6 199	634	23 153
SO <sub>2</sub>	6 273	1 491	17 861
PM <sub>2.5</sub>	105 836	22 588	327 928

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de información del Victoria Transport Policy Institute (2020a). *Transportation Cost and Benefit Analysis II – Air Pollution Costs*.

El estudio citado exhibe precios para estos mismos contaminantes ofrecidos por el Programa Aire Limpio para Europa (CAFE, en inglés), el que pone en valor monetario los daños causados por estos contaminantes para los países de la Unión Europea y sus mares cercanos (imponiendo daños por emisiones en mares del 50%-80% respecto a las ciudades). Para tal propósito CAFÉ utiliza distintas especificaciones de modelos en las que incluyen supuestos sobre mortalidad, afectación de cultivos, salud y capacidad del sistema médico (véase el cuadro 18).

En el caso del gas metano (CH<sub>4</sub>), en sus factores de emisión publicados, el Instituto Meteorológico Nacional (2019) calcula que el potencial de calentamiento global de este gas es equivalente a 21 veces el CO<sub>2</sub>. Por esta razón, para calcular el costo incurrido por este gas se procede a expresarlo en unidades en CO<sub>2</sub> equivalente, aplicando el mismo precio seleccionado para la tonelada de carbono según el escenario considerado.

**Cuadro 18**  
**Costos por daños promedio según gases contaminantes, 2005**  
*(€/ton)*

Contaminante	Valor mínimo	Valor máximo
NOx	4 400	12 000
SO2	5 600	16 000
PM2.5	26 000	75 000

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de información del Victoria Transport Policy Institute (2020a).

Para obtener los factores de emisiones correspondientes a cada tecnología se analizan inicialmente los datos proporcionados por Monitor Deloitte (2019), que utiliza los valores estimados por Grütter Consulting (2018) y los rangos proporcionados mediante el modelo COPERT (2018). Este modelo pertenece a un programa financiado por la Agencia Europea del Medioambiente (EEA) para el cálculo de emisiones de partículas contaminantes producidas durante el transporte en carretera. El modelo considera un autobús diésel EURO IV de 12m con carga mayor que cero y una pendiente mayor o igual a cero (véase el cuadro 19).

**Cuadro 19**  
**Factores de emisión según tipo de gas por tipo de tecnología**

Gas contaminante	Vehículo eléctrico	Vehículo diésel
NOx	0 g/km	8,05 g/km
SO2	0 g/km	0,037 g/km
PM2,5	0 g/km	0,06 g/km

Fuente: Análisis Monitor Deloitte. (2019).

Cabe mencionar que, entre los requerimientos dispuestos por las autoridades de Costa Rica, los autobuses deben cumplir con exigencias Euro III, razón por la cual los factores de contaminación pueden ser todavía mayores.

El análisis realizado por parte de Creara considera gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxidos nitrosos (específicamente N<sub>2</sub>O), utilizando datos extraídos del Inventario de GEI del sistema eléctrico, facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional y la Estrategia Nacional de Cambio Climático de Costa Rica (véase el cuadro 20).

**Cuadro 20**  
**Factores de emisión según tipo de gas por tipo de tecnología**

Gas contaminante	Vehículo eléctrico	Vehículo diésel
CO <sub>2</sub>	28,6 gCO <sub>2</sub> /kWh	2,613 kgCO <sub>2</sub> /litro
CH <sub>4</sub>	0 g/kWh	0,149 gCH <sub>4</sub> /litro
N <sub>2</sub> O	0 g/kWh	0,154 gN <sub>2</sub> O/litro

Fuente: IMN (2019).

Por lo tanto, dados el factor de eficiencia seleccionado para el consumo de combustible (0,47 l/lm) para los autobuses con tecnologías diésel, y de electricidad para tecnologías eléctricas (1,3 kWh/km), se realiza la conversión para obtener los factores de emisión dependientes del kilometraje realizado por el autobús (véase el cuadro 21).

**Cuadro 21**  
Factores de emisión seleccionado según tipo de tecnología  
(g/kM)

Gas contaminante	Vehículo eléctrico	Vehículo diésel
CO <sub>2</sub>	51,35 gCO <sub>2</sub> /km	1 571 gCO <sub>2</sub> /km
CH <sub>4</sub>	0 g/kWh	0,07 gCH <sub>4</sub> /km
NO <sub>x</sub>	0 g/km	8,05 gNO <sub>x</sub> /km
SO <sub>2</sub>	0 g/km	0,037 gSO <sub>2</sub> /km
PM <sub>2,5</sub>	0 g/km	0,06 gPM <sub>2,5</sub> /km

Fuente: Elaboración propia de los autores a partir de datos de emisión de IMN (2019), modelo COPERT y EEA (2018).

Para cuantificar el impacto global de la sustitución de buses con motores diésel por buses eléctricos sobre las emisiones totales, la Unión Europea (2019) realiza un cálculo del total de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial y destaca el aporte del transporte de personas en el total. En los resultados obtenidos se observa que las emisiones estimadas para Costa Rica en el 2018 sumaron 8,82 Mt<sup>25</sup>, equivalente al 0,02% del total mundial.

Si se estima un kilometraje anual de 50.000 km por autobús, la sustitución de una máquina diésel por una eléctrica evita un consumo del orden de 23.000 litros de diésel. Esta cantidad representa aproximadamente 76 toneladas de CO<sub>2</sub> que no se generarían. A pesar de ser cifras relativamente pequeñas, no debería subestimarse el impacto potencial que tendría sobre la descarbonización de la economía.

Por supuesto, el ahorro en combustible y emisiones, tanto anuales como durante la vida útil del autobús, aumenta conforme aumentan los e-buses en la flota. Se estima que si el ahorro anual de diésel es de 23.500 litros de diésel y al considerar la vida útil de la unidad de transporte (15 años), entonces el ahorro ascendería a 352.500 litros por bus. Este mismo análisis permite obtener alrededor de 1.140 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada autobús durante su vida útil, generándose ahorros también considerables en el caso de los otros gases contaminantes (véase el cuadro 22).

**Cuadro 22**  
Ahorros en emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y diésel por implementación de autobuses eléctricos, según periodo de análisis y tamaño de la flota sustituida

50,000 km anuales		Ahorro en emisiones (toneladas)					Combustibles	Ahorro en importación*
Anual	Flota	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM 2,5	Litros de diésel	Miles de dólares
	1 bus	76,0	0,00	0,40	0,00	0,00	23 500	10,3
	20 buses	1 519,7	0,07	8,05	0,04	0,06	470 000	205,6
	100 buses	7 598,3	0,35	40,25	0,19	0,30	2 350 000	1 027,9
Durante 15 años	Flota	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM 2,5	Litros de diésel	Miles de dólares
	1 bus	1 139,7	0,05	6,04	0,03	0,05	352 500	154,2
	20 buses	22 794,8	1,05	120,75	0,56	0,90	7 050 000	3 083,7
	100 buses	113 973,8	5,25	603,75	2,78	4,50	35 250 000	15 418,4

Fuente: Elaboración propia de los autores utilizando factores de eficiencia y emisión recopilados durante este informe.

Nota: precio de importación del diésel en 0,4374 USD/l (RECOPE, 2020). Corresponde al costo de importación reportado, sin distorsiones de mercado ni impuestos locales.

<sup>25</sup> O megatoneladas, que equivalen a 1.000 kilotonnes o un millón de toneladas.

## b) Ahorros y redireccionamiento de dinero por importe de hidrocarburos

La electrificación del transporte público de Costa Rica mitigaría la necesidad de importar hidrocarburos a nivel nacional. De esta manera, la factura petrolera nacional se reduciría en un porcentaje relevante y el país tendría un mejor balance de su cuenta comercial al disminuir las importaciones. Además, el ICE u otra empresa/institución que brinde el suministro eléctrico a los operadores de autobuses aumentará sus ingresos, en virtud de lo cual puede esperarse que la capacidad de operación de dichas empresas mejore.

Para cuantificar este redireccionamiento de fondos que no fluyen hacia el exterior se considera el kilometraje anual del autobús, multiplicado por el factor de consumo de diésel y su precio respectivo para cada año. Cabe destacar que con un kilometraje alrededor de los 40.000 km/año, la menor demanda de hidrocarburos por autobús sería de aproximadamente 20.000 litros/año.

Para dimensionar el consumo que los autobuses diésel representan en las importaciones y el consumo de diésel a nivel nacional, se hizo una estimación conforme al total de barriles de diésel importados, reportados por parte de RECOPE (2019), y el total de energía utilizado por el sector de autobuses reportado por la Secretaría Ejecutiva de Planificación del Subsector Energía (2019). En concreto, se estima que del total de diésel importado por Costa Rica entre el 2008 y 2018, en promedio, casi el 9% es destinado al transporte de pasajeros mediante autobuses. Tal porcentaje vio un repunte en 2010 y desde entonces presenta una leve y estable tendencia a la baja (véase el cuadro 23).

**Cuadro 23**  
**Venta de diésel a nivel nacional y consumo de diésel realizado por autobuses**

Producto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Barriles de diesel (venta nacional)	6 599 627	6 475 249	6 445 758	6 664 270	6 643 503	6 660 115	6 798 331	7 158 852	7 606 777	7 738 571	7 756 891
TJ <sup>a</sup>	40 580	39 815	39 634	40 977	40 850	40 952	41 802	44 018	46 773	47 583	47 696
TJ consumidos por autobuses	2 846	2 822	4 157	4 070	4 287	3 607	3 824	3 934	4 076	3 982	3 967
Porcentaje de consumo diésel de autobuses sobre total de diésel vendido	7,0	7,1	10,5	9,9	10,5	8,8	9,1	8,9	8,7	8,4	8,3
Barriles de diesel consumidos por autobuses	462 932	458 931	676 104	661 865	697 150	586 590	621 936	639 781	662 847	647 650	645 197
Millones de litros de diesel consumidos por autobuses	926	918	1 352	1 324	1 394	1 173	1 244	1 280	1 326	1 295	1 290

Fuente: Elaborado por autores a partir de información de RECOPE (2019) y Secretaría Ejecutiva de Planificación del Subsector Energía (2019).

<sup>a</sup> Factor de conversión: 1 barril de diesel = 0.00614881Tj.

Al considerarse la gran cantidad de actividades que utilizan diésel dentro de su producción y el total de litros que son importados, la sustitución del 9% del total de diésel resulta poco despreciable en términos de emisiones y en salidas de divisas en el país.

### c) Otras consideraciones ambientales

Uno de los aspectos de importancia que diferencia ambas tecnologías es la cantidad de ruido generado por el autobús. Dado que los autobuses eléctricos generan mucho menos ruido que los de tecnología diésel, la sustitución reduce una externalidad negativa, ya que los pasajeros y personas residentes en las calles por donde los buses se desplazan permanecen expuestos a una menor contaminación acústica. En términos de generación de ruido, la valoración realizada por Grutter Consulting (2018) señala que los autobuses eléctricos producen 10 decibeles menos que los homólogos de diésel, equivalentes a una reducción de 50%.

El ruido excesivo es considerado una externalidad negativa de las tecnologías de combustión, en tanto puede desalentar las actividades recreativas o económicas de un lugar, causar altos niveles de estrés e inclusive podría hacer de una zona poco atractiva para construcción y aprovechamiento de terrenos.

Un estudio realizado por el Victoria Transport Institute (2020b), que puso en valor monetario los costos causados por el ruido del tráfico, considerando los efectos del ruido en zonas residenciales y no residenciales, así como las distancias entre las calles y las actividades donde el ruido comienza a ser un problema, concluyó que un autobús de tecnología diésel aporta un costo por contaminación sónica de hasta 5 veces mayor a la de un automóvil, vis-à-vis un costo por ruido equivalente al de tres automóviles en el caso de los buses eléctricos. Este resultado se expresa en términos monetarios por tipo de tecnología y zona de análisis (urbano y rural) (véase el cuadro 24).

**Cuadro 24**  
**Estimación de costo por ruido**  
(En dólares/km)

Tecnología	Costo en zona urbana	Costo en zona rural	Costo promedio
Bus de diésel	0,044	0,022	0,035
Bus eléctrico	0,026	0,013	0,021

Fuente: Victoria Transport Institute (2020b, pp.14), "Transportation Cost and Benefit Analysis II—Noise Costs".

Dado que se planea electrificar el transporte público en rutas urbanas, específicamente en la GAM, en este estudio se utiliza el precio estimado por Victoria Transport Institute para las zonas urbanas. A pesar de ser valores estimados para Europa, estos permiten cuantificar las diferencias relativas existentes entre tecnologías y los daños o molestias causadas por el ruido en dicha zona.

También ha de considerarse en la evaluación comparada de ambas tecnologías, el uso, fabricación y desecho de las baterías eléctricas, en tanto éstas utilizan materiales y compuestos considerados altamente contaminantes. Grutter Consulting (2018) señala que las diferencias en emisiones en la fase de producción de buses eléctricos y diésel es mínima. Al respecto, Cooney (2013) afirma que las emisiones de GEI por los autobuses eléctricos son producidas por la generación de energía eléctrica y no por la manufactura de las baterías o la operación de los autobuses.

No obstante lo señalado, debe destacarse que el mercado secundario de baterías u opciones para su tratamiento resulta relevante, ya que algunos componentes como el litio requieren procesos complejos y peligrosos de almacenamiento y reciclaje. En algunos lugares del mundo estas baterías son recibidas por los fabricantes o terceras empresas para almacenar energía. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que en Costa Rica no existe aún empresas o entidades que se encarguen de reciclar o recibir las baterías de los autobuses o vehículos eléctricos.

Dados los beneficios del trato adecuado, es conveniente la apertura y apoyo a este mercado emergente por parte de los países latinoamericanos, tanto para producción y comercialización de baterías de litio, como para otros procesos relacionados.

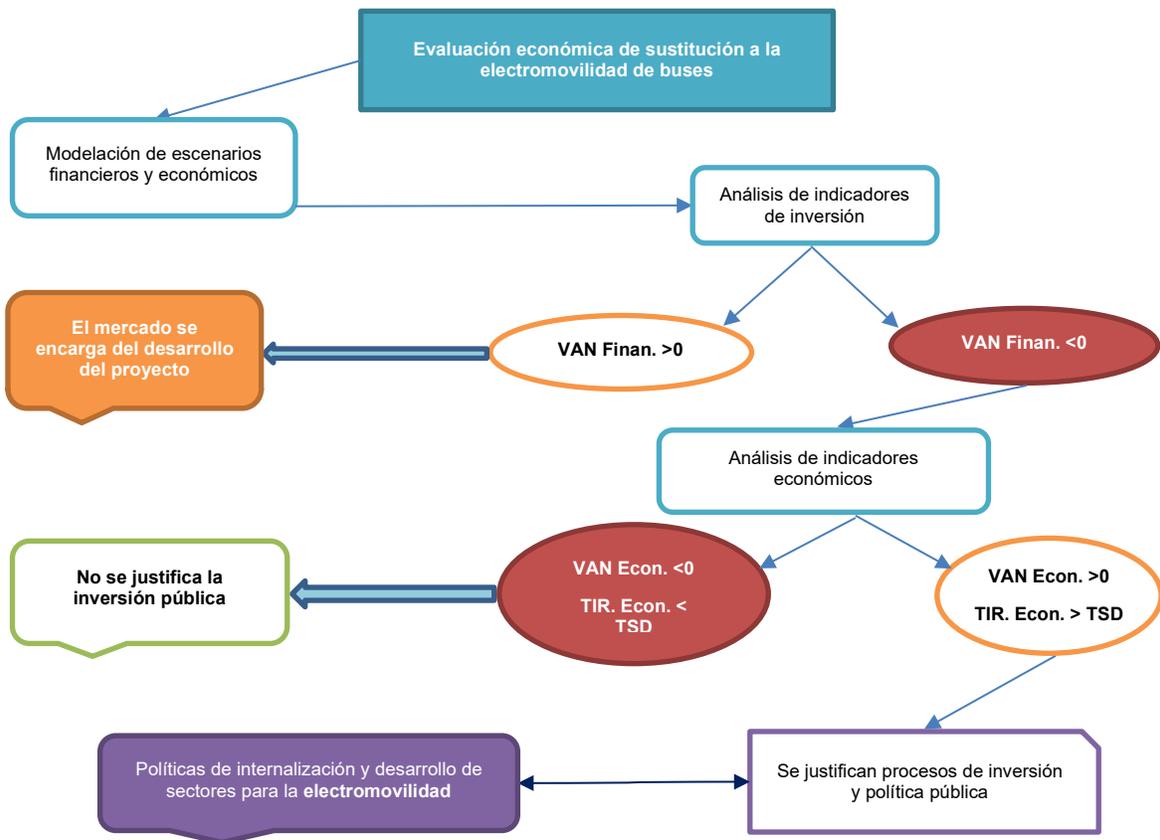
### C. Resultados obtenidos

En esta sección se revisan primeramente los resultados del VAN y el TIR para los flujos de caja financieros, lo que implica evaluar los proyectos desde una lógica privada y sin consideración de las externalidades principalmente negativas cuyo costo lo absorbe la sociedad. Posteriormente, se detallan los resultados para el TCO y el análisis de sensibilidades por variables.

Si el proyecto es rentable según la lógica de la evaluación privada, este se desarrollará en conformidad a las condiciones de mercado en cuyo marco fue evaluado. En consecuencia, lo que conviene es analizar apropiadamente los proyectos que no son rentables según la lógica privada y determinar la presunta existencia de externalidades positivas relevantes. En este caso, se realiza el análisis de evaluación económica incorporando dichas externalidades, en este caso asociadas a la movilidad eléctrica.

Si el análisis de evaluación económica que incorpora las externalidades arroja resultados positivos de rentabilidad, desde el punto de vista de la política pública conviene emprender estrategias y acciones que potencien el desarrollo del proyecto (véase el diagrama 1).

**Diagrama 1**  
Esquema de análisis para indicadores de inversión privada y económica



Fuente: Autores, como adaptación a partir de Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. European Union (2014).

Una vez obtenido el resultado del análisis financiero, se describen las consideraciones y resultados para las valoraciones económicas. Para estos casos, se consideran diversos escenarios, así como la relevancia de las distintas variables. Cabe destacar que las modelaciones y combinaciones de supuestos son prácticamente infinitas, por lo que se busca presentar los resultados que se consideraron más relevantes para el análisis.

## 1. Resultados para el análisis financiero privado

### a) Resultados del VAN y TIR

Al tomar los flujos netos para cada año y traerlos a valor presente según la tasa de descuento seleccionada. Para el caso del VAN del inversionista se incluyen únicamente los costos y flujos relacionados a la parte financiera de la adquisición y mantenimiento del autobús, no incluye los beneficios para la sociedad que se puedan obtener por el cambio de tecnologías, mejores encadenamientos, avance de la electromovilidad y disminución de contaminantes.

Para el caso del análisis financiero o privado, al emplear una tasa de descuento del 13,01%<sup>26</sup> y términos de financiamiento presentadas por el Banco Nacional, el VAN del inversionista resulta en -134.100 dólares<sup>27</sup>. Esto quiere decir que las diferencias de los flujos en valor actual neto resultan en una diferencia de 134.100 dólares en favor de las tecnologías diésel.

Bajo este escenario, la tasa interna de retorno (TIR) es de -4,80%, lo que indica que el inversionista tendría que aceptar cierta pérdida de rendimiento de su inversión. Tasas de descuento negativas son lógicas únicamente bajo escenarios en los que se esperan recesiones económicas o una valoración del dinero a través del tiempo.

Este resultado era esperable, dadas la gran diferencia de precios entre los autobuses y en los pagos por financiamiento, además de las inversiones adicionales necesarias para su funcionamiento en el caso de los e-autobuses. Esto hace que los sobrecostos de las tecnologías eléctricas superen con creces los costos de los autobuses diésel, no obstante exhibir los primeros costos de mantenimiento y operativos más bajos. El ahorro anual que las tecnologías eléctricas tienen en mantenimiento y operación no son suficientes para recuperar la inversión inicial.

### b) Costos de adquisición incrementales (análisis TCO)

El análisis de costos incremental permite observar la manera en que los flujos de gastos de las tecnologías crecen de forma acumulada a través de los años. Dado que, como se señaló, el VAN de la inversión privada no logra ser positivo o cero, se observa en el gráfico 21 como la curva de costos incrementales (TCO) para tecnología de buses diésel, no llega a alcanzar o superar la curva que representa los costos incrementales en el tiempo (TCO) de la tecnología de autobuses eléctricos.

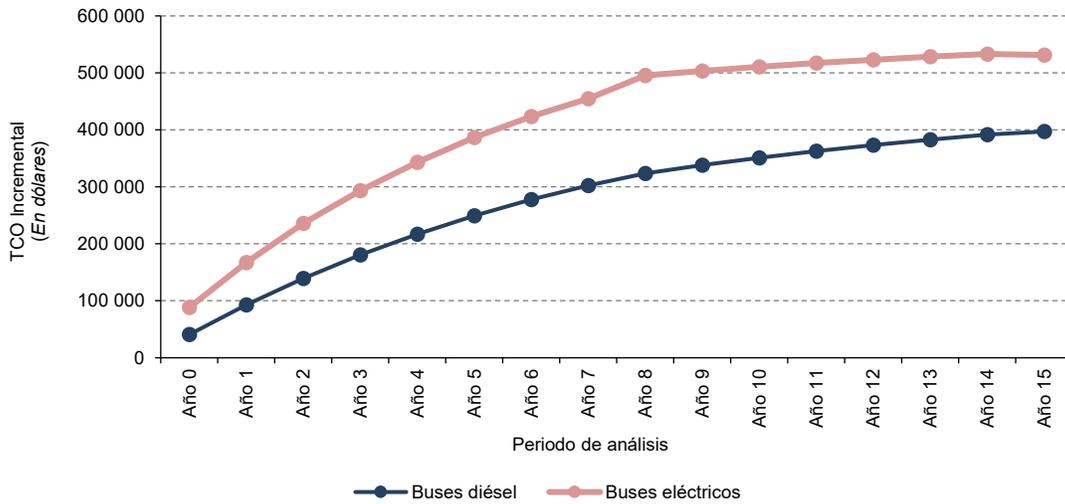
Este resultado se genera por el efecto de la inversión inicial durante el año 0, que determina que la curva de costos de la tecnología eléctrica comienza siendo mayor y no logra reducirse lo suficiente con el pasar de los años, de modo que la curva de costos de un autobús diésel la alcance o supere. Otro aspecto destacado es la tasa de descuento que se aplica a los flujos de caja: los principales ahorros de la tecnología eléctrica se generan en los últimos años de inversión y al traer esos valores al valor presente, una tasa de descuento tan alta hace que el factor se reduzca más rápidamente, produciéndose el descuento en gran medida en los últimos años.

<sup>26</sup> Para este caso se utiliza la tasa de rentabilidad del capital autorizadas por la metodología tarifaria de la ARESEP.

<sup>27</sup> En este sentido resulta importante realizar una revisión de la tasa de descuento y posteriores avances que incorpore mejor el contexto costarricense en términos de costo del capital a nivel tanto privado como social.

Por lo tanto, la inversión necesaria en estaciones de carga, baterías y el mismo autobús hace que los costos de implementación de tecnologías eléctricas sean más altos y generen pérdidas privadas (véase el gráfico 21).

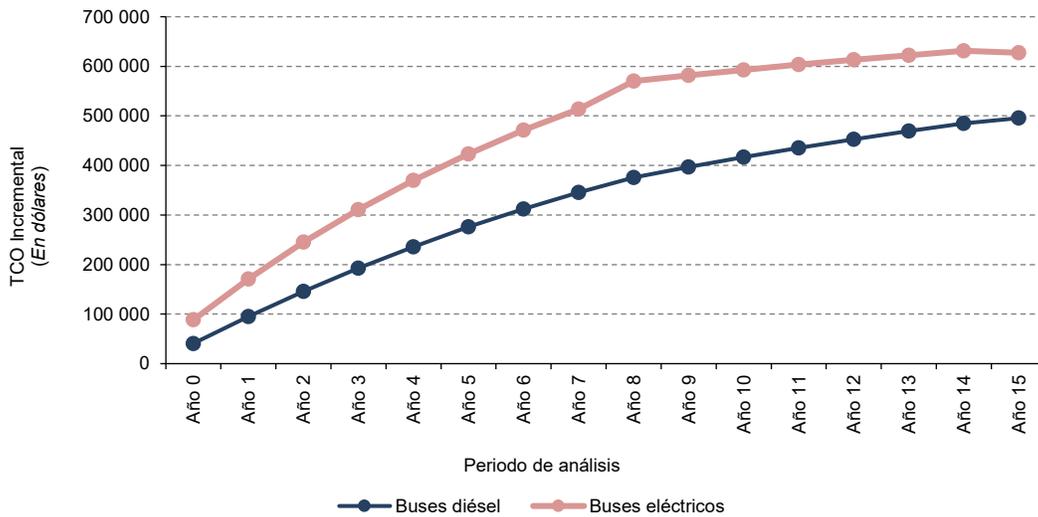
**Gráfico 21**  
Comparativa del TCO incremental para ambas tecnologías



Fuente: Elaborado por los autores mediante modelo financiero.  
Nota: Análisis realizado según el flujo de gastos presentado en el análisis financiero.

La tasa de descuento seleccionada tiene gran efecto sobre el análisis financiero, ya que se presentan menores brechas al seleccionar menores tasas de descuento a pesar de una TIR negativa (véase el gráfico 22).

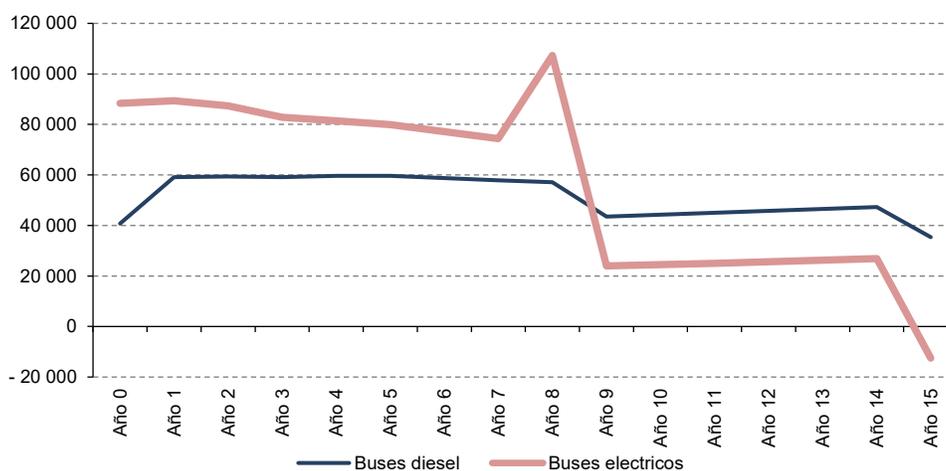
**Gráfico 22**  
TCO Incremental para análisis financiero según distintas tasas de descuento



Fuente: Elaborado por los autores mediante modelo financiero.

A pesar de existir ahorros que favorecen a las tecnologías eléctricas, las importantes diferencias en los precios del autobús (que casi triplican el precio de la alternativa diésel), además de los costos que conllevan las baterías, infraestructura de carga y su instalación, hacen que la alternativa de autobuses eléctricos sea financieramente no rentable (véase el gráfico 23).

**Gráfico 23**  
Flujo de gastos anuales según tecnología  
(En dólares/año)



Fuente: Elaborado por los autores mediante herramienta de costos.

Nota: Análisis realizado según el flujo de gastos presentado en el análisis financiero.

El segmento donde los costos del autobús eléctrico son mayores coincide con los primeros 8 años de la inversión. Como se mencionó, estos costos son en gran parte explicados por las diferencias de precios en la adquisición de la unidad, pagos de deuda y adquisición de estaciones de carga y baterías. Los años con mayor diferencia de inversión se ubican en los años 0 y 8, debido a la adquisición y reposición de equipo como baterías en la mitad del ciclo de vida del autobús.

En la segunda mitad del periodo, los costos operativos y de mantenimiento de los autobuses eléctricos se reducen y llegan a ser menores que los de tecnología diésel (además de mantener un valor residual mucho mayor). A lo expuesto se le debe agregar las posibles condiciones favorables que puedan surgir en el mercado de la electromovilidad, que podrían significar menores costos para las tecnologías eléctricas.

### c) Costos por kilómetro obtenidos

Uno de los aspectos que más difieren ambas tecnologías en los trabajos consultados es el costo por kilómetro, según puede observarse en el cuadro 25.

**Cuadro 25**  
Costo total por kilómetro según modelo de costos  
(En dólares/km)

Costo por kilómetro	Vehículo diésel	Vehículo eléctrico	Beneficios sociales
Valoración financiera	1 103	1 226	0
Valoración económica MIDEPLAN + CSC	0,804	0,753	0,148
Valoración económica CIC	0,804	0,753	0,184

Fuente: Elaborado por los autores.

Nota: CSC es el Costo Social del Carbono según CEPAL (2019). CIC es el costo internacional del carbono recomendado por el Banco Mundial (2019).

Las consideraciones referidas a los aspectos financieros de los costos por kilómetro de los autobuses se han equiparado considerablemente en los análisis sectoriales<sup>28</sup>.

Se observa que la inclusión de las externalidades, tanto a precios de Costa Rica (escenario a precios nacionales) como la inclusión a precios internacionales (escenario favorable), generan variación considerable en el costo por kilómetro de la tecnología eléctrica, reduciendo el costo por kilómetro en casi 25% (véase el cuadro 25).

#### d) Análisis de sensibilidad financiera para variables de interés

Otro de los aspectos analizados en este estudio fue la sensibilidad financiera observada por algunas variables que inciden en la decisión de invertir en electromovilidad. Para mostrar tal afectación en la decisión de inversión (valor actual neto), se recopiló la sensibilidad del resultado a valores arbitrarios y probables (véase el cuadro 26).

**Cuadro 26**  
**Análisis de sensibilidad univariado para resultados de inversión privada**

Sensibilización electricidad					Sensibilización precio de autobús eléctrico				
Precio (USD/kWh)	0,05	0,10	0,15	0,25	Precio	250 000	350 000	400 000	450 000
VAN (miles USD)	-108,1	-132,4	-156,7	-205,2	VAN (miles USD)	1,2	-89,0	-134,1	-179,2
Sensibilización precio combustible					Sensibilización tasa de descuento				
Precio (USD/l)	0,7	1,0	1,2	1,5	Tasa (en porcentajes)	2,25	6,0	8,31	13,01
VAN (miles USD)	-184,1	-128,4	-91,3	-35,7	VAN (miles USD)	-109,1	-127,1	-132,0	-134,1
Sensibilización kilometraje									
Kilometraje anual	35 000	40 000	45 000	50 000					
VAN (miles USD)	-167,1	-150,6	-134,1	-117,6					

Fuente: Elaborado por los autores.

En la información presentada, destaca la relevancia del kilometraje en la decisión de inversión, siendo favorecedor para rutas con kilometrajes anuales altos.

Asimismo, el precio de la electricidad parece ofrecer poca sensibilidad principalmente por ser un precio ya bastante reducido (se observa que reducir el costo de la electricidad a la mitad brinda variaciones en el VAN de casi 25.000 dólares). Por su parte, aumentos en el precio del combustible sí impactan significativamente la decisión de inversión; de hecho, a pesar de posibles bajas en el precio del petróleo, el riesgo relacionado al aumento de la temperatura global puede aumentar el costo social del combustible en años posteriores (véase el cuadro 27).

Sin duda, el precio del autobús eléctrico es una variable considerada determinante dada su gran cuantía. Al reducirse el precio del autobús eléctrico al menos a 250.000 dólares, se logra alcanzar la rentabilidad financiera. De ello se colige que se requiere especial atención al comportamiento del precio del autobús durante los próximos años.

En relación a las variaciones en la tasa de descuento, los resultados obtenidos indican que se mantienen los valores actuales netos en negativo. Por lo tanto, a pesar del uso de tasas de descuento de largo plazo (2,25%), las condiciones actuales del mercado, que no consideran la internalización de externalidades, brindan resultados poco alentadores para el cambio tecnológico.

<sup>28</sup> Creara (2019), Deloitte (2019), Grutter Consulting (2018), BID (2020), Columbia University (2016), entre otros.

**Cuadro 27**  
**Resultados del VAN para distintos precios del carbono y respectiva tasa de descuento**

Precio por USD/tonCO <sub>2</sub> e	Monto de internalización anual (USD/año)	VAN según tasa de descuento (miles USD)		
		13,01%	8,31%	2,25%
0	0,0	-134,1	-132,0	-109,1
7,5	564,7	-130,5	-127,2	-101,9
15	1 129,4	-126,8	-122,5	-94,8
25	1 882,4	-121,9	-116,2	-85,3
40	3 011,8	-114,6	-106,7	-71,1
80	6 023,6	-95,2	-81,4	-33,1
100	7 529,5	-85,5	-68,7	-14,1

Fuente: Elaboración de los autores a partir de información del Banco Mundial (2019), FONAFIFO y CEPAL (2019). Precios según selección arbitraria. Nota: Cálculos realizados considerando un kilometraje anual de 45.000 km. VAN considera estructura financiera y CO<sub>2</sub>.

## 2. Análisis financiero con políticas de internalización sobre GEI

Para el análisis del VAN en el contexto nacional, se seleccionan valores para los parámetros acorde a la realidad actual del país en la mayoría de los rubros. Por ejemplo, se utilizan los precios del carbono correspondientes a los pagos realizados por el FONAFIFO.

Al incluir en el análisis financiero-privado los beneficios o externalidades obtenidos mediante la reducción de emisiones de GEI (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>), a precio por tonelada de carbono según lo indicado por el FONAFIFO (7,5 USD/ton), se obtiene un resultado de -130.500 dólares. Es decir, para la sociedad los flujos económicos por el cambio tecnológico en transporte público que incluyen la compensación por las menores externalidades no son positivos. Esto hace necesario la asignación de subsidios, compensaciones o exoneraciones adicionales, o un esquema que brinde más valor a las emisiones de carbono para poder incentivar la inversión privada en estos proyectos. Este resultado se mantiene negativo debido al bajo monto de internalización aprobado para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, las que con un precio de 7,5 USD/tonCO<sub>2</sub>e genera 564 dólares anuales, monto que no es capaz de brindar diferencias sustanciales en los resultados.

Considerar el precio de carbono en el monto indicado por CEPAL (2019), coloca el costo social del carbono en 25,83 dólares/tonCO<sub>2</sub>e (es decir, aproximadamente 3 veces mayor), con lo cual el resultado se desplaza a -121.500 dólares.

En la medida que las emisiones evitadas dependen del kilometraje recorrido, también lo hacen los montos de indemnización. De esta manera, con un kilometraje anual de aproximadamente 45.000 km (más el 10% de kilometraje improductivo) las emisiones evitadas rondan las 68,3 toneladas de CO<sub>2</sub>. En el cuadro 27 se presentan los montos de internalización para cada precio de carbono, y su impacto en el VAN.

En la información expuesta resulta evidente la desventaja comparativa en la que se encuentran las tecnologías alternas actualmente planteadas, así como la manera en que los métodos de valoración y descuento pueden generar distintos efectos en los resultados. Ejemplo de esto son los pagos por financiamiento comparativamente altos, altas rentabilidades exigidas a la inversión, tecnologías convencionales a menores costos y un mercado sin mecanismos de internalización,

Es importante cuestionar cómo se muestran estos resultados cuando se consideran tecnologías convencionales más caras, tales como autobuses Euro V<sup>29</sup> o Euro VI, así como la posibilidad de compra de buses eléctricos a menores precios.

<sup>29</sup> CAF (2019, p. 19) señala que el precio de un autobús Euro V de 12 metros es de 155.000 dólares. Por su parte, los buses Euro VI aún no disponen precios tan definidos en el mercado, pero expertos y participantes del mercado mencionan diferencias que fluctúan entre 30.000 y 40.000 dólares sobre el precio del autobús Euro V.

Cabe destacar también que estos valores no consideran aspectos tales como la importancia social de estos proyectos, las necesidades climáticas y los compromisos orientados a disminuir la emisión de GEI tomados por el país. De esta manera, tanto el trasfondo del proyecto, como la situación ambiental y climática del país y del mundo pueden brindar incentivos a este tipo de inversiones más allá del enriquecimiento monetario.

La interrogante que surge es si la tecnología constituida por la electromovilidad es privadamente rentable.

Operacionalmente los autobuses eléctricos presentan importantes ahorros y mejor desempeño ambiental. Pero su rentabilidad está delimitada por diferentes factores como los requerimientos Euro exigidos a la importación de nuevos autobuses, tasas de descuento o rentabilidad adicional exigida, necesidad de mejores instrumentos financieros, inexistencia de mecanismos de internalización, entre otros.

Para responder la interrogante y evaluar sus ventajas operacionales se genera el escenario base, que considera los costos de adquisición y operación de las tecnologías, estableciéndose la compra de tecnologías con fondos propios (es decir, un porcentaje de apalancamiento igual al 0% para ambos autobuses) y tasas de descuento progresivas, que reflejan el costo del capital.

Estos supuestos buscan omitir el efecto que las insuficientes opciones de financiamiento mantienen sobre las tecnologías eléctricas y el deterioro que genera la consideración matemática de la tasa de descuento.

El VAN resultante de -19.500 dólares muestra que el proyecto, en términos privados, es casi rentable. Con requerimientos sobre las normas Euro para las tecnologías diésel más estrictas, este escenario arroja resultados de inversión positivos.

Bajo este análisis se visualizan dos variables determinantes: el precio del autobús eléctrico y el requerimiento tecnológico para los autobuses diésel.

El precio de los autobuses eléctricos puede fluctuar incluso dentro del mercado interno, ya que los fabricantes de tecnología mantienen distintas opciones según capacidad de baterías, cantidad de compra según contrato u otros factores.

Actualmente las empresas concesionarias no se encuentran en obligación de adquirir autobuses con tecnologías superiores a los requerimientos Euro IV, lo que desmejoraría considerablemente el desempeño financiero de las unidades diésel. En consecuencia, al considerarse simultáneamente mejores autobuses diésel o eléctricos a menor precio, se obtienen VANs positivos.

**Cuadro 28**  
**Valor actual neto en escenario base con distintos precios para tecnologías y tasa de descuento del 0%**

Tasa:	En											
	porcentajes		Precio de buses eléctricos									
Precio de buses diésel	-19,52	260 000	280 000	300 000	320 000	340 000	360 000	380 000	400 000	420 000	440 000	
110 000	99,3	80,0	60,7	41,4	22,2	2,9	-16,4	-35,7	-54,9	-74,2		
130 000	118,3	99,0	79,7	60,4	41,2	21,9	2,6	-16,7	-35,9	-55,2		
150 000	137,3	118,0	98,7	79,4	60,2	40,9	21,6	2,3	-16,9	-36,2		
170 000	156,3	137,0	117,7	98,4	79,2	59,9	40,6	21,3	2,1	-17,2		
190 000	175,3	156,0	136,7	117,4	98,2	78,9	59,6	40,3	21,1	1,8		
210 000	194,3	175,0	155,7	136,4	117,2	97,9	78,6	59,3	40,1	20,8		
230 000	213,3	194,0	174,7	155,4	136,2	116,9	97,6	78,3	59,1	39,8		
250 000	232,3	213,0	193,7	174,4	155,2	135,9	116,6	97,3	78,1	58,8		
270 000	251,3	232,0	212,7	193,4	174,2	154,9	135,6	116,3	97,1	77,8		
290 000	270,3	251,0	231,7	212,4	193,2	173,9	154,6	135,3	116,1	96,8		

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Otro elemento para considerar es que los bancos o entes financieros pueden ajustar los términos de financiamiento para aquellas compras relacionadas con el desarrollo del transporte sostenible, cerrando así la brecha existente por costos de financiamiento entre tecnologías.

Dado el supuesto de adquisición mediante fondos propios, se considera el descuento de flujos que refleja el costo de disponer los recursos monetarios necesarios para la compra. A manera de ejemplo, se incluye la misma matriz de VAN según los precios de las unidades a una tasa del descuento correspondiente a la TSD (véase el cuadro 29).

**Cuadro 29**  
**Valor actual neto en escenario base con distintos precios para tecnologías y tasa de descuento del 8%**

Tasa:	8%	Precio de buses eléctricos										
Precio de buses diésel	-150,2	260 000	280 000	300 000	320 000	340 000	360 000	380 000	400 000	420 000	440 000	
	110 000	-23,0	-43,6	-64,3	-84,9	-105,6	-126,2	-146,9	-167,5	-188,1	-208,8	
	130 000	-2,6	-23,3	-43,9	-64,6	-85,2	-105,8	-126,5	-147,1	-167,8	-188,4	
	150 000	17,7	-2,9	-23,5	-44,2	-64,8	-85,5	-106,1	-126,8	-147,4	-168,1	
	170 000	38,1	17,5	-3,2	-23,8	-44,5	-65,1	-85,7	-106,4	-127,0	-147,7	
	190 000	58,5	37,8	17,2	-3,4	-24,1	-44,7	-65,4	-86,0	-106,7	-127,3	
	210 000	78,9	58,2	37,6	16,9	-3,7	-24,4	-45,0	-65,7	-86,3	-106,9	
	230 000	99,2	78,6	57,9	37,3	16,7	-4,0	-24,6	-45,3	-65,9	-86,6	
	25 0000	119,6	99,0	78,3	57,7	37,0	16,4	-4,3	-24,9	-45,6	-66,2	
	270 000	140,0	119,3	98,7	78,0	57,4	36,7	16,1	-4,5	-25,2	-45,8	
	290 000	160,3	139,7	119,1	98,4	77,8	57,1	36,5	15,8	-4,8	-25,5	

Fuente: Elaboración propia de los autores.

### 3. Resultados de análisis y evaluaciones económicas

#### a) Evaluación social con precios sociales de MIDEPLAN y tasa social de descuento del 8,31% y costo social del carbono según CEPAL

El análisis económico considera los precios sociales y factores de conversión ofrecidos por MIDEPLAN (2019), los cuales brindan ajustes que transforman los precios financieros en precios económicos.

Estos precios económicos (conocidos también como precios sombra y precios sociales) corrigen las distorsiones causadas por variables de orden político institucional, como por ejemplo impuestos, tasas de cambio, aranceles, tasas de interés, entre otros. Por lo tanto, los precios de mercado se ajustan para realizar una evaluación económico-social del proyecto a realizar, de modo que este no considere únicamente la rentabilidad financiera y muestre los aportes que brinda a la sociedad<sup>30</sup>.

Los bienes seleccionados, además de su clasificación y factor son detallados en el cuadro 30.

Dado que algunos de los bienes no son especificados en los cuadros de valores sociales brindados por MIDEPLAN, se procede a realizar manualmente los ajustes según impuestos y márgenes de los bienes considerados, siempre utilizando y respetando el precio social de la divisa y el factor de conversión calculados y brindados por MIDEPLAN.

<sup>30</sup> El anexo 7 presenta los supuestos y precios a los que se aplican las conversiones de este escenario y en el anexo 8 se muestra los factores de ajuste para los precios seleccionados.

**Cuadro 30**  
**Bienes seleccionados en valoración económica de precios sociales**

Lista de bienes considerados para correcciones económicas			Tipo de cambio
Baterías	Diésel	Energía eléctrica	Partes y repuestos
Infraestructura de carga	Marchamos	Seguro	Revisión técnica vehicular
Bus eléctrico	Bus de diésel	Carbono	Ruido
SO <sub>2</sub>	PM 2.5	NOx	CH <sub>4</sub>

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Después de aplicar el ajuste para obtener los precios económicos de los bienes, se procede a obtener los flujos de costos para las distintas tecnologías tal y como se había realizado para la valoración financiera, pero a precios económicos. Dichos flujos son descontados a la tasa social de descuento de 8,31% (MIDEPLAN, 2019).

Este análisis incluye la monetización de las externalidades en salud por gases contaminantes según los precios brindados por la EEA. Para las emisiones de GEI se utiliza un precio de 25 dólares, que coincide con el costo social del carbono calculado para América Latina por parte de CEPAL (2019). Además, para consideraciones del análisis económico sobre el diésel se utiliza el precio de importe reportado por RECOPE, que al 31 de enero del 2020 reportó un precio internacional del diésel de 271 CRC/l con fletes de 10,41 CRC/l y márgenes también desglosados para estaciones de servicio y para RECOPE<sup>31</sup>.

Los precios de la electricidad se fijaron en 0,17 dólares/kWh según el precio T-CO señalado por el estudio de Creara (2019), esto con el propósito de mantener el precio alejado de subsidios. Por su parte, para las tasas de interés en los términos de financiamiento se utiliza la tasa de descuento señalada anteriormente.

Entre los resultados obtenidos para la valoración económica realizada a precios sociales se encuentra el VAN, con los ajustes realizados para las variables indicadas en el cuadro anterior, un kilometraje de 45.000 km/año y los flujos de costos descontados a la respectiva tasa social de descuento, que arrojó una cifra de -101.000 dólares. Además, se obtiene que la tasa interna de retorno (TIR) con los precios sociales es del 3,4%, tasa bastante menor a la tasa social de descuento propuesta, pero mayor a la tasa de inflación presente (y esperada) para la economía.

Por lo tanto, no obstante realizarse una valoración económica considerando los rubros ofrecidos por parte de MIDEPLAN sobre las distorsiones en los precios y la tasa social de descuento, no se logra brindar un valor actual neto positivo para la sustitución del autobús diésel. Parte de esto es causado por el hecho de utilizar precios menores para el diésel y tarifas mayores para la electricidad. A pesar de ello, se observa una TIR positiva.

#### **b) Evaluación económica utilizando precios sociales de MIDEPLAN, precios para GEI según Banco Mundial y tasa social de descuento a largo plazo**

El análisis o valoración económica que se realiza teniendo en consideración los precios internacionales sirve para mostrar la importancia de uno de los aspectos más relevantes de la migración entre tecnologías. A pesar de que Costa Rica cuenta con un organismo encargado de verificar y asignar créditos por el pago de servicios ambientales (FONAFIFO), se hace necesario abordar estas externalidades como un compromiso mundial, según el cual todos los países ligen de mejor manera sus procesos productivos con la reducción, fijación y compensación de emisiones.

<sup>31</sup> Estructura de Precios de Combustibles -RECOPE-. <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/estructura-de-precios/>.

Este escenario mantiene la mayoría de las características y supuestos presentes en la valoración económica según los supuestos de MIDEPLAN. Sin embargo, se modifican los precios del carbono y las tasas de descuento conforme a las recomendaciones de organismos internacionales, los cuales aconsejan que las valoraciones sociales de carbono, consideraciones de descuento para proyectos de largo plazo y exigencias de rentabilidad sean realizadas de manera similar alrededor del mundo.

La importancia de un abordaje internacional sobre las emisiones se refuerza bajo dos ideas. Primero, las emisiones son un bien que debe ser considerado y tranzado mundialmente, ya que cada tonelada de carbono emitida aporta al calentamiento global tanto localmente como a nivel mundial. Y segundo, las emisiones de GEI que se reducen y se fijan en cualquier país del mundo hacen que dichos efectos se ralenticen, dado lo cual los efectos positivos de dichas reducciones generan beneficios en todo el mundo.

Estas externalidades positivas necesitan ser consideradas de una manera estándar, en tanto no existen mecanismos aceptados globalmente para asignar precios a las emisiones de carbono, lo que determina grandes diferencias entre los países tanto en las metodologías aplicadas como en los precios.

Dada la necesidad de una mayor sostenibilidad de las estrategias de desarrollo y del accionar de los países, a fin de mitigar las consecuencias del cambio climático sobre el planeta, los gobiernos han comenzado a monetizar localmente las emisiones de carbono y así crear un mercado para esta externalidad.

Los distintos mecanismos de regulación optados por varios gobiernos obtuvieron aproximadamente 44 billones de dólares en el 2018 por la monetización de la emisión de carbono, lo que representa un incremento de más del 30% respecto al año anterior (Banco Mundial, 2019). Más de la mitad fue recolectado por impuestos a la emisión de carbono desde zonas desarrolladas, como la Unión Europea, California, Quebec, entre otros.

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) publicó un reporte en el 2018, donde brindan los rangos de precios para el carbono que serían necesarios para mantener el aumento la temperatura global por debajo del 1,5°C durante el siglo 21. Dicho reporte, citado por el Banco Mundial (2019) define que los rangos deben estar entre 135–6.050 USD/tCO<sub>2</sub> para el 2030, 245–14.300 USD/tCO<sub>2</sub> para el 2050, 420–19.300 USD/tCO<sub>2</sub> para el 2070 y 690–30.100 USD/tCO<sub>2</sub> para el 2100. Cabe destacar que los rangos brindados por la IPCC solo dan una probabilidad del 50% - 66% de que la temperatura mundial no sobrepase el aumento límite de 1.5°C (Banco Mundial, 2019, p. 22). Así, esfuerzos provenientes de cooperaciones internacionales para medir, reducir y monetizar la emisión de estos factores se reafirma como una necesidad para la estabilidad ambiental del desarrollo y del planeta.

La comisión de alto nivel encargada de otorgar precios al carbono (High-Level Commission on Carbon Prices en inglés) ha indicado que las políticas de precios para las emisiones de GEI deben de estar entre el rango de 40-80 USD/tCO<sub>2</sub> para el 2020; esto con el fin de lograr los objetivos del Acuerdo de París y así evitar una temperatura máxima con efectos que lleguen a ser irreversibles (Banco Mundial, 2019, p. 20). En el caso de Costa Rica, el pago por tonelada de carbón fijada apenas supera los USD 7, por lo que el precio por tonelada en Costa Rica, según dicha comisión, debe aumentar en aproximadamente 5 veces para llegar al mínimo del rango indicado.

A pesar de la creciente relevancia que estas iniciativas han tomado, no todas las acciones parecen ir dirigidas en la dirección correcta. El informe presentado por el Banco Mundial (2019) muestra algunos de los cambios en el precio del carbono que han ocurrido en algunos países, como son los casos de Islandia (incremento del 10% entre el 2018 y 2019) y Portugal (donde los impuestos al carbono casi se han duplicado en los últimos años). Sin embargo, no se refleja esta creciente relevancia en todos los países, dado la gran cantidad de naciones que aún no disponen de mecanismos para gravar las emisiones, incluyendo algunos casos de reducciones en el precio, como el de Finlandia, donde se actualizó la metodología para gravar las emisiones de GEI y resultó en un precio o impuesto menor por tCO<sub>2</sub>e al anteriormente fijado. (Banco Mundial, 2019, pp. 46).

Adicionalmente, en una gran cantidad de países las políticas y precios sobre las emisiones son de escasa relevancia. En más de la mitad de los países que utilizan políticas para gravar las emisiones, se hace con precios menores a USD\$1/tCO<sub>2</sub>e (Banco Mundial, 2019, p. 61). Ciertamente, precios tan bajos no constituyen para las personas un gran incentivo para introducir cambios en los procesos productivos, desacelerando el proceso de descarbonización.

La tasa de descuento puede verse como un costo de oportunidad del dinero invertido, y generalmente se utiliza a niveles altos. Así, por ejemplo, la tasa social de descuento de 8,31% ofrecida por MIDEPLAN o las tasas desde 11,50% hasta 16,50% aceptadas en las metodologías tarifarias de ARESEP.

Altas tasas de descuento hacen que muchos proyectos pierdan factibilidad a largo plazo, ya que beneficios futuros pesan poco e inversiones iniciales se sobrevaloran. Este es el ejemplo de los autobuses eléctricos, que tienen flujos de costos menores hasta años avanzados del proyecto e inversiones iniciales muy altas en comparación a las alternativas diésel.

Al respecto, Stern, N H. (2007) analiza los aspectos económicos detrás del cambio climático. Entre sus propuestas está la de postular que las tasas de descuento deben ser mucho más bajas de lo que se usan actualmente para evaluar los proyectos de inversión y que el dinero destinado a inversión para mitigar los efectos del cambio climático, o el consumo de generaciones futuras, debería ser igual de valiosa hoy o 200 años después. Además, señala que existen factores sociales que pueden propiciar futuras caídas en la tasa de descuento, como son las reducciones en la producción y consumo por efectos del cambio climático, la creciente desigualdad entre la población y una mayor incertidumbre sobre el futuro a través del tiempo.

En los cálculos de Stern para obtener la tasa de consumo óptima, destacan operaciones que limitan o establecen la extinción de la raza humana con cierta probabilidad. Por ejemplo, Stern muestra que con una tasa de descuento de 0,1% hay casi un 10% de probabilidad para la extinción de la raza humana al final del siglo, y para una tasa del 1,5% calcula una probabilidad de 78% para tal extinción hacia fines de este siglo (Stern, 2007, p. 47).

Entre otras recomendaciones destaca la realizada mediante una encuesta a profesionales por parte del Centro para la Economía y Política del Cambio Climático (2015), quienes coinciden que la tasa de descuento debe rondar entre el 1% y 3%, con un promedio del 2,25%. En esta perspectiva, MIDEPLAN ha realizado investigaciones exploratorias para brindar tasas sociales de descuento a largo plazo para Costa Rica, relevando la importancia de incluir en estos proyectos valoraciones de emisiones de GEI y efectos sobre la salud (con tasas sociales de descuento cercanas al 1% y 2% dependiendo del plazo de análisis).

Los precios para los gases contaminantes que tienen costos sociales sobre la salud (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub>) han sido fijados según los expuestos por la EEA (2018); por su parte, el precio del carbono fue de 50 USD/tonCO<sub>2</sub> siguiendo la recomendación de la High-Level Commission on Carbon Prices y el Banco Mundial (2019) (véase el anexo 7).

Para este caso, el análisis del Valor Actual Neto (VAN) brinda un resultado de 63.000 dólares, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 4,1%, resultados mejores al escenario de análisis construido sobre la base de los precios sociales de MIDEPLAN al considerar un mayor precio del carbono y una tasa de descuento conveniente para proyectos de mediano-largo plazo y de índole ambiental. Estos resultados indican que, si fuese posible tanto la consolidación de un mercado mundial del carbono y otras externalidades generadas, el desarrollo de una conciencia altruista con las futuras generaciones, junto a una adecuada tasa de descuento para este tipo de proyectos, la brecha de costos se reduciría, haciendo atractiva la electrificación de la movilidad para el inversionista.

#### 4. Resultados de análisis y evaluaciones según escenarios complementarios

##### a) VAN en escenario con políticas económicas optimistas (+) de internalización

Esta sección presenta un escenario "idóneo u optimista", en el que se incluyen las políticas públicas, de internalización y/o fiscales que sean favorables para el desarrollo de la electromovilidad, o bien, en su defecto, mejoren comparativamente la rentabilidad de las tecnologías eléctricas respecto a las tecnologías convencionales. Por lo tanto, partiendo del escenario financiero privado se simula una secuencia de eventos que puedan ser replicables por empresas y países que buscan implementar estas tecnologías, pero manteniendo hechos que sean reales y posibles para su concreción. El ejercicio tiene como objetivo establecer qué esfuerzos tienen un impacto importante sobre la rentabilidad y qué otros redundan en escasos beneficios financieros y económicos.

Entre las principales variantes de los supuestos realizadas se encuentran:

- Financiamiento mediante entes bancarios que hagan posible el otorgamiento de créditos con tasas de interés favorables para el avance de estos proyectos. Por ejemplo, el Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD) en Costa Rica mantiene términos de financiamiento a la Tasa Básica Pasiva para proyectos con propósito ambiental. Por lo tanto, se asume una tasa de interés para autobuses eléctricos igual a la TBP, que se cobra anualmente sobre el saldo de deuda durante todo el plazo de financiamiento (los entes financieros nacionales pueden fijar sus términos partiendo de la TBP con cierto margen de rentabilidad acorde al proyecto).
- Respecto al supuesto que los autobuseros no se benefician de la reducción de la importación de diésel, se asume que parte de estos recursos pasan a ser percibidos por el ICE y las empresas distribuidoras de electricidad. Estos recursos impulsarían la adaptación de conexiones necesarias en las terminales de autobuses para la instalación de las estaciones de carga, y el ofrecimiento de precios preferenciales para la electricidad. De esta manera, se distribuiría parte de los beneficios obtenidos por la menor importación de diésel y el redireccionamiento de recursos entre el ICE y los autobuseros.
- A la fecha el único mecanismo de compensación por fijación o reducción de carbono es el presentado por el FONAFIFO para servicios forestales, dado lo cual se asumen mecanismos de compensación para estas externalidades según el CSC de CEPAL (2019) y los precios por contaminantes brindados por la EEA. Cabe destacar que la reducción de emisiones de GEI (según el CSC brindado por CEPAL) y gases contaminantes con efectos en la salud ascienden a casi 6.500 dólares anuales, por lo que la rentabilidad de las tecnologías eléctricas puede ser favorecida mediante fondos ambientales, financiamiento internacional para emisiones globales o la adquisición de créditos verdes por la empresa pública y privada que se beneficie de la implementación de tecnologías eléctricas y las mejoras que conllevan.
- Entre los beneficios incluidos por la electrificación se encuentran las reducciones de gases contaminantes que generan problemas respiratorios y de salud, que a su vez suscitan costos en tratamiento, equipo, incapacidades, capacidad productiva y seguros. De acuerdo con ello, las empresas aseguradoras pueden ser incluidas en este mejoramiento de la salud pública, ofreciendo descuentos en los seguros para las placas de autobuses eléctricos. Se asume una reducción de 30%.
- El precio de la electricidad es uno de los aspectos de mayor sensibilidad en los resultados de la inversión en electromovilidad. Para ello, en Costa Rica se observa un compromiso por parte de la ARESEP y los proveedores de energía eléctrica para fijar una tarifa plana a los operadores de buses eléctricos. Esta tarifa plana, además de presentar un trato favorable para las empresas autobuseras que inicien la electrificación de la flota, permitiría a las empresas concesionarias mantener una variabilidad de los gastos energéticos bastante controlada y no ver afectado el precio según cargos en potencia o por horas de alta demanda.

- La electrificación de la flota de autobuses podría llevar a las empresas operadoras y al país a realizar pedidos de autobuses a mayor escala, permitiendo a los proveedores brindar algún beneficio que abaratara la adquisición del equipo aprovechando las economías de escala. La adquisición de tecnologías basadas en la utilización de combustibles fósiles, en algunos años, podría verse como limitante del desarrollo sostenible. Ello podría significar la implementación de medidas orientadas a desincentivar la adquisición de estos vehículos y de esta manera financiar o subsidiar el importe y adquisición de vehículos con tecnologías más sostenibles, acción que podría aplicarse a la adquisición de autobuses. En este sentido, se asume una reducción del 10% del precio de las unidades eléctricas y un aumento del 10% del precio del autobús de diésel.
- El avance del mercado de las baterías es un aspecto de suma relevancia para el mercado de la electromovilidad. Al respecto, se espera que la producción y calidad de las baterías mejore en los próximos años a un paso más acelerado, lo que sumado a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales necesarios para su fabricación, medios más eficientes para la reutilización y reciclaje de las mismas, y una mayor facilidad para la obtención y mantenimiento de las celdas de energía, puedan conducir a la disminución de su costo. En las estimaciones realizadas, se consideró una reducción del 10% al precio de la estación de carga y de la batería de repuesto durante el año 8.
- En lo que se refiere a la tasa de descuento, se considera la tasa seleccionada para proyectos de inversión ambiental mediante la encuesta realizada a profesionales por parte del Centro para la Economía y Política del Cambio Climático (2015).

Los resultados obtenidos para dicho escenario brindan un VAN de 121.700 dólares y una TIR de 15,76%. Por lo tanto, se puede afirmar que el esfuerzo conjunto de las empresas autobuseras, aseguradoras, generadores y proveedores de energía eléctrica, entes financieros y ambientales, permitirían llevar la rentabilidad de este tipo inversiones a un nivel bastante atractivo para la electrificación de la flota.

#### **i) Análisis de sensibilidad para caso optimista (+)**

El análisis de sensibilidad realizado para las variables relevantes del modelo refleja las siguientes variaciones en los resultados (véase el cuadro 31).

**Cuadro 31**  
**Resultados del VAN obtenidos mediante análisis de sensibilidad para caso optimista (+)**  
(En miles de dólares)

	Valor Actual Neto (En miles de dólares)				
Tasa	3	5	8,5	10	12
Tasa de interés fija (VE)	142,1	115,0	67,5	47,2	20,1
Porcentaje	0	40	80	90	100
Porcentaje de apalancamiento	152,2	138,7	125,1	121,7	118,4
Precio	240 000	360 000	400 000	480 000	560 000
Precio del bus eléctrico	251,0	121,7	78,7	-7,5	-93,6
Porcentaje de variación	-40	-20	0	20	40
Consumo diésel	-23,1	49,3	121,7	194,2	266,6
Porcentaje de variación	-40	-20	0	20	40
Consumo electricidad	162,0	141,9	121,7	101,6	81,5
Precio	8 000	12 000	19 000	25 000	30 000
Costo de infraestructura	130,8	126,8	119,8	113,8	108,8

	Valor Actual Neto (En miles de dólares)				
Porcentaje de variación	-40	-20	0	20	40
Precio por kWh de batería	132,5	127,1	121,7	116,4	111,0
Porcentaje de variación	-40	-20	0	20	40
Precio combustible	-23,1	49,3	121,7	194,2	266,6
Porcentaje de variación	-40	-20	0	20	40
Precio electricidad	162,0	141,9	121,7	101,6	81,5
Porcentaje de variación	-40	-20	0	20	40
Kilometraje	-37,8	42,0	121,7	201,5	281,3
Precio	7,5	25	50	80	110
Costo social del carbono	105,1	121,7	145,5	174,0	202,5
Tasa porcentual	1	2	3	4	5
Tasa de inflación	104,6	113,1	121,7	130,6	139,7
Tasa porcentual	1	3	8	10	12
Tasa de descuento	147,9	108,1	44,8	28,9	16,5

Fuente: Elaborado por los autores.

En la información presentada, resalta la importancia que posee el kilometraje anual: mayores kilometrajes se reflejan en mayores requerimientos de aceites, partes y mantenimiento de las unidades diésel, que son menores en los autobuses eléctricos. Esta diferencia sugiere que puede llegar a ser conveniente el uso de unidades eléctricas en rutas interurbanas o con recorridos largos.

Otro aspecto que genera gran variabilidad en el VAN es el coeficiente de consumo de las tecnologías. A pesar de que una mayor eficiencia sería favorable para ambas tecnologías, se observa que avances en la tecnología de autobuses eléctricos, acompañados de una planificación que permita su funcionamiento en rutas que favorezcan su eficiencia, devienen en resultados del VAN positivos para la electrificación. Como se señaló anteriormente, tales coeficientes de eficiencia presentan variabilidad en los estudios encontrados, existiendo actualmente investigaciones y avances relacionados (por ejemplo, los frenos regenerativos), por lo que es un tema de gran relevancia para los planes piloto y la búsqueda de información que se lleva a cabo en el territorio nacional.

Los precios del carbono que se asignarían a las compensaciones de los autobuseros también muestran un rol relevante. La variación del precio de carbono va desde los 7,5 USD/tonCO<sub>2</sub>e, a 110 USD/tonCO<sub>2</sub>e (brindado por el FONAFIFO), valores que estarían en el rango de precios propuesto por la IPCC y la Comisión de Alto Mando para Precios del Carbono. Estos cambios generan un VAN de más de USD 35.000, poniendo de manifiesto la importancia que tiene este rubro en los resultados y la necesidad de compensar los beneficios ambientales que la electrificación genera para hacer más llamativos estos proyectos.

Por otra parte, mayores tasas de inflación afectan positivamente la inversión en vehículos eléctricos. Esto es así porque las tecnologías diésel utilizan una mayor cantidad de partes, aceites, e incluye una mayor cantidad de gastos durante su vida útil que, además, aumentan de precio durante su vida útil en comparación a la tecnología eléctrica. Por esta razón la tasa de descuento también genera grandes variaciones en los resultados financieros, que incluyen un VAN de USD 108.100 para una tasa de descuento del 3%, hasta alcanzar resultados apenas favorables para la electrificación de la flota con un VAN de 16.500 USD para el caso de una tasa de descuento del 12%. Esto permite deducir la importancia de realizar estas inversiones con miras del desarrollo más allá de criterios únicamente monetarios, abarcando dimensiones de sostenibilidad y salud pública, las que debieran tomar un papel más que protagónico en estos resultados.

## ii) **Análisis de sensibilidad de precios de gases contaminantes en caso optimista (+)**

Con el propósito de reflejar la importancia que los precios de los gases contaminantes tienen sobre estos resultados, se realizó también un análisis de sensibilidad del VAN según las fuentes que calculan los respectivos precios de estos gases. Esto se hizo utilizando los precios máximos, mínimos y los precios medios para cada uno de los gases. El cuadro 32 resume los resultados obtenidos.

**Cuadro 32**  
**Sensibilidad del VAN a causa de precios de gases contaminantes**

Análisis de sensibilidad para precios de contaminantes (USD/ton)							
Gas/rubro:	Precio mínimo	Banco Mundial	FMI	EEA	Centro victoria	Precio máximo	Precio promedio
SO2	1 000	1 000	2 300	28 000	1 756	28 000	8 264
PM 2.5	20 000	20 000	45 000	70 000	124 675	124 675	64 919
NOx	500	1 500	500	12 000	11 034	12 000	6 259
VAN	61 500	66 500	62 400	121 700	118 300	123 800	92 200

Fuente: Elaborado por los autores con precios obtenidos de agencias internacionales.

Nota: Para los precios brindados en euros por el Centro Victoria se obtuvo su valor en dólares multiplicando por un factor de 1,178.

Como se puede apreciar en la información presentada, se identifica que las variaciones del VAN, principal determinante de inversión, en gran medida obedecen a variaciones de los precios que se podrían compensar mediante la reducción de emisiones de gases contaminantes. Esta variación se hace más notable al compararse los resultados obtenidos por parte de la Agencia Europea del Ambiente (EEA) con los obtenidos al utilizar los precios del Banco Mundial o Fondo Monetario Internacional (FMI), que, en este caso, el VAN con precios de la EEA es casi el doble que en los otros dos casos.

Si bien es cierto que existen diferencias metodológicas en la forma que estos precios se calculan, en general se observa la importancia de reducir y tranzar estos gases contaminantes a nivel global, y lograr obtener mecanismos de compensación que incentiven el traspaso a tecnologías que no generen este tipo de gases.

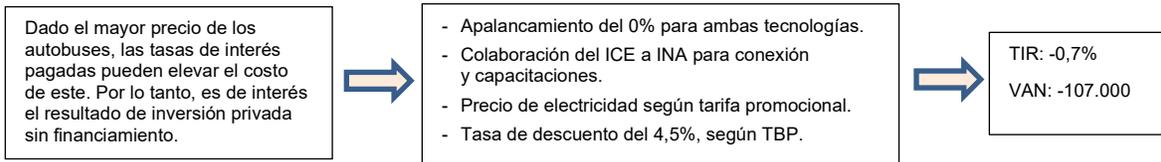
### **b) Escenarios según progreso de políticas**

En esta sección, con propósitos ilustrativos, se realiza una segmentación de escenarios que consideran distintos grupos o clúster de los rubros que influyen sobre los resultados.

En el diagrama 2 se considera que el inversionista adquiere el autobús por su cuenta, sin colaboración ni financiamiento más allá de las adaptaciones eléctricas y capacitaciones brindadas y anunciadas por el ICE e INA respectivamente. El resultado que arroja escenario muestra que, a una tasa de descuento acorde a la Tasa Básica Pasiva brindada en Costa Rica, las diferencias en los precios de los autobuses (que se paga entera durante el año 0) tienen una importancia vital para el resultado de la inversión. Sin embargo, paralelamente se observa una TIR cercana a cero. Esto quiere decir que con requerimientos de mejores autobuses diésel el valor actual neto del proyecto estaría cercano a ser positivo.

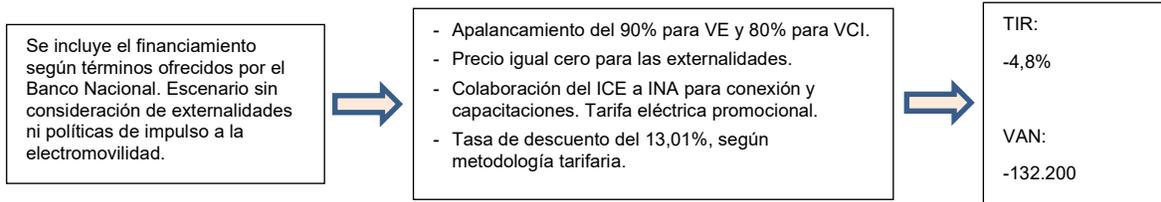
En los resultados del primer diagrama se aprecia que tanto el precio que se le asigna a las emisiones de GEI y demás gases contaminantes, como al valor de la tasa de descuento utilizada, alteran los resultados de manera considerable. En la práctica, la determinación de los precios para los gases se debe realizar según las condiciones de Costa Rica y sus zonas, y el método de compensación debe ser acorde al kilometraje y ruta de los autobuses, tanto para compensar las emisiones evitadas como para también incentivar la adquisición del autobús.

**Diagrama 2**  
**Inversionista adquiere el autobús por su cuenta**



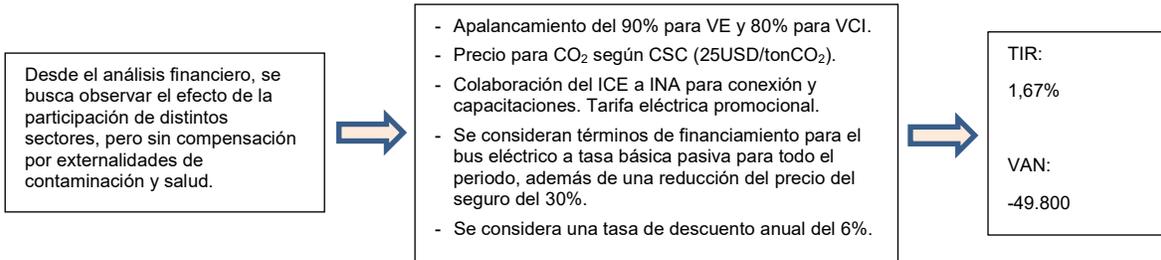
Fuente: Elaborado por los autores.

**Diagrama 3**  
**Inversionista adquiere el autobús con financiamiento del Banco Nacional**



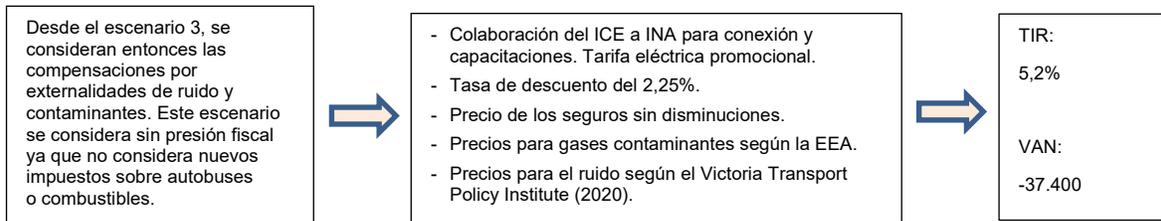
Fuente: Elaborado por los autores.

**Diagrama 4**  
**Participación de distintos sectores, pero sin compensación por externalidades**



Fuente: Elaborado por los autores.

**Diagrama 5**  
**Con compensaciones por externalidades de ruido y contaminantes**



Fuente: Elaborado por los autores.

En la revisión de los escenarios expuestos destaca, en definitiva, la importancia de los pequeños avances para el apoyo de la electromovilidad. Dadas las grandes diferencias entre los precios de los autobuses y equipos necesarios, se hace indispensable el apoyo del Estado a los cambios requeridos para el desarrollo del mercado, a saber, la adaptación de red, la capacitación de empleados para las empresas y la confección de leyes que favorezcan a las personas y empresas que emigran hacia tecnologías eléctricas.

El TIR estimado en cada escenario permite medir la rentabilidad que podría esperar el inversor por el cambio de tecnología de un solo autobús de su flota. Ha de tenerse en cuenta, sin embargo, que la adopción de una mayor cantidad de unidades podría generar economías de escala y mejoras en el esquema productivo, lo que se reflejaría en mayores TIR.

Debido a que la adquisición del autobús y equipo se realiza en los primeros años del proyecto, estos sobrecostos en la fase temprana del proceso mantienen en el VAN una influencia mayor que los ahorros que brindan los autobuses eléctricos en las etapas tardías. Esto determina que para consideraciones financieras, estos ingresos se reflejan bastante descontados en los resultados.

Un aspecto que debe ser destacado es el hecho que los resultados sobre la TIR son favorables, no obstante tratarse de un mercado inmaduro, incluso prematuro. En este sentido, la rentabilidad de sustituir al menos un autobús diésel por un autobús eléctrico no debería representar pérdidas que forzarán cierres de empresas prestadoras de servicio, sobre todo si cumplen con la Ley Nro. 9.518, que les permite al mediano-largo plazo brindar un transporte ambientalmente sostenible, además de un mercado de movilidad eléctrica más afianzado y apto para este tipo de proyectos.

Para presentar de mejor manera el aporte que tienen distintos apoyos a la electromovilidad, el cuadro 33 recopila el aumento sobre el VAN cada vez que se avanza en los puntos relevantes, así como en las políticas y acciones que se recomiendan en este informe.

Dado que algunos de los aspectos indicados afectan las diferencias en los costos durante los primeros años, y algunos hacen todavía más rentable la electromovilidad para años avanzados del proyecto, el análisis se realiza según las tasas de descuento que se han venido especificando en el análisis hasta ahora realizado, incluyendo entonces tasas acordes a los entes reguladores (13,01% de metodología tarifaria), MIDEPLAN (con la tasa social de descuento), la tasa básica pasiva y consideraciones internacionales para este tipo de proyectos.

Cada par de columnas (separadas según color) muestra por separado el grado de avance acumulado que estos eventos generan en el VAN. De esta manera, es posible observar el resultado de la inversión potencial si se logra avanzar en los rubros propuestos; además, se cuantifica el aporte por separado de cada rubro según las tasas de descuento destacadas a lo largo del documento.

**Cuadro 33**  
**Valor Actual Neto acumulado y cambio ocasionado por evento, según tasa de descuento**  
(En miles de dólares)

	13%		8,31%		4,50%		2,25%	
Rubro agregado/tasa de descuento	VAN	Δ VAN						
Análisis financiero privado	-134,1	-	-132,0	-	-121,7	-	-109,1	-
Tasa fija para buses eléctricos TBP	-98,0	36,1	-91,4	40,6	-76,8	44,9	-61,1	47,9
P.S.A a precio de FONAFIFO	-94,3	3,6	-86,7	4,7	-70,7	6,1	-54,0	7,1
Compensación de CO <sub>2</sub> a precio de WB (40 USD/tonCO <sub>2</sub> )	-78,5	15,8	-66,1	20,6	-44,4	26,3	-23,1	30,9
Tranzabilidad de gases contaminantes a precio de EEA	-46,0	32,6	-23,8	42,3	9,7	54,1	40,4	63,6
Tranzabilidad del ruido	-40,2	5,8	-16,3	7,5	19,3	9,6	51,7	11,2
30% de descuento en seguro para placas eléctricas	-30,0	10,2	-3,1	13,2	36,1	16,8	71,4	19,8
Mayor Kilometraje (+20%)	11,2	41,2	51,1	54,2	106,1	70,0	154,1	82,6
Mayor eficiencia de buses eléctricos <sup>a</sup>	25,2	13,9	69,4	18,3	129,7	23,6	181,9	27,9
Menor precio de batería (-20%)	27,8	2,7	73,2	3,8	134,7	5,0	187,9	6,0
Matriz eléctrica más limpio (-10% de emisiones)	27,9	0,1	73,3	0,1	134,8	0,1	188,1	0,2
Descuento y economía a escala de buses eléctricos (-5%)	44,2	16,3	91,5	18,2	155,1	20,3	209,6	21,5
Incentivo (USD 5000) para la electrificación (p.e. Fondo Verde)	48,2	4,0	96,1	4,6	160,1	5,0	215,0	5,4

Fuente: Elaboración propia de los autores mediante herramienta financiera.

<sup>a</sup> Se han encontrado factores de consumo que apuntan a una posible eficiencia de 1 kWh/km.

Los resultados obtenidos, expuestos en el cuadro 33, muestran que algunos rubros tienen escasa incidencia, no generando grandes cambios en las decisiones de inversión, debido a lo cual presiones y esfuerzos relacionados con políticas de este tipo no tienen justificación para la electrificación de los autobuses. Por ejemplo, los pequeños ahorros por aumentos del diferencial de emisiones debido a una matriz de energía eléctrica más limpia (que conllevaría grandes inversiones en un país cuya matriz energética es prácticamente en su totalidad renovable) y la creación de fondos que trancen las emisiones evitadas, pero a bajos precios, no generan cambios sustanciales sobre las decisiones de inversión.

La internalización de las emisiones puede ser apoyada mediante aumentos de la base impositiva o el redireccionamiento de la recaudación sobre los vehículos diésel y/o combustibles. Se observa que estas medidas actúan desde dos frentes, ya que el aumento de los precios en tecnologías convencionales y los combustibles fósiles, hacen menos rentables dichas tecnologías al corto y mediano plazo, pero además la recaudación permite la creación de fondos, subsidios u otros medios que permitan promover y acelerar el avance de la electromovilidad.

Como ya se ha dicho, los autobuses eléctricos muestran mejores ventajas en rutas con altos kilometrajes, dadas sus ventajas operativas. Es importante destacar, en esta perspectiva, que cada kilómetro recorrido por una unidad eléctrica presenta beneficios en consumo, mantenimiento y externalidades, por lo que es relevante observar la proporción de operación (o kilometraje) que es cubierto por unidades eléctricas dentro de cada ruta y así recabar información sobre las empresas y rutas que aportan en mayor medida a la descarbonización.

Otro aspecto relevante para considerar serán los beneficios que los proveedores de autobuses pueden ofertar a los inversionistas. Por ejemplo, las empresas proveedoras pueden entregar beneficios a las empresas autobuseras por su preferencia, generar beneficios asociados a economías a escala en caso de unificar pedidos de varias empresas operadoras, además de acordar garantías sobre el desempeño y mantenimiento de los autobuses o de las capacitaciones a realizar.

Cabe destacar que las metodologías tarifarias aplicadas por la ARESEP consideran los valores tarifarios de los autobuses adquiridos, como también los factores de rentabilidad y depreciación de la flota. Eventualmente, una electrificación de la flota podría dar lugar a un aumento de las tarifas cobradas por los autobuses, pero la apertura de mecanismos como los mencionados podría lograr que la variación de las tarifas fuera menor.

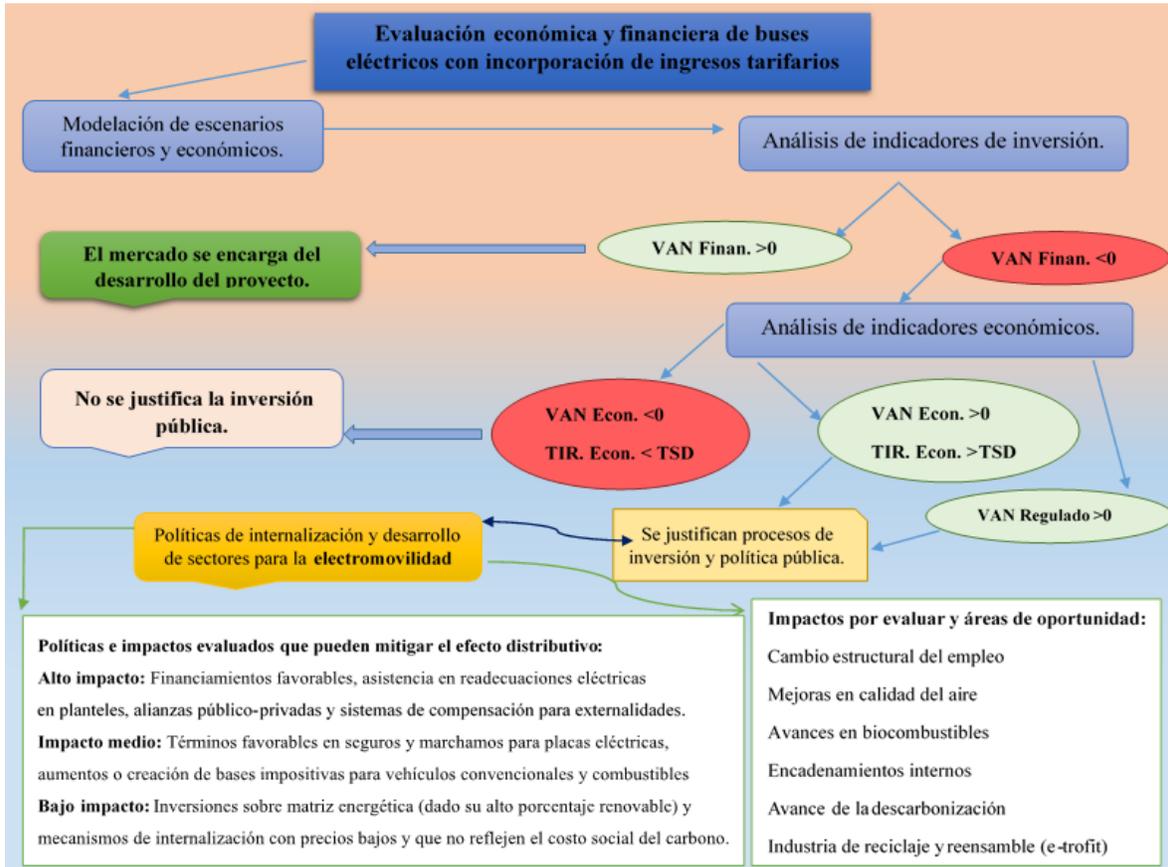
Entre los objetivos de esta sección está reforzar la visión de la alta influencia de las políticas públicas y privadas sobre los resultados de la inversión y que pueden ser llevadas a cabo por las empresas concesionarias, el Estado, la banca o las empresas distribuidoras de tecnologías. Ha de tenerse presente, sin embargo, que existen también políticas con bajo impacto sobre el VAN y la TIR, así como políticas que no han podido ser evaluadas dado lo prematuro del mercado a la actualidad.

La readecuación de un mercado tan importante como el de la movilidad y transporte requiere no solo la rigurosa vigilancia al desarrollo y eficiencia de las tecnologías, sino también la documentación del avance y cambios a la estructura de trabajo, mejoras en los encadenamientos productivos y en las cuentas públicas por menor uso de hidrocarburos importados, entre otros indicadores económicos.

Por lo tanto, según el proceso de presentación de datos mencionado en el diagrama 1 y el avance de los resultados obtenidos, partiendo del análisis financiero hasta las modelaciones de escenarios ideales que presentan altas tasas de retorno para la inversión, se concluye que hay un gran marco de acción para el mercado de la electromovilidad en años futuros (véase el diagrama 6). Estos avances, por cierto, están condicionados por la evolución de las necesidades ambientales y valoración de las externalidades de la población.

Desde el punto de vista de la política pública, teniendo en consideración la estrategia de presentación de los resultados de la Unión Europea (2014), conviene implementar estrategias y acciones que potencien el desarrollo del proyecto. A continuación, la ilustración 2 presenta la evaluación de los resultados que aportan un mejor panorama para la electrificación.

**Diagrama 6**  
**Esquema de análisis y consideraciones de políticas sobre indicadores de inversión privada y económica**



Fuente: Autores, adaptado de Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. European Union (2014).

Resulta importante enfocar la importancia que tienen los proyectos para reducir las emisiones en el contexto global y relevar que la acción temprana por parte de los países puede ayudar a que los efectos y las medidas a tomar para combatir las crisis ambientales sean más laxas y resulten en menores afectaciones para el avance económico, político y ambiental, así como para el bienestar general de la población presente y generaciones futuras.

### D. Importancia de la internalización y el papel del Sistema Nacional Financiero

Gran parte de los beneficios presentados por la utilización de autobuses eléctricos se obtienen por la vía de asignar compensaciones asociadas a la reducción de externalidades negativas. Debe insistirse, en consecuencia, en la importancia de crear un mercado que trance estos fenómenos. Dado que algunos de estos gases mantienen un efecto de calentamiento global, resulta de gran interés la búsqueda de canales que compensen la adopción de estas tecnologías. Ello puede lograrse mediante mecanismos de flexibilización, así como de la participación de los gobiernos y entes comprometidos con la descarbonización, con el objetivo de compensar total o parcialmente estas externalidades mediante la cooperación internacional y la cooperación de agentes privados, tanto nacionales como extranjeros.

Dada la necesidad de cubrir parte de los costos de adquisición, la forma en la que los autobuses eléctricos generan beneficios hasta los años finales de la implementación del proyecto y la sensibilidad positiva que presentan los resultados del VAN respecto a las tasas de interés y porcentajes de apalancamiento, se torna muy importante dirigir esfuerzos hacia la implementación de políticas y mecanismos de acción para la obtención de financiamiento con términos y condiciones favorables. Esto se puede lograr mediante la promoción de líneas de financiamiento desde la banca pública, privada o el SBD, el mejor acceso a financiamiento por parte de los fondos internacionales comprometidos con mitigar los efectos del cambio climático, y la promoción del uso, investigación y adopción de tecnologías emergentes que permitan una mejor sostenibilidad.

Los avances de electrificación en Costa Rica son en gran parte guiados por entes estatales, lo que permite que el proceso pueda realizarse con cierta independencia del sector privado. Además de las necesidades actuales, la Ley Nro. 9.518 requiere la implementación de al menos una flota de 15 buses eléctricos para cumplir con punto de partida establecido en el artículo 28 de dicha Ley. Por lo tanto, observadas estas diferencias en emisiones, eficiencia y también en costos de adquisición, se deben articular métodos efectivos para abaratar de manera comparativa las tecnologías eléctricas respecto a las basadas en el consumo de combustibles fósiles.

La importación de autobuses y vehículos con tecnologías convencionales representan índices de contaminación y dependencia fósil que son transferidos a la población usuaria y no usuaria del servicio por un período equivalente a su vida útil (entre 10 a 15 años o más). Entre las opciones para internalizar las emisiones de GEI destaca la de aumentar la tasa impositiva existente para la importación de vehículos convencionales, con el propósito de financiar un fondo que recompense mediante créditos anuales los ahorros en emisiones de las empresas.

De este modo, no solo se estarían reorientando fondos destinados originalmente a la adquisición de tecnologías convencionales (que pronto podrían ser declaradas ambientalmente insostenibles) a la adquisición y compensación de tecnologías limpias; además se obtiene una disminución en el costo de oportunidad de adquirir tecnologías eléctricas, al financiarse una parte de su costo mediante el encarecimiento de su bien sustituto.

Al respecto, el Ministerio de Hacienda (2018) señaló que la recaudación por importación de automóviles, jeeps y pick-ups que están sujetos a los impuestos de la Ley Nro. 6.946 (1%), Impuesto Selectivo de Consumo (30% para automóviles con antigüedad de 6 años o menos y 48% para autos con antigüedad de siete años o más) y el Impuesto General de Ventas (13%), presentó los siguientes resultados para el 2017 y 2018 (véase el cuadro 34).

**Cuadro 34**  
**Recaudación acumulada al mes de agosto de ingresos tributarios del total de aduanas**  
**y de vehículos de las partidas 8703 y 8704 para los años 2017 y 2018**  
*(En millones de colones)*

Tipo de impuesto	Recaudación			
	2017		2018	
	Vehículos en partidas 8703-8704	Total de aduanas	Vehículos en partidas 8703-8704	Total de aduanas
Impuesto general sobre ventas (13%)	76 641,31	451 667,87	65 074,58	455 025,44
Impuesto selectivo de consumo (30%-48%)	104 138,39	145 141,17	87 040,72	129 292,74
Impuesto al valor aduanero (1%)	3 184	17 317,41	2 591,16	17 110,08
<b>Total</b>	<b>183 963,71</b>	<b>614 126,55</b>	<b>154 706,47</b>	<b>601 428,26</b>

Fuente: Elaboración propia de los autores con datos del Ministerio de Hacienda (2018).

No obstante haberse producido una disminución en la cantidad de automóviles importados y, por ende, una reducción de la recaudación, se observa que el monto recaudado por Valor Aduanero (impuesto equivalente al 1%) fue de 3.184 millones de colones para el 2017 y de 2.591 millones para el 2018. De esta manera, la redirección de los impuestos recaudados o la determinación de un nuevo impuesto de la misma cuantía sobre la importación de automóviles, buses, motocicletas y otros equipos de combustión interna, permitiría generar un fondo de compensación bastante sólido para las emisiones reducidas por personas o empresas que comiencen la electrificación del transporte.

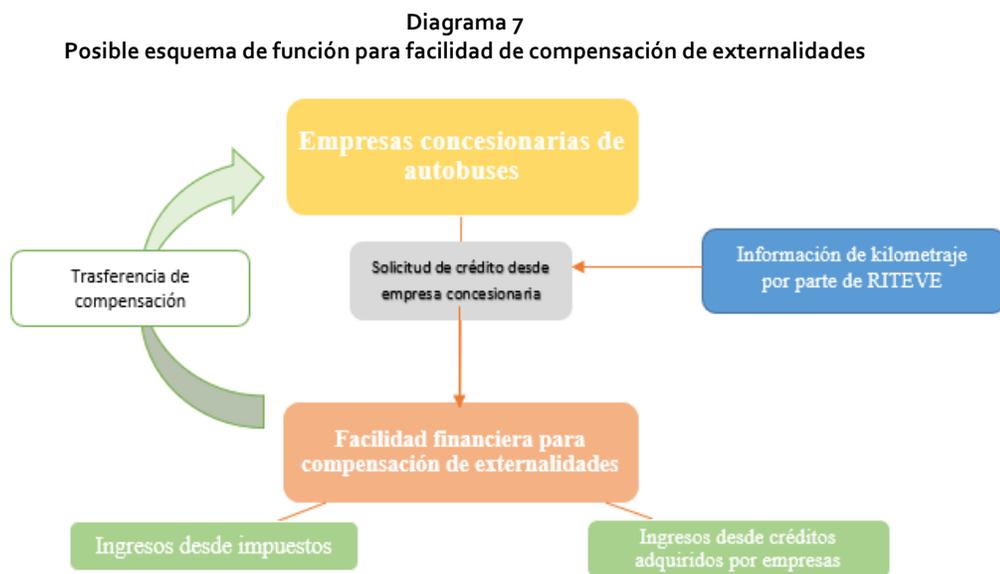
El esquema actual de FONAFIFO hace posible que distintas empresas adquieran el compromiso social y ambiental sobre sus emisiones, ofreciendo la posibilidad de compensar las externalidades causadas durante sus operaciones mediante la adquisición de títulos de carbono, con los que brindan recursos al fondo de pagos por servicios ambientales y, de esta forma, obtener la oportunidad de ser carbonos neutrales.

La participación de la empresa privada en este tipo de iniciativas es muy importante. Por esta razón se debe generar el espacio para que las empresas que se benefician directamente de los flujos de personas que se desplazan en medios de transporte público tengan opción de compensar las emisiones generadas por sus actividades. A su vez, se debe fomentar un mercado que compense iniciativas y acciones de mitigación.

Las empresas que quisieran ser beneficiarias de los recursos ofrecidos por mitigación de emisiones, una o dos veces al año deberían acercarse al fondo para efectos del cálculo de los montos a compensar. Dado que los autobuses eléctricos mitigan según sean las operaciones de autobuses diésel cubiertas por tecnologías limpias, se deben asignar coeficientes técnicos para los factores de emisión y el precio de los distintos gases que son evitados, para así, mediante el kilometraje recorrido por los autobuses eléctricos se pueda definir el monto de compensación para la empresa operadora.

No obstante que el kilometraje es un factor que puede ser alterado por los operadores con el propósito de obtener mayores beneficios de compensación, también es la manera más sencilla para registrar el recorrido real del autobús y brindar montos de internalización según los coeficientes técnicos de reducción de emisiones. Las empresas procederían a solicitar al fondo el monto correspondiente según el kilometraje reportado en la Revisión Técnica Vehicular (RITEVE) y los factores definidos por la administración del fondo según el precio social de las emisiones evitadas.

Un esquema de operación básico del fondo de compensación se refleja en el diagrama 7.



Fuente: Elaborado por los autores.

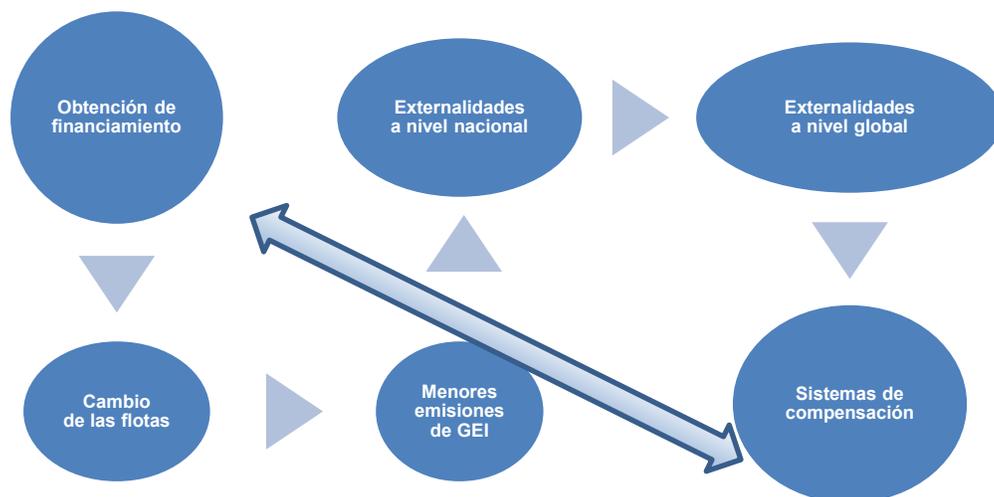
Para Costa Rica (en general, para todos los países), la internalización de las emisiones y externalidades es necesaria y los recursos requeridos para alcanzar este objetivo deberían ser obtenidos, aunque sea parcialmente, de la recaudación que resulta de la tributación aplicada a las fuentes de contaminación, es decir, vehículos de combustión convencional y combustibles. La puesta en marcha de leyes y recaudaciones de este tipo podrían ser aceptadas por la población dado el contexto y relevancia ambiental que existe actualmente en la sociedad, haciendo posible que los países concentren esfuerzos en comenzar a ejecutar este mecanismo o instrumentos e iniciativas similares.

La inclusión de la empresa privada en la adquisición de créditos para apoyar la descarbonización podría permitir que el proceso de electrificación del transporte avance más rápidamente. Además de los efectos sobre el cambio climático, algunas de las externalidades analizadas impactan negativamente sobre la salud de las personas, por lo que la reducción de emisiones al largo plazo puede reflejarse en una reducción de enfermedades respiratorias en las ciudades (principalmente en los grandes focos de concentración y exposición poblacional). Esto abre la puerta a la incorporación de las compañías de seguros al proceso de descarbonización.

Entre los costos fijos presentes en ambas tecnologías de movilidad se encuentran los gastos relacionados al pago de seguros que protege a las empresas operadoras y usuarios de siniestros de diversa naturaleza. En este contexto las empresas aseguradoras podrían ofertar seguros con primas más bajas a las unidades eléctricas, en tanto la adopción de esta tecnología reduciría los costos incurridos en atención y prevención de problemas respiratorios, dando lugar a un reacomodo e internalización de los beneficios recibidos por el sector salud.

No obstante los diversos aspectos que favorecen el desarrollo de la electromovilidad señalados a lo largo de este capítulo, su implementación (especialmente la adopción de un sistema de transporte público basado en autobuses eléctricos) parece un poco complicada, si no se crean mecanismos de compensación financiera favorables para los inversionistas. En este sentido se presume que no será hasta cuando estos mecanismos hagan que dicha rentabilidad se muestre más alentadora, es posible que las empresas privadas y entidades financieras prefieran esperar y apartarse del proceso. Así, la falta de financiamiento se traduciría en menos flotas eléctricas adquiridas, lo que junto a la importación de tecnologías diésel se reflejaría en menos emisiones evitadas y en un mayor tiempo necesario para alcanzar las metas de descarbonización (véase el diagrama 8).

**Diagrama 8**  
**Esquema de acción para buses eléctricos**



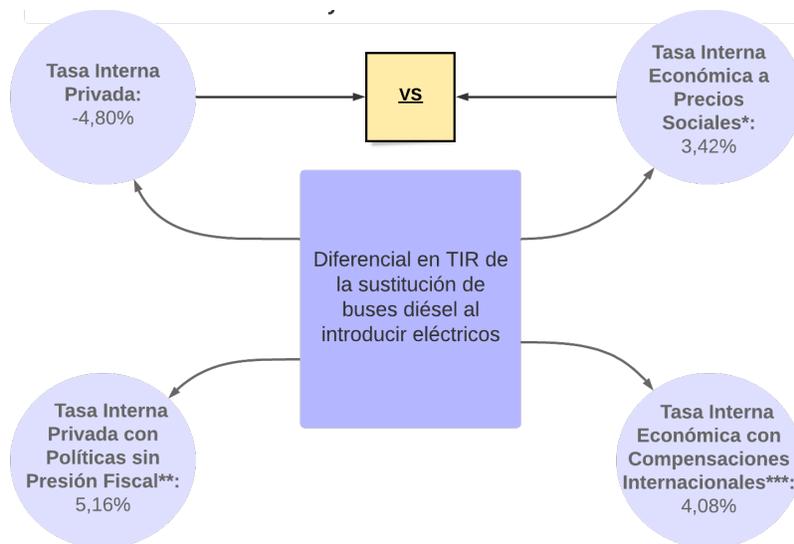
Fuente: Elaborado por los autores.

A pesar de la poca rentabilidad mostrada por el proyecto según las condiciones actuales del mercado, se espera que el análisis realizado haya mostrado como cambia el panorama de inversión conforme se implementan las políticas de internalización y se genera un espacio propicio para el desarrollo de una alianza público-privada en favor de la electromovilidad.

En resumen, el análisis hasta ahora desarrollado muestra cómo los ahorros generados por las tecnologías eléctricas suceden en los años avanzados de inversión, dado lo cual la tasa de descuento aplicada para descontar los ahorros a través de los años gana un especial protagonismo, ya que altas tasas de descuento desvaloran en gran medida los ahorros futuros de la inversión.

El análisis de la tasa de descuento mínima necesaria para hacer que los flujos de costos (y ahorros al aplicar diferenciales) sean favorables para la inversión (es decir, la TIR que hace del VAN igual a cero) mejora conforme se presentan los avances en temas de internalización de beneficios sociales. De esta forma, se observa como los resultados comienzan desde tasas del -5% para los casos financieros privados hasta 4% para las evaluaciones económicas (véase el diagrama 9).

**Diagrama 9**  
Resumen de resultados obtenidos para el análisis diferencial entre tecnologías eléctricas y de combustión interna



Fuente: Autores. Estudio de Impacto Económico de las inversiones para el Recambio de Flota de Buses Sostenibles en Costa Rica, CEPAL.  
Nota: \*Dado que la rentabilidad privada es negativa, pero la económica Sí es positiva, hay un margen relevante de política económica para fortalecer y dinamizar las economías de la región, a la vez que se avanza en los compromisos ambientales. \*\*Se puede lograr la rentabilidad privada con políticas públicas sin crear mayor presión fiscal; \*\*\*y serán mucho más eficientes entre mayor sea la compensación por reducción de emisiones de GEI. Además, fortalece los encadenamientos internos, la industria local y el empleo.

## E. Alcance del proyecto en el empleo nacional y brechas de género

El análisis de las estructuras de costos no contempla los cambios en los flujos de caja de las empresas que pueden ser ocasionados por diferencias en el número y salario del personal necesario en el plantel. Sin embargo, se dispone de varias caracterizaciones del mercado laboral que dan señales acerca del posible efecto que el avance de la electrificación tendría sobre la estructura del empleo en Costa Rica.

Respecto a las necesidades de personal, las metodologías tarifarias utilizan cálculos de coeficientes para determinar las necesidades de mecánicos y personal administrativo de las empresas. Algunos de estos coeficientes dependen del número de buses de la flota, kilometraje de la ruta, entre otros aspectos. Lo prematuro del mercado, sin embargo, no permite todavía definir las diferencias de personal y salariales que la electrificación podría generar en las empresas operadoras del transporte público, lo que impide una correcta valoración para consideraciones tarifarias.

Los cambios en las estructuras de empleo a causa de la electrificación de la flota podrían no verse reflejados suficientemente bien en la cuantía de empleados necesarios para realizar las tareas de mantenimiento y limpieza de los autobuses, pero sí en la necesidad de capacitaciones y habilidades adicionales por parte del personal. Sobre el particular, el encargado de las operaciones de BYD en Costa Rica, Pedro Dobles, señala que el mantenimiento necesario de automóviles y autobuses eléctricos se hace en gran parte mediante computadoras y medidores digitales, y que la sustitución del motor de combustión por computadoras y programas electrónicos requiere un conocimiento específico sobre electromovilidad adicional al conocimiento sobre mecánica que fue el requerido por el mercado hasta ahora. Dobles aclara que existe la posibilidad por parte de BYD de capacitar a las empresas que quieran electrificar su flota, y que este proceso ha sido realizado anteriormente con empresas que comenzaron a electrificar sus operaciones.

En Costa Rica se ha asignado al Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) la obligación de generar y transferir el conocimiento técnico necesario mediante la teoría y práctica, según lo dicta la Ley No. 9518 y el Plan de Transporte Eléctrico. En este sentido, gracias a la aprobación de la Ley de Incentivos y Promoción para el transporte eléctrico y el crecimiento del mercado de electromovilidad, el INA durante los últimos años ha participado en el desarrollo e investigación sobre vehículos eléctricos e híbridos por medio del curso técnico en Diagnóstico y Reparación de Vehículos Eléctricos e Híbridos (iniciado el 2014) y el curso técnico en Eficiencia Energética (comenzado el 2018).

La capacitación brindada permite acelerar el proceso de electrificación, además de contribuir con el desarrollo de la investigación y la recopilación de información a nivel nacional, propiciando una mejor eficiencia y participación ciudadana en el uso de tecnologías limpias para transporte.

El trabajo realizado por el INA orientado a fomentar el conocimiento sobre movilidad eléctrica, energía y mecánica ha sido relevante. De hecho, ha permitido abrir espacios y cursos específicos según los requerimientos de empleo de algunas empresas en el mercado costarricense. Así, el esfuerzo realizado para impulsar la educación y oportunidades laborales sobre la población en riesgo social aporta herramientas para la sociedad y mercados en cuestión, además de contribuir al cierre de brechas en desigualdad.

En relación con el mercado laboral, dos puntos pueden ser destacados y que beneficiarían el proceso de electrificación del transporte público: la distribución del empleo según grupo y clasificación ocupacional, y el impacto de la electromovilidad sobre la brecha de género existente en este sector.

Sobre la distribución del empleo según el grupo ocupacional, Costa Rica registra una gran proporción de personas empleadas en servicios de comercio y ocupaciones elementales (21% y 24% respectivamente)<sup>32</sup>. Asimismo, la estructura laboral tiene una concentración bastante baja, tanto en puestos de dirección y gerencia (0,8%) como en el sector agropecuario, pero considerados como calificados (3,7%).

La proporción de la fuerza de trabajo en puestos de técnicos y profesionales de nivel medio se encuentra por debajo del 10% del total. Es posible que gracias al desarrollo del mercado de electromovilidad y de los cursos impartidos por el INA, aumente la cantidad de personas que se

---

<sup>32</sup> INEC (2014) define a las ocupaciones elementales como aquellas cuyas tareas requieren los conocimientos y experiencia necesaria para realizar tareas generalmente sencillas y rutinarias, con ayuda de herramientas manuales y requieren poco esfuerzo físico e iniciativa.

reincorporan al mercado laboral y decidan incluirse en este segmento, o bien, se produzca un desplazamiento desde los grupos ocupacionales con menos calificación al de técnicos y profesionales de nivel medio (véase el cuadro 35).

**Cuadro 35**  
**Cantidad de ocupados según grupo ocupacional en Costa Rica**

Población ocupada por grupo ocupacional		
Grupo ocupacional	Ocupados	Porcentaje del total
Directores y gerentes	17 969	0,8
Profesionales, científicos e intelectuales	250 905	11,5
Técnicos y profesionales de nivel medio	202 577	9,3
Personal de apoyo administrativo	180 318	8,3
Trabajadores de los servicios y vendedores de comercios y mercados	475 644	21,8
Agricultores y trabajadores calificados agropecuarios, forestales y pesqueros	80 994	3,7
Oficiales, operarios y artesanos de artes mecánicas y de otros oficios	262 936	12,0
Operadores de instalaciones y máquinas y ensambladores	191 579	8,8
Ocupaciones elementales	512 059	23,5
No especificado	7 837	0,4
Total	2 182 818	100,0

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de datos brindados por el INEC.

Respecto a las diferencias de género, Costa Rica y otros países latinoamericanos muestran una gran brecha laboral según el género de las personas.

Para el segundo cuatrimestre del 2019, los resultados de la encuesta continua de empleo (ECE) implementada por el INEC mostraron una fuerza de trabajo nacional compuesta por 1,48 millones de hombres y 996 mil mujeres. Respecto a la variación interanual de esta cifra, las mujeres muestran un crecimiento de 90 mil personas, lo que representa un aumento de la tasa neta de participación laboral de 4%; a la vez, los hombres no tuvieron variación.

Para el mismo periodo, la tasa de ocupación nacional fue de 55,5%, no registrando variación respecto al segundo trimestre del año anterior. Por sexo, la tasa de ocupación masculina se redujo de 69,9% a 67,7%, y contrariamente, la tasa de ocupación femenina fue de 43,2%, con un aumento interanual de 1,9 pp.

La tasa de desempleo para los hombres se incrementó estadísticamente 3,2 p.p. respecto al año anterior, situándose en 9,9%. Por otro lado, la tasa de desempleo femenina fue de 15%, con una variación interanual de 3 p.p. Se espera que la tasa de desempleo aumente en gran medida debido al cese de muchas actividades económicas y cierres de fronteras causados por la pandemia del coronavirus.

Sobre las diferencias entre la distribución de la fuerza laboral según la calificación del grupo ocupacional, datos facilitados por el INEC para el cuarto trimestre del 2019 muestran que la mayoría de la fuerza laboral se encuentra en ocupaciones calificadas como media (alcanzando casi un 55% del total). Este porcentaje se replica al observarse la distribución de la población ocupada por calificación del grupo y sexo, ya que las mujeres y hombres mantienen casi la misma proporción del total de población en ocupaciones de calificación media (53% y 56% respectivamente).

En Costa Rica la población ocupada de mujeres representa cerca de un 62% del total de la población ocupada de hombres. Dada esta brecha, se deben sumar esfuerzos para ofrecer mejores oportunidades y herramientas para una mejor inserción de la mujer en el mercado laboral. Debido a que la electromovilidad es un mercado emergente, de momento no se conocen las diferencias por sexo en el interés de participar, por lo que las acciones a tomar por el INA y otras instituciones involucradas en este proceso deben apuntar a ofrecer condiciones idóneas para la inserción de la mujer en estas actividades. En este sentido, sería conveniente emprender acciones tales como la fijación de cuotas mínimas de mujeres en las matrículas de los cursos y el otorgamiento de beneficios adicionales (principalmente sobre las cargas sociales y seguros que las empresas adquieren con sus empleados) a las empresas que dispongan de porcentajes mínimos de mujeres en su planilla con labores calificadas como medias u altas.

Por lo tanto, a pesar de la dificultad existente para cuantificar las diferencias que los cambios en los salarios y puestos laborales puedan causar en las estructuras de costos de las empresas operadoras, debe destacarse el beneficio del aprovechamiento a nivel interno de cursos y capacitaciones. Esto permitiría afianzar aquellas personas que se encuentran en ocupaciones de media y alta calificación, además de la migración de personas en ocupaciones poco calificadas, desempleadas o fuera de la fuerza de trabajo, a ocupaciones calificadas (véanse los cuadros 36 y 37).

**Cuadro 36**  
**Total de población ocupada según la calificación de su grupo ocupacional**

Población ocupada por calificación del grupo ocupacional		
Calificación del grupo	Ocupados	Porcentaje del total
Ocupación calificada alta	471 451	21,6
Ocupación calificada media	1 191 471	54,6
Ocupación no calificada	512 059	23,5
No especificado	7 837	0,4
<b>Total</b>	<b>2 182 818</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

**Cuadro 37**  
**Total de población ocupada según la calificación de su grupo ocupacional, por sexo**

Población ocupada por calificación del grupo ocupacional, según sexo		
Calificación del grupo	Hombres	Mujeres
Ocupación calificada alta	260 315	211 136
Ocupación calificada media	752 687	438 784
Ocupación no calificada	327 292	184 767
No especificado	6 800	1 037
<b>Total</b>	<b>1 347 094</b>	<b>835 724</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

En relación con temas de género en el sector transporte, el programa MiTransporte (2018) realizó una investigación desde una perspectiva de género mediante un diseño mixto de tipo exploratorio concurrente de nido. Mediante la aplicación de encuestas y recopilación de datos, los investigadores logran no solamente brindar cifras que reflejan las desigualdades del mercado laboral costarricense ya mencionadas, sino, además, proporcionar resultados sobre características socioeconómicas del segmento estudiado, incluyendo datos sobre, por ejemplo, el poder adquisitivo subjetivo del hogar e ingresos, además de sus opiniones acerca el servicio brindado por las empresas de autobuses.

En el estudio citado se especifican patrones de movilidad diferenciados por género, detectados inicialmente por el Banco Interamericano de Desarrollo (2015), señalándose que el género masculino realiza mayoritariamente desplazamientos de tipo pendular (casa-trabajo o casa-estudio), mientras que el género femenino realiza desplazamientos tipo zigzag (varios viajes a varios puntos), generalmente con el propósito de cumplir con sus tareas no remuneradas. Por lo tanto, distintos roles socioeconómicos y responsabilidades generan diferencias en el uso, acceso y necesidad de transporte.

Uno de los hechos determinantes en alterar los patrones de utilización de los servicios de transporte es la necesidad de atender las actividades relacionadas con el desplazamiento de los hijos. Al respecto, el BID (2015) señala que tener un hijo o hija en el colegio o escuela hace que el número de viajes realizados por mujeres aumenten en un 23%. En algunos países de América Latina esta condición hace que la cantidad de viajes realizados por una mujer aumente de 1,57 a 1,78 mientras que la cantidad de viajes de los hombres es constante en 1,73, lo que quiere decir que aun con hijos los hombres no presentan diferencias significativas en la cantidad de viajes, como es el caso de las mujeres. Al respecto, CEPAL (2017) ha señalado que estas diferencias se encuentran también en países desarrollados.

MiTransporte (2018), basándose en información obtenida mediante PIMUS (2016, p. 27), menciona algunas de los factores que pueden provocar o reflejarse en diferencias de uso y participación de movilidad entre géneros. El primer factor aludido se refiere al hecho que las mujeres generan una cantidad mayor de viajes en comparación con los hombres. Además, las mujeres son usuarias del transporte en autobús en mayor proporción que los hombres (36% versus 27%). Otros aspectos que pueden ser relevantes en este análisis de movilidad y género es la menor cantidad de licencias para conducir obtenidas por mujeres y la mayor dispersión de los destinos que éstas muestran, en virtud de la mayor gama de motivos de los desplazamientos (cuidado, salud, atención de deberes del hogar y en menor cantidad para efectos laborales o de estudio), y que la cantidad de mujeres mayores de 15 años y sin ningún ingreso supera en más del doble a la de los hombres en esta misma condición.

Estos antecedentes pueden dar lugar a un nicho de negocio para las empresas automotrices, que pudieran interesarse en impulsar y financiar a las mujeres en la adquisición de vehículos con tecnologías eléctricas, principalmente a las mujeres con familias, que pueden verse altamente beneficiadas por los ahorros operativos, aunque éstas podrían enfrentar dificultades para la adquisición de los vehículos.

La brecha de género existente también se evidencia en la desigual participación de ambos géneros en la operación del transporte público. MiTransporte (2018) señala, según la información brindada por el CTP, que del total de concesiones de servicio de autobús un 50% están otorgadas a personas jurídicas, un 40,1% a hombres y solo un 9,9% a mujeres. Y a pesar de que hay gran cantidad de mujeres laborando desde la administración y como líderes en toma de decisiones en el sector<sup>33</sup>, no se presenta un porcentaje alentador de participación en la prestación del servicio, en la cual la cantidad de choferes mujeres son 10 de cada 8.000 (MiTransporte, 2018), situación que se reitera en tareas de mantenimiento y operación de transporte público.

Otro de los resultados arrojados por la encuesta de MiTransporte (2018, p.32) establece el claro predominio del autobús como medio más utilizado (57,8% de los encuestados). Al desglosar por género, un 60% del total de mujeres encuestadas afirman que el autobús es el medio de transporte que más utilizan (porcentaje mayor al casi 55% reportado por los hombres). En relación a los modos de transporte público (taxi formal, autobús público, tren), el autobús es el más utilizado por más del 95% de los hombres y mujeres encuestados.

---

<sup>33</sup> Por ejemplo, los casos de Claudia Dobles, primera dama de Costa Rica; Andrea Meza, directora del MINAE y colaboradora en la Asociación de Movilidad Eléctrica (ASOMOVE); Saskia Rodríguez, directora de cooperación internacional del MIDEPLAN, entre otras muchas que suman esfuerzos desde ministerios e instituciones para el avance en proyectos e igualdad de género.

Una de las razones que explica la mayor propensión de las mujeres a emplear modos de transporte público es su menor disponibilidad de vehículo privado. Un 34,5% de las mujeres afirman tener un automóvil propio, comparado a un 45,3% reportado por los hombres. Este menor acceso al transporte privado se refleja en la menor cantidad de licencias obtenidas por mujeres. (MiTransporte, 2018).

Esta frecuencia del uso de medios de transporte es bastante acentuada según el modo más utilizado: más del 70% de las personas que reportan utilizar el autobús como principal modo de transporte lo hacen más de 4 veces por semana, y el 75,4% de los que utilizan el automóvil privado lo hacen más de 4 veces por semana. En el AMSJ, un 55% de la población que usó el transporte público durante el 2018, lo usaba por lo menos una vez a la semana (MiTransporte, 2018, pp. 40).

A pesar de los esfuerzos realizados por parte de instituciones como el Instituto Nacional de la Mujer —INAMU— y la ARESEP, tanto a nivel educacional como empresarial se reconoce que existen vacíos importantes para la inserción integral de la mujer al mercado laboral y en específico al sector de transporte. De esto se colige la necesidad de mejores medidas que propicien la participación de la mujer en la organización institucional y del sector en general.

Un aspecto de gran interés en la evaluación de la factibilidad de un sistema de transporte público basado en autobuses eléctricos es el cobro de una tarifa un poco más alta por estos últimos en comparación a lo cobrado por los autobuses convencionales con motores a combustión. Al respecto, miembros de la ARESEP mencionan que sería factible una actitud de rechazo por parte de los usuarios del transporte público a tarifas más altas de los buses eléctricos, dado que el uso del servicio se decide principalmente por precio y, luego, por tiempo de espera. Ello podría significar que los usuarios prefieran esperar al próximo bus con tal de pagar un monto menor. Sin embargo, la encuesta realizada por MiTransporte (2018) revela que tanto hombres como mujeres coinciden en que el principal problema del servicio es el tiempo que se tarda en llegar el autobús al destino del viaje, y que tanto hombres como mujeres estarían dispuestos a pagar más por una mejor calidad del servicio. El estudio citado establece, asimismo, que la disposición a aceptar aumentos del precio es mayor conforme aumenta el poder adquisitivo de las personas encuestadas, lo que sugiere que usuarios de vehículos privados podrían utilizar el servicio de transporte público si perciben mejoras sustanciales del transporte público.

Por lo tanto, los planes piloto a implementar pueden incluir el uso de autobuses eléctricos en recorridos adicionales y con precios un poco mayores, lo que ayudaría a verificar las verdaderas disposiciones de pago por una mejora del servicio y del tiempo de viaje de los usuarios. Si la cantidad de pasajeros reportada por los autobuses eléctricos es menor, el mayor costo puede repartirse en aumentos tarifarios para toda la flota, tal como está previsto actualmente.

Se concluye que las políticas dirigidas a mejorar la calidad del transporte público afectan positivamente a poblaciones de menores ingresos, además de brindar mejores incentivos y seguridad un uso más intensivo del transporte público por mujeres y niños.

Durante el 2020 algunas empresas automotrices redujeron o cerraron fábricas de ensamblaje debido a las menores ventas y la menor demanda de mano de obra para fabricar vehículos eléctricos. Al respecto, ha de indicarse que, no obstante la fabricación de buses eléctricos requiere menos mano de obra, la apertura de talleres y centros de especialización para autos eléctricos que se generen aporta significativamente al dinamismo del empleo nacional.

## F. Análisis del impacto sobre las tarifas por incorporación de buses eléctricos

Uno de los aspectos considerados en esta investigación es el análisis de los posibles efectos que generará la implementación de tecnologías eléctricas y del cómo sus costos de inversión puedan afectar el bienestar de los usuarios del transporte público y de la población en general. Esto teniendo en consideración el hecho probable de la transferencia del sobrepeso de los buses eléctricos a los costos reportados a la ARESEP, entidad encargada de la determinación de las tarifas en el país mediante la Ley N° 7.593.

En materia de transporte remunerado es de especial importancia la Ley N° 3.503 (1965), que establece la función reguladora del transporte público de personas en vehículos automotores. Al referirse al transporte remunerado señala: "es un servicio público regulado, vigilado y controlado" por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

En su artículo 22, esta ley establece que para "para conocer, tramitar y resolver en primera instancia los asuntos referentes a las concesiones y permisos de servicio público, el Poder Ejecutivo designará una Comisión Técnica de Transportes...", cuya forma de integración de la Comisión Técnica, funciones y recursos administrativos se definen en la Ley de Administración Vial N° 6.324 (1979).

Por su parte, el Consejo de Transporte Público (CTP) es una entidad creada por la Ley N° 7.969 (1999). El CTP es uno de los órganos técnicos especializados en materia de transporte público. Tiene como objetivos planificar, diseñar, optimizar, regular y fiscalizar los servicios de transporte público terrestre, garantizando la satisfacción de las necesidades de los usuarios del servicio.

A la vez, en el artículo 30 de la Ley N° 3.503 se indica que, para efectos prácticos, el CTP es la entidad que "...fijará las tarifas aplicadas al servicio público de transporte automotor". En esta materia aclara que la "Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos las aprobará, improbará o modificará". Sin embargo, se señala que de acuerdo con el Dictamen N° 037 de 25 de febrero del 2000, este artículo se encuentra derogado tácitamente por el artículo 57 de la Ley N° 7.969 de 22 de diciembre de 1999. Ello en razón que la Ley N° 7.969 (1999), artículo 57, señala que la fijación de las tarifas es competencia exclusiva de la ARESEP, mediante respaldo en estudios técnicos, jurídicos, administrativos, económicos y financieros. Por su parte, el Consejo de Transporte Público queda como el encargado de solicitar la fijación de tarifa. Asimismo, el Art. 30 de la Ley N° 7.593 señala que "los prestatarios de servicios públicos, las organizaciones de consumidores legalmente constituidas y cualquier entidad pública con facultades podrán presentar solicitudes de cambio de tarifas y precios".

Los modelos tarifarios, al estar basados en los costos de las empresas operadoras, enfrentan el riesgo de definir tarifas sobre la base de información adulterada por parte de los concesionarios, quienes pueden ceder a la tentación de reportar costos inflados o una cantidad menor de pasajeros mensuales, lo que podría reflejarse en tarifas mayores para los usuarios.

Parte del problema radica en que los autobuses no cuentan con un sistema de conteo de pasajeros verdaderamente efectivo, motivo por el cual el modelo tarifario muchas veces está basado sobre pasajeros equivalentes (que son indicadores estimados y no datos reales). Tanto el MOPT como la ARESEP han debido realizar grandes esfuerzos para obtener cifras de pasajeros equivalentes lo más cercanas posible de los flujos reales, y mejorar de esta manera los análisis tarifarios. Estos esfuerzos se verán potenciados por las nuevas normativas definidas por las autoridades reguladoras, que les facilita el acceso a la información de las barras electrónicas de los autobuses. De este modo las empresas deberán proporcionar la información de pasajeros de manera bruta y de manera depurada posteriormente, colaborando a un proceso de fijación de tarifa más transparente y justo para con el usuario.

Para el análisis de las tarifas fijadas para las distintas rutas se utiliza el modelo tarifario utilizado por la ARESEP, definido mediante la metodología brindada en la resolución RJD 035-2016. En esta emplea una estructura de costos para los operadores de autobús, y, según la cantidad de usuarios de las rutas, se busca obtener un índice de pasajeros por kilómetro y un costo por kilómetro con los que se define la tarifa específica de la ruta.

Los distintos rubros y costos considerados dentro de las metodologías, así como los coeficientes utilizados para los cálculos de depreciación y rentabilidad de los activos de las empresas, se detallan en el anexo técnico 9 de este documento.

CEPAL fue autorizada por ARESEP para el manejo de metodologías tarifarias ya aplicadas, con flotas y esquemas operativos reales, y actualizados para algunas de las empresas que operan dentro del GAM. Se solicitó a ARESEP que las metodologías tarifarias facilitadas coincidieran (dentro de lo posible) con las empresas que realizan recorridos dentro del GAM, así como aquellas que ya informaron públicamente que esperaban adquirir unidades eléctricas durante el presente y próximo año.

Para evitar la alteración de coeficientes, esquemas productivos de las empresas, cantidad de viajes por autobús y kilometrajes respectivos, el ejercicio realizado consiste únicamente en cambios de la flota a modo de sustitución. En otras palabras, solamente se reemplaza el autobús convencional más antiguo que dispone la empresa por uno eléctrico (o diésel si es el caso). Así, se asume que el esquema productivo, cantidad de autobuses y kilometrajes anuales de los mismos no varían, por lo que el aumento instantáneo en tarifa sería causado solamente por el sobrecosto del autobús en depreciación y rentabilidad.

Las metodologías disponen de registros de flotas de autobuses a nivel nacional, por lo que para agregar los autobuses se generan 5 placas genéricas para cada tecnología, que posteriormente fueron agregadas a la flota de cada empresa según los requerimientos de sustitución establecidos por ley.

Para cada empresa analizada se verifica el tamaño de flota que dispone (y se calcula la cantidad de autobuses necesaria para la sustitución del 2,50% anual del total de la flota). En el caso que las empresas disponen de menos de 20 autobuses, se añade a la flota un único bus eléctrico. Las disposiciones legales para este caso no son claras, ya que la Ley No. 9.518 especifica que debe sustituirse un 5% de la flota bienal, pero para empresas con menos de 20 buses en su flota debe establecerse un mínimo de uno o dos unidades bienalmente.

Para definir el valor tarifario de la tecnología eléctrica, se considera el precio de 410.000 dólares para el autobús, la batería y estación de carga (lo que implica un costo final cercano a los 443.000 dólares en virtud del pago del 5% de derechos arancelarios de importación). El precio resultante bordea los 256.229.000 colones, con un tipo de cambio de 581,02 colones por dólar.

Para el autobús diésel se considera un bus interurbano con un precio tope de 74.087.835 colones, que al tipo de cambio mencionado resulta en un precio de 127.500 dólares. Este precio, aprobado por ARESEP, resulta bastante cercano al utilizado en las modelaciones de estructuras de costos y al precio promedio de los buses registrados en la flota de buses nacional que cumple con las reglas tipo 2 (fabricadas posterior al 2016).

El valor tarifario tope para la tecnología eléctrica, para efectos de la metodología aprobada, sería definido por el Ministerio de Hacienda y ARESEP, y dado que el precio del autobús puede variar, el valor tarifario autorizado puede ser distinto al acá definido. Sin embargo, el precio utilizado proporciona una aproximación bastante cercana del costo ofrecido en Costa Rica y otros países por la marca BYD para un autobús modelo K9.

Las unidades de mayor antigüedad (sin distinción de precio o tipo) son excluidas de los cálculos y se incluyen en su lugar las placas genéricas agregadas en los registros de flota nacional y flota del concesionario. De esta manera, el ejercicio permite observar la cuantía y diferencias entre los sobrecostos de un bus nuevo de cada tecnología, respecto a la operación de un bus antiguo de bajos costos. Para las empresas concesionarias con flotas más grandes se realiza un análisis con distintas cantidades de unidades, lo que hace posible una mejor flexibilidad a los resultados.

Para cada cantidad de autobuses sustituidos se calcula el porcentaje de variación en la tarifa respecto a la tarifa definida oficialmente por ARESEP. Para protección de las empresas y de la información facilitada por ARESEP, se utiliza la etiqueta de Empresa N para cada empresa concesionaria (véase el cuadro 38).

**Cuadro 38**  
**Resultados en variación de tarifas según sustitución de flota convencional por autobuses eléctricos**

Año aplicada metodología	Cantidad de buses autorizados	Edad promedio (años)	Kilometraje promedio mensual	Sustitución por ley (2,50%)	Tarifa con sustitución de buses eléctricos (En colones costarricenses y porcentajes)					Tarifa con sustitución de buses diésel (En colones costarricenses y porcentajes)					
					1 bus	2 buses	3 buses	4 buses	5 buses	1 bus	2 buses	3 buses	4 buses	5 buses	
Empresa 1	2018	17	4	3 440	1	271	291	-	-	-	255	259	-	-	-
	$\Delta\%$					8,0%	16%				1,6%	3%			
Empresa 2	2018	148	4	7 346	4	707	712	716	721	726	702	703	704	705	706
	$\Delta\%$					0,7%	1,4%	2,0%	2,7%	3%	0,0%	0,1%	0,3%	0,4%	1%
Empresa 3	2018	31	2,8	2 714	1	283	-	-	-	-	270	-	-	-	-
	$\Delta\%$					6,0%	-	-	-	-	1,1%	-	-	-	-
Empresa 3	2019	170	8,8	5 190	4	427	430	433	436	440	424	424	425	426	427
	$\Delta\%$					0,9%	2%	2,4%	3,1%	4,0%	0,2%	0,2%	0,5%	0,7%	0,9%
Empresa 4	2019	41	6,5	5 117	1	339	349	-	-	-	331	332	-	-	-
	$\Delta\%$					3,0%	6,1%	-	-	-	0,6%	0,9%	-	-	-
Empresa 6	2020	135	5	5 558	3	616	622	628	634	639	611	612	612	613	613
	$\Delta\%$					1,0%	2,0%	3,0%	3,9%	4,8%	0,2%	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%
Empresa 5	2019	21	1,5	4 126	1	322	336	-	-	-	309	311	-	-	-
	$\Delta\%$					4,5%	9,1%	-	-	-	0,3%	1,0%	-	-	-
Empresa 8	2019	75	8,5	5 935	2	858	882	-	-	-	852	854	-	-	-
	$\Delta\%$					2,0%	4,9%	-	-	-	1,3%	1,5%	-	-	-

Fuente: Elaborado por los autores.

Nota: "Sustitución por Ley" se refiere a la cantidad de buses eléctricos que la empresa debe adquirir por año.

Nótese que los aumentos de tarifa, a pesar de reflejar el mayor aumento de costos posible, son generalmente bajos o de bajo porcentaje, razón por cual, al menos en etapas iniciales de los procesos de electrificación, las tarifas a los usuarios no se verían drásticamente afectadas.

Posteriores estudios de mercado y uso del servicio de transporte público pueden ser requeridos luego de ajustes tarifarios, en el entendido que variaciones en las tarifas pueden ocasionar cambios en la cantidad de pasajeros e inducir entre otro cambio de tarifas, por lo que resultan necesarios estudios más frecuentes y exactos de la demanda y su comportamiento.

En relación con la variación de la tarifa, es importante recordar que este aumento es causado por el sobrecosto de las unidades y no considera ahorros por uso de energía eléctrica, mecanismos de internalización, ahorros de repuestos y otros rubros que constituyen beneficios comparativos de las tecnologías eléctricas respecto a las convencionales. Por esta razón, el ejercicio realizado coloca los aumentos de tarifas (para cada cantidad de buses a sustituir) en los peores escenarios posibles, dado que es posible esperar aumentos menores por parte de ARESEP a la hora de aplicar las metodologías.

En el caso de las empresas que sustituyen más de dos autobuses (dado que el número de sus flotas son mayores), se observa que cada unidad eléctrica aporta un aumento (cercano a un crecimiento lineal) que oscila entre 0,7% y 1%. Sin embargo, con los respectivos ajustes a los coeficientes y rubros a considerar en las metodologías, el aumento tarifario por cada autobús sustituido podría ser menor en virtud de la disminución de costos por uso de energía y repuestos.

Por su parte, se observa que los aumentos tarifarios ocasionados por la renovación autobuses con tecnologías eléctricas son menores. Esto es acentuado por el hecho de que en el primer año los costos relacionados con la depreciación de la flota y rentabilidad de la inversión son mayores y con mayor diferencia entre ellos.

Por lo tanto, resulta necesario ajustar los coeficientes por necesidad de energía, consideraciones de equipos adicionales, periodos para requerimientos de repuestos, depreciación de la unidad y el equipo, la contratación de nuevo personal, entre otras razones. La actualización de la metodología debe ser considerada e incluida por ARESEP según se avance en el mercado de electromovilidad del transporte público.

Los reguladores de servicio público pueden optar por aplicar tarifas diferenciadas para unidades eléctricas y diésel. Específicamente, se trataría de un proceso de fijación de tarifas para las unidades convencionales que considerara los costos sociales del consumo en diésel, y dicho costo sirviera de compensación en el cálculo tarifario de los autobuses eléctricos. Por cierto, estas tarifas también pueden verse diferenciadas aun sin consideraciones de este tipo, por ejemplo, que las tarifas cobradas en las unidades eléctricas dentro de una ruta pueden ser iguales, mayores o menores dependiendo de la demanda y/o disposiciones particulares del concesionario o de la ARESEP. La diferencia en tarifas puede ser justificada por el sobreprecio de las unidades, las comodidades adicionales a los pasajeros y los beneficios ambientales.

Sobre los avances para una metodología tarifaria con las consideraciones ya mencionadas, la ARESEP notificó recientemente que ya dispone de una metodología tarifaria para la implementación de autobuses eléctricos. Esta iba a ser publicada en auditoría pública para finales de marzo del 2020, pero debió posponerse a raíz de la pandemia desatada por el COVID-19. Por lo tanto, no será hasta cuando se realicen las adquisiciones de unidades eléctricas (según sea posible) por las empresas que ya habían revelado su interés, y se dé a conocer la actualización tarifaria por parte de la ARESEP según los precios de adquisición y consideración de energía, no se podrá conocer con certeza los impactos de unidades eléctricas en las tarifas para los usuarios.

Las colaboraciones por parte de ARESEP para fijar una tarifa preferencial y desde el ICE para brindar asistencia en la adaptación de las redes en planteles, generan nuevos gastos desde el sector público. Estos costos, para no ser absorbidos únicamente por los usuarios del servicio de transporte público (que además generalmente coincide con la población de un menor poder adquisitivo), serían reportados como gastos

en inversión y operación de las entidades públicas, por lo que serían distribuidos en las facturas de los usuarios y afiliados de las entidades mencionadas. De esta manera, los beneficios sociales se internalizarían mediante incrementos tarifarios solventados por la población en general.

Resulta relevante considerar las tasas de interés o de rentabilidad exigidas a las inversiones de capital en las metodologías tarifarias utilizadas. Actualmente las tasas de rentabilidad se fijan de acuerdo con la Tasa Activa Promedio vigente en el Sistema Financiero Nacional y el costo promedio ponderado del capital adquirido por los concesionarios. Dichas tasas, a pesar de mantener la variable según la condición respectiva en el mercado nacional, la consideración de la tasa ofrecida en el mercado para inversiones de este tipo, o tasas menores para las unidades eléctricas, pueden reducir los aumentos tarifarios por la implementación de autobuses eléctricos y estar más en línea con la rentabilidad esperada para proyectos de índole ambiental y social.

Otro aspecto relevante lo constituye la cantidad de empresas y negocios que se ven beneficiados por el flujo de personas y actividades económicas generadas dentro y cerca de los planteles y estaciones. Es sencillo observar cómo las estaciones de autobuses, mercados municipales e incluso negocios privados que sirven de paradas en rutas interurbanas, reciben gran cantidad de visitantes que junto con utilizar el servicio de transporte público, pueden demandar colateralmente otros bienes o servicios de naturaleza distinta al transporte.

En algunos casos, las empresas operadoras de transporte público recorren rutas interurbanas que son lo suficientemente largas para requerir una parada o estación entre salida y destino. En estos mismos puntos también se generan flujos de pasajeros que demandan bienes y servicios y, por tanto, ganancias adicionales para las empresas propietarias de estas unidades de negocio, vinculadas o no a las empresas operadoras de transporte público.

En el caso de que ARESEP logre llevar registro y regular las empresas concesionarias que generen ganancia de este tipo de negocios, se podría mantener consideraciones especiales a la hora de aplicar las metodologías tarifarias. Por ejemplo, a los operadores de transporte que dispongan locales en sus estaciones o realicen paradas en locales privados afiliados a las empresas, personas o personas jurídicas concesionarias, se les podría rebajar la tasa de rentabilidad sobre el capital invertido, dada la rentabilidad que obtiene de sus otros negocios que operan en condición también monopólica, pero con precios no regulados, beneficiándose de la condición de monopolio de ruta proporcionada por la concesión.

Dado que las empresas y locales que se benefician del flujo de pasajeros no están ofreciendo específicamente el servicio de transporte, logran aprovechar una externalidad. A este tipo de beneficios se les denomina externalidades pecuniarias, que se sustentan en la generación de economías de alcance (o de ámbito, según otros autores), que permite explotar una misma infraestructura para negocios diferentes. Estos beneficios se traducen, principalmente, en mayores ganancias para las empresas que aprovechan la demanda eventual de bienes y servicios que pueden surgir de las personas transportadas, y/o las ventajas comparativas por su ubicación. Esto se refleja en el crecimiento del valor de los terrenos cuando se desarrolla una mayor actividad económica alrededor y en la irrupción de oportunidades para el desarrollo de nuevos negocios, generándose espacios para publicidad o alianzas comerciales, entre otras formas de negocios.

A pesar de que muchas de estas externalidades son difíciles de cuantificar, están presentes en el mercado. Algunas empresas concesionarias, además de recibir los ingresos necesarios para suplir los costos de sus operaciones, obtienen rentas adicionales de la infraestructura complementaria a la requerida para la actividad principal. De esta manera, sobre la base del monopolio temporal de la ruta que le es cedido por la concesión, agregan actividades con el mismo carácter monopólico que son explotadas directamente o indirectamente mediante subsidiarias (abarcando prácticamente la totalidad de la oferta dentro de los planteles y paradas estratégicas), o bien, cobrando alquileres altos por esos espacios.

## G. Análisis por ingresos tarifarios en rutas de buses concesionadas según tecnología diésel o eléctrica del bus

Para un operador de autobuses las ventajas de las tecnologías eléctricas significan menores costos de operación, energía y mantenimiento. Sin embargo, como ya se observó, a pesar de existir estos ahorros operacionales, las diferencias en los montos de inversión requeridos para cada tecnología son difíciles de equiparar.

En Costa Rica el transporte público mediante autobuses se realiza a través de concesiones y bajo la regulación del servicio por una entidad estatal. Por lo tanto, no se trata de un precio libre de mercado, sino de una tarifa determinada por un ente encargado (ARESEP), el que considera la estructura de los costos y de inversión de las empresas en sus decisiones tarifarias. A la vez, el concesionario aprovecha el monopolio temporal de la ruta que se le asignó.

En secciones anteriores de este capítulo, la rentabilidad privada fue analizada haciendo uso de la metodología del TCO Incremental, con objeto de poder comparar los resultados con los obtenidos por estudios realizados anteriormente. Dicha metodología se focaliza en las variaciones registradas en la inversión y en los costos, provistas por un actor que no es un tomador de precios, esto es, un agente económico que no tiene capacidad ni posibilidad de determinar el precio. En consecuencia, si los precios varían, ello corresponde a una decisión adoptada por el ente regulador conforme a la variación de los costos de la inversión que realicen los concesionarios, la inyección de recursos adicionales, o a cambios registrados en sus costos operativos. Estas variaciones deben agregarse a la evaluación de los costos (evaluación financiera privada).

Tales variaciones (ingresos de los concesionarios), no constituyen un elemento que genere cambios en la evaluación beneficio-costos económico, ya que, al generar modificaciones en las tarifas terminan provocando un efecto redistributivo de los usuarios hacia el operador. Ese efecto redistributivo puede ser significativo debido a que los pasajeros suelen formar parte de la población con menores ingresos.

En relación con el monto tarifario de los buses y los ingresos que ARESEP —el órgano regulador— le reconoce al operador, se observa que, dentro de la metodología, la inversión en la flota genera, además de rentabilidad, ingresos por depreciación. De esta manera, dado el estándar de autobús autorizado por el CTP, el concesionario recibirá el total del valor del autobús durante el período estimado de vida útil (15 años), por depreciación, y un ingreso anual por rentabilidad según el valor tarifario acordado.

¿Cómo afectan estos ingresos la rentabilidad privada de la inversión?

Para dar respuesta a esta interrogante, se modelaron los ingresos asociados a la depreciación según los coeficientes presentados por ARESEP, los que mantienen una depreciación acelerada para los primeros 7 años, periodo que coincide con la extensión de la concesión. Para los ingresos asociados a la rentabilidad, se multiplica el precio del bus por el coeficiente de rentabilidad (que representa la proporción del valor tarifario que el bus mantiene según su edad) y se multiplica por la tasa de rentabilidad aprobada, en este caso 13,01% según la RE-0027-IT-2020, anunciada el 24 de abril del 2020.

Los resultados arrojan diferencias superiores a los 60.000 dólares para el primer año e inferiores a los 6.500 dólares para el año 15. Sin embargo, las diferencias en depreciación se reducen considerablemente hasta el séptimo año, mientras que los ingresos por rentabilidad se reducen más gradualmente.

Si se aplican estos ingresos en el escenario de valoración financiera-privada, se observa que los resultados de inversión (TCO Incremental) pasan de un VAN de -134.100 dólares a favor de las tecnologías convencionales, a un VAN de 147.300 dólares a favor de las tecnologías eléctricas. Esto se explica, principalmente, por el reconocimiento que hace la ARESEP de la depreciación anual del valor total del bus, así como de los pagos por rentabilidad del capital, dada una inversión mayor (véase el cuadro 39).

**Cuadro 39**  
**Ingresos por depreciación de la flota y rentabilidad de la inversión para concesionarios del transporte público en Costa Rica**  
*(En miles de dólares)*

Miles de dólares	Unidad	Precio/Valor	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
<b>Ingresos por depreciación</b>		Coeficientes	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
<b>Eléctricos</b>	1	419,0	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
<b>Diésel</b>	1	127,0	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
<b>Diferencial</b>			-33,4	-33,4	-33,4	-33,4	-33,4	-33,4	-33,4	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5
<b>Ingresos por Rentabilidad del Capital</b>		Coeficientes	1,000	0,886	0,771	0,657	0,543	0,429	0,314	0,200	0,178	0,156	0,133	0,111	0,089	0,067	0,044	0,022
<b>Tasa de rentabilidad</b>	13,01%																	
<b>Eléctricos</b>	1	419,0	54,5	48,3	42,1	35,8	29,6	23,4	17,1	10,9	9,7	8,5	7,3	6,1	4,8	3,6	2,4	1,2
<b>Diésel</b>	1	127,0	16,5	14,6	12,7	10,9	9,0	7,1	5,2	3,3	2,9	2,6	2,2	1,8	1,5	1,1	0,7	0,4
<b>Diferencial</b>			38,0	33,6	29,3	25,0	20,6	16,3	11,9	7,6	6,8	5,9	5,1	4,2	3,4	2,5	1,7	0,8
<b>Diferencias en ingresos</b>			71,4	67,0	62,7	58,3	54,0	49,7	45,3	14,1	13,2	12,4	11,6	10,7	9,9	9,0	8,2	7,3

Fuente: Elaborado por los autores según metodologías tarifarias brindadas por ARESEP. Tasa de rentabilidad del 13,01%.

Este aumento significativo en el VAN refleja que los concesionarios, al brindar un servicio regulado a costo, aseguran la recuperación de la inversión en 15 años, al margen de la certeza acerca de la rentabilidad inherente a la electrificación de la flota de autobuses. Por otra parte, los aumentos en los ingresos de los concesionarios provienen de aumentos en las tarifas cobradas a los usuarios, por lo que resalta relevante poder reflejar los beneficios y ahorros de las tecnologías eléctricas en la tarifa cobrada al pasajero.

Este último punto resulta importante de resaltar, porque en un escenario en el que el cálculo de la tarifa por parte del regulador no incluye los beneficios operacionales de los autobuses eléctricos, o los mecanismos de internalización que consideren las emisiones evitadas por las tecnologías limpias, o las externalidades pecuniarias y otras características relacionadas al monopolio de concesión, aquella, la tarifa, será necesariamente más alta a fin de obtener la tasa de rentabilidad acordada en el proceso licitatorio de la concesión. Así, es imprescindible que la ARESEP incluya los ahorros operacionales consignados, lo cual compensaría parcialmente los incrementos tarifarios y la rentabilidad del concesionario. Finalmente, el cambio tarifario neto depende del efecto neto de ambos componentes que ARESEP defina (el aumento en los ingresos del concesionario y los ahorros en costos).

Bajo el esquema de regulación ofrecido por ARESEP, y de la mano al Art.28 ofrecido por la Ley No. 9518 que condiciona el avance de la electrificación a la viabilidad financiera y técnica, se observa que, dada la viabilidad técnica de la ruta, los ingresos otorgados por operación, rentabilidad y depreciación que determinan dicha viabilidad financiera, están supeditados a las metodologías tarifarias de la ARESEP. A su vez, el impacto distributivo sobre los usuarios dependerá del uso y aplicación de políticas de internalización de externalidad ambientales positivas, así como del reconocimiento por parte de la ARESEP de ingresos por externalidades pecuniarias asociados a la concesión, los cuáles no son necesariamente reportados por los operadores.

Dados los porcentajes de retribución por depreciación y rentabilidad, el periodo de recuperación de la inversión del bus se encuentra generalmente entre los 4 y 6 años, estos ingresos permiten recuperar entre un 173% - 113% de la inversión al final de los 15 años, con tasas de descuento entre 0% - 13,01% respectivamente (véase el anexo 11). Sin embargo, los cálculos de costos relacionados a depreciación y rentabilidad asumen la correcta actualización del valor tarifario del bus, lo cual no sucede tan seguidamente.

Durante las conversaciones con participantes del sector se comentó que no es obligatoria la adaptación de tarifas de manera anual, y esto permitía a los concesionarios solicitar una actualización de las tarifas cuando realizaban una renovación de flota, y permanecer con esa tarifa durante cierto tiempo. Con una flota nueva, los costos iniciales por depreciación y rentabilidad son mayores (dado su mayor valor residual y mayores porcentajes de depreciación), y el concesionario puede aprovechar este escenario para no solicitar actualizaciones tarifarias durante un tiempo y percibir de dichos mayores ingresos.

Además, ha sido considerado por parte de ARESEP aplicar una depreciación lineal a las flotas de buses —es decir, el mismo porcentaje de depreciación para los 15 años de vida útil del autobús—; este método de depreciación podría presentar un desincentivo para la adquisición de buses nuevos al iniciar los periodos de concesión (ya que son de 7 años, y la metodología de depreciación actual retribuye el 80% del valor del bus durante esos años), pero también puede mejorar al usuario, ya que reduce los aumentos tarifarios por adquisición de unidades y es menos susceptible a brindar mayores ingresos gracias a actualizaciones tardías.

La modelación de estos dos escenarios —depreciación lineal y actualización tardía de la tarifa— generan diferencias en los ingresos anuales percibidos por los concesionarios, y, por ende, sobre el periodo de recuperación y valores actuales netos de dichos ingresos. Las modelaciones y detalles respectivos son desarrollados en el anexo 11 de este documento.

### **III. Análisis de dinámica económica y encadenamiento productivo del servicio de transporte colectivo de pasajeros en Costa Rica**

Este apartado se enfoca en realizar un análisis del grado de encadenamiento e influencia a nivel macroeconómico que tiene el servicio de transporte colectivo de pasajeros dentro de la economía en general. Toma en cuenta elementos como destino del servicio, sea este consumo intermedio (insumo para la producción de otros bienes y servicio) o consumo final.

#### **A. Encadenamientos de la economía con base en la MIP 2017**

Es importante hacer la salvedad que los resultados acá presentes son preliminares, debido a que recientemente el Banco Central de Costa Rica (BCCR) se encuentra en las últimas etapas para la publicación de la MIP 2017, por lo que el instrumento acá empleado requiere de un ajuste o empalme de los valores de producción publicados. Por lo que al ser la presente estructura la versión más reciente productiva del país, se acoge su utilización bajo la anterior salvedad.

La MIP toma en cuenta un total de 184 productos distribuidos entre 144 actividades económicas. Los resultados del análisis de encadenamientos directos utilizan la matriz A de coeficientes técnicos para el caso de encadenamientos hacia atrás y la matriz D de coeficientes directos de producción para los coeficientes directos hacia adelante, como se describe en el anexo 10.

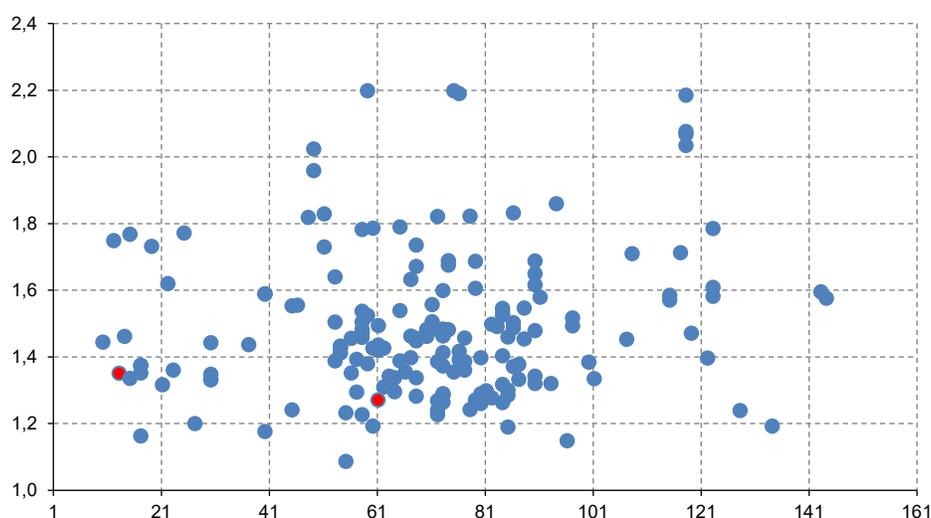
Para el caso de encadenamientos totales, se hace uso de las matrices B (matriz de Leontief) para los encadenamientos hacia atrás y la G (matriz de Gosh) para los encadenamientos totales hacia adelante.

Se identifica como los tres principales productos con mayores encadenamientos hacia tras, los servicios de alojamiento, alimentos y bebidas, y servicios de enseñanza, respectivamente. A nivel de compras directas que se generarían por aumento de las demandas finales, los productos que generará un mayor valor en términos de compras hacia otros productos serán (véase el gráfico 24):

- Café oro: por cada CRC de aumento de demanda final de dicho bien, se comprará 0,74 CRC de otros productos y servicios considerados como insumos,
- Azúcar de caña, melazas, jarabes y otros azúcares: 0,69 CRC por aumento de un CRC de demanda final, y
- Carne y despojos comestibles de ganado porcino: 0,67 CRC por aumento de un CRC de demanda final.

En el caso del servicio NP126 "Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis" el cual incluye como subproducto el transporte concesionado de pasajeros. Este posee un bajo encadenamiento hacia atrás en el orden de 0,19, con un total de 62 vínculos con otros bienes y servicios de la economía.

**Gráfico 24**  
Costa Rica: cantidad y nivel de encadenamientos directos hacia atrás, 2017



Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

Durante el año 2017 las importaciones totales destinadas como insumos para la oferta del servicio NP0126 ascendieron a 64.209 millones de CRC, y a nivel de productos, el diésel representó un 74% sobre dicho monto de importaciones, seguido por partes y piezas de vehículos automotores (8%) y productos de caucho (4%), como los principales (véase el gráfico 24).

**Cuadro 40**  
Costa Rica: importaciones destinadas como insumos para el servicio NP0126 "Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis" según producto, en millones de CRC, absoluto y relativo, 2017

NPCR	Producto	Absoluto	Porcentaje
NP075	Diésel	47 574	74
NP104	Partes y piezas para vehículos automotores	4 924	8
NP085	Productos de caucho	2 576	4
NP077	Aceites y grasas lubricantes	2 062	3
NP074	Gasolina	1 679	3
NP136	Servicios de alojamiento	1 445	2
Total		64 209	94

Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

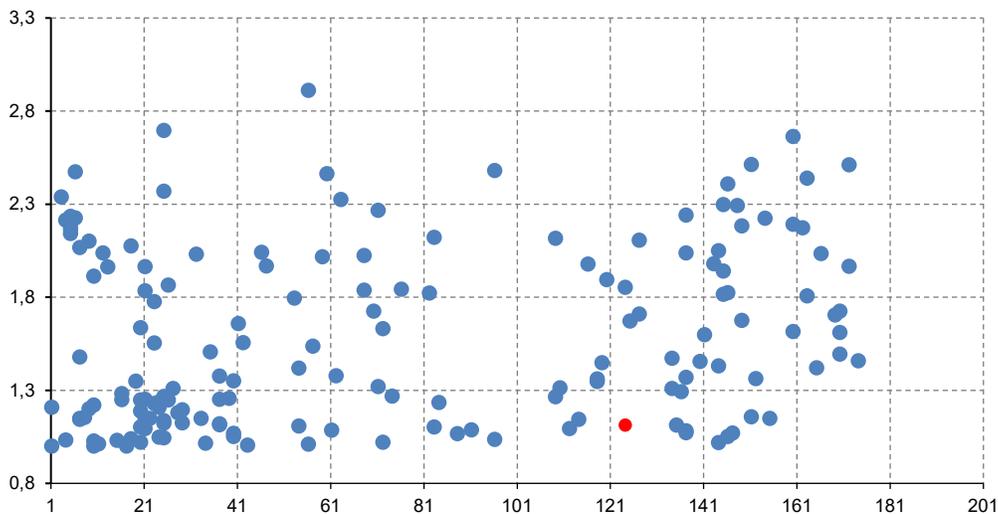
Al sumar los usos de productos usados por el servicio NP0126, estos ascienden a 172.028 millones de CRC. Donde el 63% corresponde a usos de origen nacional y 37% de origen importado.

A nivel de encadenamiento hacia adelante, destacan como los principales productos mayormente encadenados hacia adelante y con mayor cantidad de vínculos (véase el gráfico 25):

- Servicios de agencias de empleo, con un total de 96 encadenamientos,
- Servicios de apoyo a la agricultura, la ganadería y actividades postcosecha, con 56 encadenamientos hacia adelante,
- Servicios de protección del medio ambiente, con 12 encadenamientos hacia adelante.

Los encadenamientos hacia adelante hacen alusión al poder que tiene el producto de empujar a otros productos y generar más oferta, motivada por el estímulo de la demanda. Los mencionados servicios se caracterizan por poseer un nivel de encadenamiento igual a uno, que significa que, por cada CRC de incremento de la demanda final de dichos servicios, se genera ventas para otros sectores en la misma magnitud de forma directa.

**Gráfico 25**  
Costa Rica: cantidad y nivel de encadenamientos directos hacia adelante, 2017

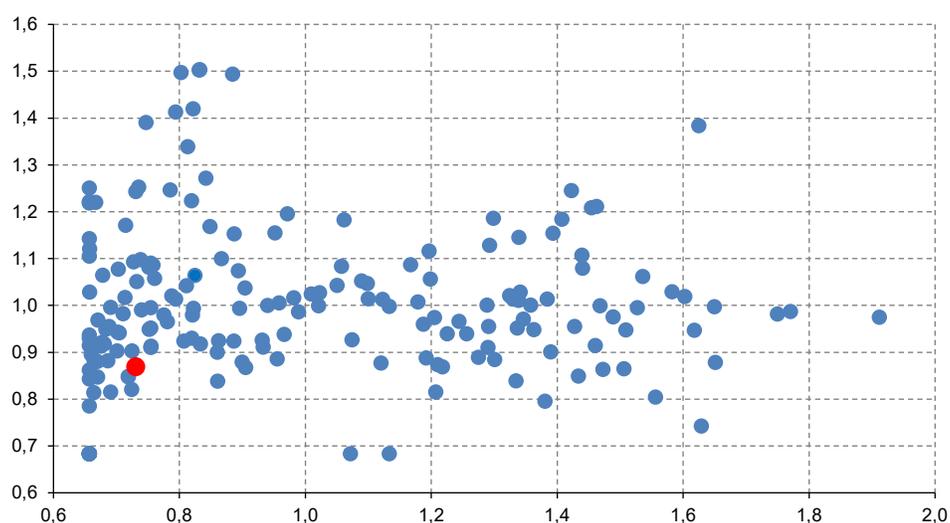


Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

En el caso particular del producto NP0126, el encadenamiento hacia adelante muestra un multiplicador de 0,08, el cual es considerado como bajo, pero una importante cantidad de vínculos (124) (véase el gráfico 26).

Para comprender una forma más completa las magnitudes del efecto multiplicador de los diferentes encadenamientos, el gráfico 26 expresa el nivel de encadenamientos totales tanto hacia adelante como hacia atrás. Estos indicadores se calculan a partir de la suma vertical de la matriz L (Leontief) y horizontal de la matriz G (Gosh), respectivamente (véase el anexo 10).

**Gráfico 26**  
**Costa Rica: encadenamientos totales absolutos hacia adelante y hacia atrás, 2017**



Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

A nivel de multiplicador total, los sectores y productos con mayor poder de empuje como arrastre son:

- Carne y despojos comestibles de aves: con un encadenamiento total hacia atrás de 2,20 y un encadenamiento total hacia adelante de 1,27.
- Café molido, soluble, extractos y concentrados: con un encadenamiento total hacia atrás de 2,20 y un encadenamiento total hacia adelante de 1,27.
- Café oro: con un encadenamiento total hacia atrás de 2,19 y un encadenamiento total hacia adelante de 1,22.
- Los productos de alto nivel de empuje (encadenamientos absolutos hacia adelante) son:
- Servicios de apoyo a la agricultura, la ganadería y actividades postcosecha: con un encadenamiento total absoluto hacia adelante de 2,91 y un encadenamiento absoluto hacia atrás de 1,43.
- Maíz: con un encadenamiento total absoluto hacia adelante de 2,70 y un encadenamiento absoluto hacia atrás de 1,44.
- Servicios de contabilidad, consultoría fiscal y otros: con un encadenamiento total absoluto hacia adelante de 2,66 y un encadenamiento absoluto hacia atrás de 1,44.

Estos multiplicadores totales muestran el efecto magnificado de los vínculos totales tanto adelante como hacia atrás de cada producto, y su efecto a nivel de toda la economía ante un incremento de un CRC en la demanda final. En el caso particular del producto NP126 se identifica que el encadenamiento total absoluto hacia atrás es de 1,27, el cual se interpreta como ante un aumento de un CRC en la demanda de dicho servicio, se generan compras tanto directas como indirecta de otros productos por un valor total de 1,27 CRC. El encadenamiento total hacia adelante para este mismo servicio es de 1,11 lo que significa que ante un aumento de un CRC en la demanda de final de este, se generan ventas (tanto directas como indirectas) de otros productos en la economía por un monto de 1,11 CRC (véase el gráfico 26).

Frecuentemente se busca relacionar los valores obtenidos (incrementos) con los valores iniciales y para ello se "normaliza" los multiplicadores. Para lograr una normalización de los encadenamientos, se estila dividir cada uno de los valores por el promedio de los mismos. La normalización permite realizar una clasificación a nivel de cuadrantes (véase el cuadro 41).

**Cuadro 41**  
**Clasificación de encadenamientos normalizados hacia adelante y hacia atrás**

		Encadenamientos hacia adelante			
		Bajo (< 1)		Alto (> 1)	
Encadenamiento hacia atrás	Alto (> 1)	III	Dependiente de la oferta intersectorial	IV	Sector dependiente
	Bajo (< 1)	I	Sector independiente	II	Dependiente de la demanda intersectorial

Fuente: Tomado de Frabris (2015).

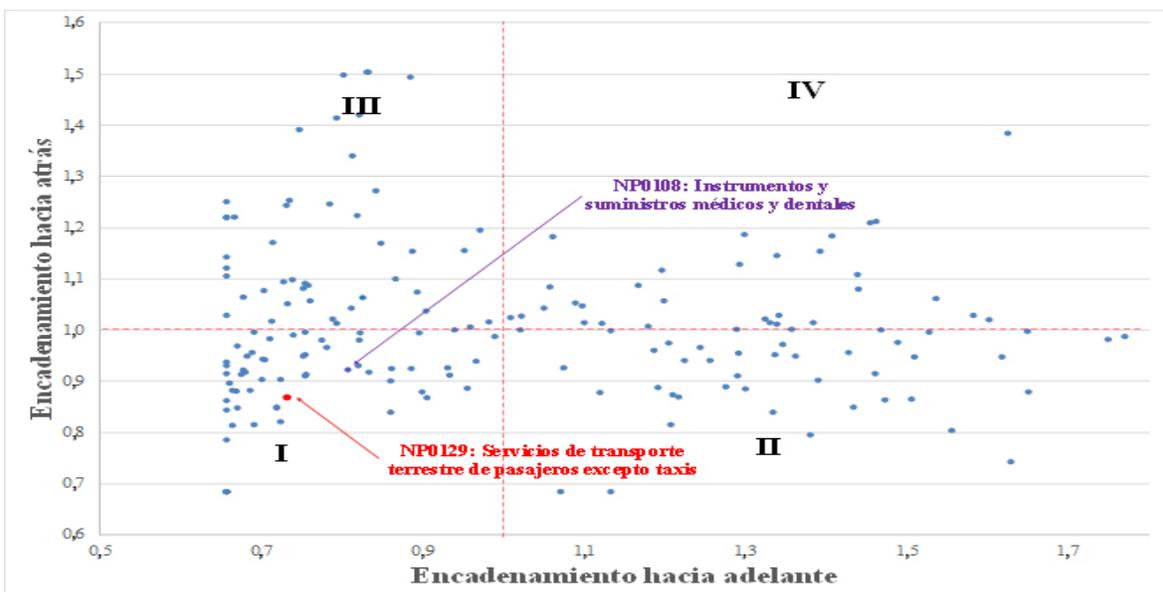
Se identifica los productos independientes (I), los cuales tienen bajos encadenamientos de ambos tipos, por lo que no impulsarán con su crecimiento a otros productos de la economía a través de demanda de insumos, ni son necesarios para proveer insumos a otros sectores que estén creciendo.

Los productos dependientes de la demanda (II), poseen bajos encadenamientos hacia atrás y altos encadenamientos hacia adelante, tampoco generarán demanda de insumos de otros productos al expandirse, pero si son necesarios para proveer insumos a otros productos que estén creciendo.

Los productos dependientes de la oferta (III) poseen altos encadenamientos hacia atrás y bajos encadenamientos hacia adelante, impulsan con su crecimiento a otros productos por el incremento de la demanda de insumos, aunque como en el caso del primer grupo no son necesarios para proveer insumos a otros productos que estén creciendo.

Los encadenamientos totales normalizados tanto hacia adelante como hacia atrás del NP0126, este se ubica en el cuadrante I, considerándose un producto independiente de bajos encadenamientos tanto hacia adelante como hacia atrás. Además, de forma ilustrativa, en este mismo cuadrante se ubica el producto como el NP0108 "Instrumentos y suministros médicos dentales" producto que a nivel de valor de exportaciones es el más importante en la economía costarricense en el año 2017, pero no precisamente tiene un alto encadenamiento dentro de la economía (véase el gráfico 27).

**Gráfico 27**  
**Costa Rica: encadenamientos totales normalizados hacia adelante y atrás por producto, 2017**



Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

Hay que considerar que los encadenamientos normalizados son una medida del estímulo promedio de un sector o producto  $j$  hacia el resto, generando de un incremento unitario de la demanda final. La desventaja de este indicador es que no da información sobre cómo los impactos se dispersan sobre toda la economía, más allá de comparaciones promedio, y supone que los impactos se dispersan uniformemente a través de ella.

Al utilizar la tipología sectorial de Chenery & Watanabe (véase el cuadro 42), el servicio NP0126 se clasifica como de no manufactura y destino final, es decir, se encuentra mayormente vinculado a un componente de importaciones más que de consumo de insumos nacionales. Además, su principal destino es la atención de demanda final de hogares más que servir como insumo a otros productos.

**Cuadro 42**  
**Costa Rica: clasificación de productos según tipología de Chenery & Watanabe, 2017**

Producto	Bien o servicio	Clasificación
NP001	Frijol	No manufacturera/destino final
NP006	Arroz	Manufacturera/destino intermedio
NP020	Café en fruta	Manufacturera/destino intermedio
NP028	Ganado bovino	Manufacturera/destino intermedio
NP029	Ganado porcino	Manufacturera/destino intermedio
NP030	Pollo en pie	Manufacturera/destino intermedio
NP058	Café oro	Manufacturera/destino final
NP064	Cerveza, malta, bebidas no alcohólicas y agua embotellada	Manufacturera/destino final
NP074	Gasolina	No manufacturera/destino final
NP075	Diesel	No manufacturera/destino final
NP085	Productos de caucho	No manufacturera/destino final
NP089	Cemento, cal y yeso	No manufacturera/destino intermedio
NP099	Pilas, baterías, acumuladores, cables y dispositivos de cableado	No manufacturera/destino final
NP102	Motores, generadores, transformadores y otro equipo eléctrico	No manufacturera/destino final
NP113	Energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	No manufacturera/destino intermedio
NP114	Agua potable	Manufacturera/destino intermedio
NP117	Servicios de protección del medio ambiente	Manufacturera/destino intermedio
NP123	Servicios de comercio	Manufacturera/destino final
NP124	Mantenimiento y reparación de vehículos automotores	No manufacturera/destino intermedio
NP126	Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis	No manufacturera/destino final
NP128	Transporte de carga	Manufacturera/destino intermedio
NP144	Servicios de intermediación financiera medidos indirectamente (SIFMI)	Manufacturera/destino final
NP151	Servicios jurídicos	No manufacturera/destino intermedio
NP152	Servicios de contabilidad, consultoría fiscal y otros	No manufacturera/destino intermedio
NP161	Servicios de alquiler de maquinaria y equipo	No manufacturera/destino intermedio
NP168	Servicios públicos generales del gobierno	No manufacturera/destino final

Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

El servicio NP0126, se ubica en el cuadrante de manufactura y destino final, considerándose de bajo arrastre, ya que las magnitudes de los encadenamientos nacionales son más débiles que el componente importado para su producción, por lo que se considera de bajo poder de empuje, ya que se producción es destinada principalmente al consumo final de los hogares, más que a servir de venta a forma de insumo a otros productos (véase el cuadro 43).

**Cuadro 43**  
**Tipología sectorial según multiplicadores directos de Chenery & Watanabe**

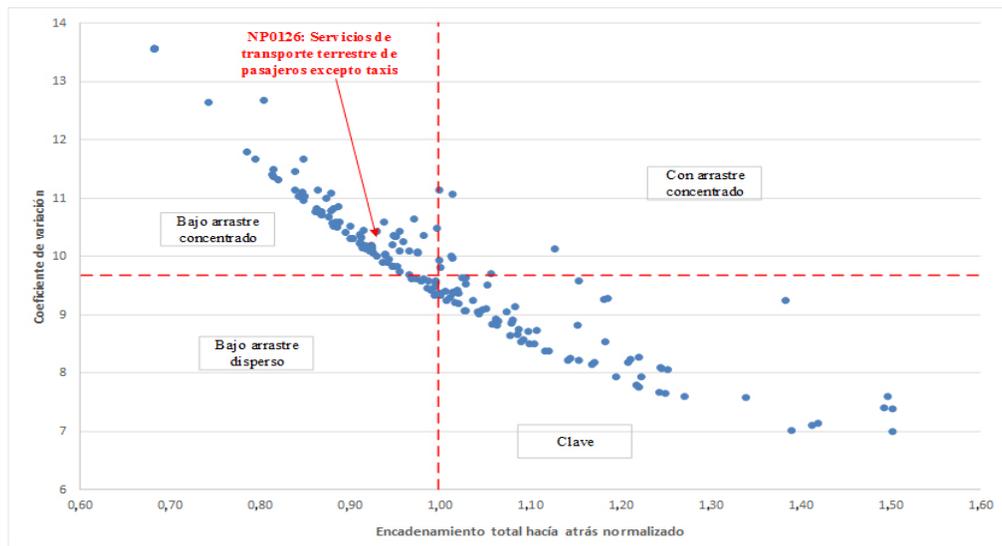
		Encadenamientos directos hacia adelante	
		$DBL_j < \sum_{j=1}^n \frac{DBL_j}{n}$	$DBL_j \geq \sum_{j=1}^n \frac{DBL_j}{n}$
Encadenamientos directos hacia adelante	$DFL_i < \sum_{i=1}^n \frac{DFL_i}{n}$	Bajo poder de arrastres Bajo poder de empuje	Alto poder de arrastres Bajo poder de empuje
	$DFL_i \geq \sum_{i=1}^n \frac{DFL_i}{n}$	Bajo poder de arrastres Alto poder de empuje	Alto poder de arrastres Alto poder de empuje

Fuente: Tomado de Schuschny, A. CEPAL (2005).

En este sentido, si se presentase una política de estímulo al consumo final, se generará pocos efectos en términos de demandas de insumos internos (consumo intermedio).

Para complementar este análisis, en los gráficos 28 y 29 se presentan los resultados de aplicar la metodología de Rasmussen, P. N. (1963) para la identificación de sectores o productos clave.

**Gráfico 28**  
**Costa Rica: clasificación tipo A de productos según encadenamiento total hacia atrás y grado de dispersión, 2017**

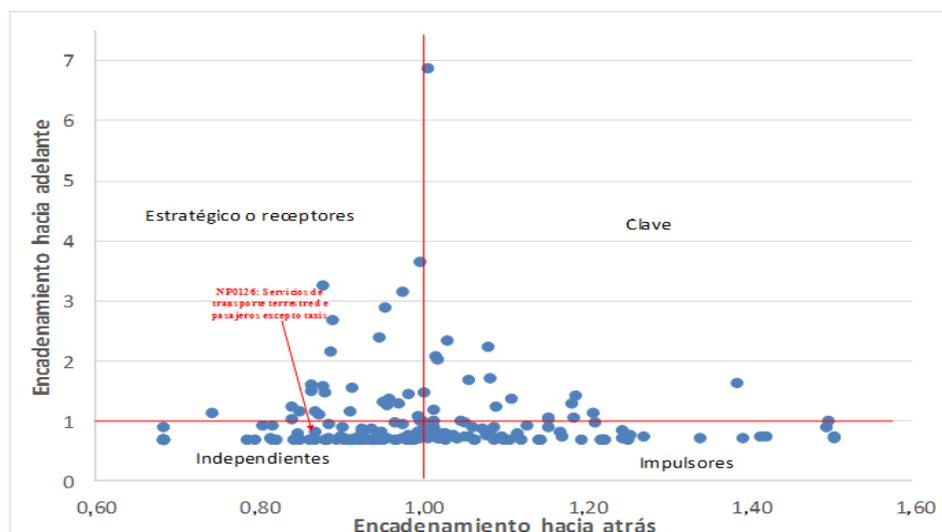


Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

Como corolario de esta estimación, se identifica que el coeficiente de variación promedio es de 9,84, valor por encima del promedio que evidencia como el producto j compra insumos de unos pocos sectores de la economía. En el caso particular del servicio NP0126, este se clasifica como una actividad de bajo arrastre concentrado, es decir se encuentra pobremente encadenado hacia atrás.

Al utilizar la tipología B (véase el gráfico 29) se considera como productos clave aquellos con altos encadenamientos hacia atrás y adelante pues al ser fuertes demandantes y oferentes son sectores de paso obligado de los flujos intersectoriales. Para el caso específico del servicio NP0126 este es considerado como un sector independiente, los que corrobora los estimados expuestos en los anteriores indicadores.

**Gráfico 29**  
**Costa Rica: clasificación tipo B de productos según encadenamiento total hacia atrás y hacia adelante, 2017**



Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

El cuadro 44 consolida los resultados para el caso de productos clave, empleando la clasificación según la tipología A y B, donde se deduce que en caso de querer el país reactivar su economía debe formular políticas de estímulo orientadas a las demandas finales del dicho grupo de productos, que generarán un efecto multiplicador de compras de productos utilizados como insumos (encadenamiento hacia atrás) como ventas de productos (encadenamiento hacia adelante).

**Cuadro 44**  
**Costa Rica: productos clave según tipo de clasificación, 2017**

NPCR	Producto	Tipo A	Tipo B
NP013	Caña de azúcar	Producto clave	Producto clave
NP020	Café en fruta	Producto clave	Producto clave
NP028	Ganado bovino	Producto clave	Producto clave
NP029	Ganado porcino	Producto clave	Producto clave
NP030	Pollo en pie	Producto clave	Producto clave
NP058	Café oro	Producto clave	Producto clave
NP090	Artículos de hormigón, cemento y yeso y otros productos minerales no metálicos n.c.p.	Producto clave	Producto clave
NP111	Servicios de reparación e instalación de maquinaria y equipo	Producto clave	Producto clave
NP116	Servicios de recogida, tratamiento y eliminación de desechos; recuperación de materiales	Producto clave	Producto clave
NP122	Servicios especializados de la construcción	Producto clave	Producto clave
NP123	Servicios de Comercio	Producto clave	Producto clave
NP133	Carga, descarga y otros servicios vinculados al transporte	Producto clave	Producto clave
NP134	Otros servicios de apoyo al transporte	Producto clave	Producto clave
NP137	Servicio de suministro de comida y bebidas	Producto clave	Producto clave
NP139	Servicios de telefonía e internet	Producto clave	Producto clave
NP144	Servicios de intermediación financiera medidos indirectamente (SIFMI)	Producto clave	Producto clave
NP145	Otros servicios financieros y de banca de inversión	Producto clave	Producto clave
NP146	Servicios de seguros, reaseguros y fondos de pensiones	Producto clave	Producto clave
NP156	Servicios de publicidad, provisión de espacios de publicidad y estudios de mercado	Producto clave	Producto clave

Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

Debido a que este trabajo hace un especial énfasis en el producto NP0126, se extiende su análisis al hacer uso del modelo cerrado de Leontief para incorporar el factor empleo. Dicho modelo se estructura de dos maneras. La primera toma en cuenta el salario devengado por los trabajadores, el cual se supone, que es el principal medio de recursos que complementa los ingresos de los hogares. El segundo utiliza la cantidad de personal empleado en cada una de los productos.

El multiplicador simple de empleo para el caso del modelo cerrado que evalúa la remuneración salarial, es más alta que el caso del modelo que toma en cuenta la contratación de trabajadores. Debido a las características del tipo de personal requerido para el ofrecimiento del servicio de transporte de pasajeros, que por lo general tiende a ser semi-calificado (véase el cuadro 45).

**Cuadro 45**  
**Costa Rica: resumen de encadenamientos según tipo de modelo para el servicio NP126**  
**(Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis), indicador/modelo, 2017**

		Abierto	Cerrado W	Cerrado L
Encadenamientos hacia atrás	Directos absolutos	0,19	0,27	0,22
	Directos normalizados	0,61	0,52	0,58
	Cantidad	62,00	62,00	62,00
	Totales absolutos	1,27	1,55	1,46
	Totales normalizados	0,87	0,75	0,81
Encadenamientos hacia adelante	Directos absolutos	0,08		
	Directos normalizados	0,21		
	Cantidad	124,00	No aplica	No aplica
	Totales absolutos	1,11		
	Totales normalizados	0,73		
Multiplicador simple de empleo			0,140	0,040
Requerimientos de trabajo directos		NA	0,076	0,025
Multiplicadores totales de empleo			0,190	0,046

Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

Lo que permite deducir que, ante un incremento en la demanda final por el servicio NP0126, es más susceptible un incremento en la remuneración salarial que un incremento en las plazas de trabajo. Esto fundamentado en que un trabajador con las características deseadas para el puesto, requiere una experiencia considerable en años de conducción, así como los permisos y habilidades para el manejo de unidades de transporte de personas. Además, el mercado local no puede responder con la misma velocidad ante el incremento de la demanda del servicio, por lo que el empresario incentiva el factor a producir más a través del pago adicional de horas extras de conducción.

Adicionalmente para contextualizar la importancia relativa de este sector dentro de la economía costarricense, el cuadro 46 resume la estructura de empleo y remuneración de dicha actividad. De donde se identifica que este sector en el año 2017 contrató a aproximadamente 13.817 personas, representando a nivel de contratación global de la economía costarricense un 0,6%.

Sobre este total de puestos de trabajo, aproximadamente el 50% corresponde a asalariados, 31% a trabajadores de cuenta propia, 9,4% a otros trabajadores no remunerados, 7% a empresarios y patronos y 0,3% a personal de otros establecimientos.

**Cuadro 46**  
**Costa Rica: característica de empleo en el servicio NP0126, precios de 2017**

Tipo de ocupación	Absoluto	Relativo (en porcentajes)
Personal ocupado	13 863	100,0
Asalariados	6 955	50,2
Cuenta propia	4 398	31,7
Empresarios, empleadores, patronos	985	7,1
Trabajadores familiares no remunerados	176	1,3
Otros trabajadores no remunerados	1 303	9,4
Personal de otros establecimientos (services)	46	0,3
Remuneración de asalariados en millones de CRC	42 388	
Salario promedio anual (en CRC)	6 094 604	
Salario promedio mensual (en CRC)	507 884	
Total de personas ocupadas en la economía	2 256 912	
Salario promedio anual de la economía (en CRC)	6 744 546	
Salario promedio mensual de la economía (en CRC)	562 045	
Participación relativa del empleo del servicio NP126 sobre la economía total		0,61

Fuente: Elaborado por autores a partir de BCCR (2020).

Debido a que la secuencia de cuentas no hace una distinción entre el salario devengado por tipo de puesto, se estimó una remuneración promedio global para las personas contratadas en este sector que es de poco más de 562.000 CRC mensuales (véase el cuadro 46).

Bajo esta misma línea, se consultó si el sistema de cuentas nacionales como información de otras fuentes permite imputar la participación femenina en este sector. Encontrándose que no existen registros que permitan hacer una aproximación al año base 2017 de este componente.

### **1. Micro simulación ante la sustitución tecnológica del servicio NP0126**

Como se ha señalado en la sección VI, el planteamiento del proyecto de incorporación de la tecnología de transporte colectivo de pasajeros utilizando energía eléctrica como insumo provocará un cambio en la estructura productiva del servicio NP0126, en los componentes de adquisición de unidades y una sustitución de combustibles fósiles (diésel) por electricidad.

Entre los supuestos considerados para la realización del ejercicio de micro simulación (véase el cuadro 47), se encuentran factores de eficiencia que fueron obtenidos del estudio financiero y la estimación de cantidad de unidades de autobuses a sustituir proceden según lo dictado en la Ley 9518 "Incentivos y promoción para el transporte eléctrico", que establece una sustitución del 5% del parque vehicular de transporte público colectivo de pasajeros (Art. 28), y al utilizar las estadísticas de la ARESEP, se logra estimar la cantidad de autobuses a sustituir.

Se asume un tipo de cambio de 564,1 CRC por dólar que permite obtener el monto en CRC (colones costarricenses) por concepto de la adquisición de unidades de transporte eléctrico, cuyo valor incorpora los diferentes pagos tributarios realizados a la autoridad hacendaria, como el pago de seguros, transporte, servicios de nacionalización de carga y trámites legales de traspaso del bien.

**Cuadro 47**  
**Supuestos establecidos para la micro simulación con cambio tecnológico en el servicio NP0126**

Supuesto	Valor
TC (CRC/USD):	607,0
Valor promedio unidades (USD)	410 000
Cantidad de unidades a renovar (2021)	43
Valor total (USD)	17 541 415
Valor total (millones de CRC)	10 648
Kilometraje promedio a recorrer anualmente:	50 000
Factor de eficiencia diesel (l/km):	0,47
Variación consumo diésel (l):	(1 005 423)
Precio promedio diésel (CRC)	537
Valor (millones de CRC):	(540)
Factor de eficiencia electricidad (kWh/km):	1,3
Variación consumo electricidad (kWh):	2 780 956
Tarifa propuesta por ARESEP (CRC/kWh) para servicio de autobuses eléctricos:	60
Valor (millones de CRC):	168

Fuente: Elaborado por los autores, a partir de información de ARESEP (2019), RECOPE (2020), La Gaceta (2020).

Se asume que no habrá un cambio en la estructura de empleo con la realización de este cambio tecnológico, y que como se constató en las diferentes entrevistas realizadas, tanto los proveedores de unidades como el propio Gobierno de la República facilitarán los medios para que los choferes actuales sean capacitados desarrollen habilidades en el manejo de las nuevas unidades.

El tratamiento en el Sistema de Cuentas Nacionales para cada una de las partidas mencionadas básicamente parte de un empalme de la estructura de productiva establecida en 2017 y proyectada al año 2021, valor de la producción nacional que a la fecha el BCCR establece como oficial. Obtenida esta estructura a nuevos precios, se identificó cada uno de los productos en los que habrá una variación positiva, estos son: NP0113 "energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado" en la matriz de usos nacionales y el producto NP0103 "vehículos automotores, carrocerías, remolques y semirremolques" en la matriz de usos importados. Para el caso de las variaciones negativas, solamente se identifica el producto NP075 (diésel) en la matriz de usos importados.

Se identifica que, ante el cambio tecnológico propuesto y siguiendo los dictámenes de la Ley 9518, Costa Rica en el 2021, presentará un aumento en el encadenamiento tanto directo como total que este servicio tiene en la economía, experimentando una variación del encadenamiento directo absoluto en 0,14% y 0,03% en el encadenamiento total hacia atrás. Manteniéndose además la cantidad de vínculos con otros productos (véase el cuadro 48).

En el caso de los encadenamientos hacia adelante, no se identifica una variación, ya que no se cuenta con información o estudios que permitan aproximar a nivel de población un aumento o disminución en la preferencia por el consumo de este servicio tras el cambio tecnológico.

**Cuadro 48**  
**Costa Rica: resumen de resultados estimados de encadenamientos sin y con incorporación**  
**de tecnología de autobuses eléctricos en el servicio NP0126, 2021**

Escenario	Encadenamientos hacia adelante					Cantidad de encadenamientos
	Directos absolutos	Totales absolutos	Directos normalizados	Totales normalizados		
	fd	ft	fdn	ftn		
Sin incorporación	0,08	1,11	0,21	0,73		124
Con incorporación	0,08	1,11	0,21	0,73		124
Variación	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		0,00%
Escenario	Encadenamientos hacia atrás					Cantidad de encadenamientos
	Directos absolutos	Totales absolutos	Directos normalizados	Totales normalizados		
	bd	bt	bdn	btn		
Sin incorporación	0,1928	1,270	0,609	0,869		61
Con incorporación	0,1930	1,271	0,612	0,870		61
Variación	0,14%	0,03%	0,50%	0,14%		0,00%

Fuente: Elaborado por autores a partir BCCR (2020).

A nivel de principales cuentas nacionales de referencia, ante este cambio tecnológico se generará una reducción del valor agregado del servicio NP0126 en una magnitud del 2,7%, así como una reducción del PIB del servicio en 2,5%, el valor de sus importaciones crecerá en 14,6% y el total de usos nacionales crecerá en 0,1% (véase el cuadro 49).

**Cuadro 49**  
**Proyección de indicadores globales sin y con incorporación de tecnología de autobuses eléctricos**  
**en el servicio NP0126, absolutos y relativos, 2021**

Escenario	Valor agregado	PIB	Importaciones	Total de usos de origen nacional	
Sin incorporación	379 422	418 437	69 366	116 478	
Con incorporación	369 146	408 161	79 474	116 646	
Variación	Absoluta	-10 276	-10 276	10 108	168
	Porcentual	-2,7%	-2,5%	14,6%	0,1%

Fuente: Elaborado por autores a partir BCCR (2020).

El actual planteamiento del proyecto de incorporación de autobuses eléctricos llevará a que la economía costarricense experimente un leve aumento en el uso de recursos nacionales, a costa de una pérdida valor en producción y aumento de importaciones. De forma global llevará a un deterioro de la balanza comercial en 0,1% tras el incremento de las importaciones, que girarán en el orden aproximado de los 10.108 millones de CRC (véase el cuadro 50).

**Cuadro 50**  
**Costa Rica, variación de importaciones con y sin incorporación de cambio tecnológico**  
**en el servicio NP0126, en millones de CRC, absoluto y relativo, 2021**

Importaciones totales		
Sin incorporación	11 909 692	
Con incorporación	11 919 800	
Variación	Absoluta	10 108
	Porcentual	0,1%

Fuente: Elaborado por autores a partir BCCR (2020).

Como se indicó anteriormente, ante la incorporación del cambio tecnológico no se generará nuevos empleos, se encarece el costo de las importaciones, se perderá valor agregado dentro del servicio a costo de un leve aumento en el encadenamiento hacia atrás, orientado principalmente al consumo de electricidad.

## 2. Comparación de productos según tipo de régimen de producción

Debido a que Costa Rica exporta una amplia cantidad de bienes y servicios, este análisis se enfoca en aquellos productos que representaron aproximadamente el 59% de las exportaciones entre el período de enero de 2012 a marzo de 2020. Este porcentaje se concentra en ocho productos, siendo instrumentos y suministros médicos y dentales el de mayor representación (22%), banano y piña (con aproximadamente 9% cada uno), comidas y platos preparados u otros productos alimenticios, y frutas legumbres y hortalizas en conserva (con 5% cada uno), café oro (4%), productos de plástico (3%) y productos farmacéuticos y medicinales (2%) (véase el cuadro 51).

**Cuadro 51**  
**Costa Rica: principales productos de exportación según actividad económica por tipo de régimen de producción, en términos relativos, enero 2012 a marzo 2020**  
*(En porcentajes)*

Código AE 2017	Código 2012	Producto	Participación relativa promedio sobre el total de exportaciones	Participación relativa promedio según régimen de producción	
				Definitivo	Especial
AE079	NP112	Instrumentos y suministros médicos y dentales	22	0	100
AE014	NP017	Banano	9	100	0
AE016	NP019	Piña	9	100	0
AE047	NP061	Comidas, platos preparados y otros productos alimenticios	5	22	78
AE036	NP048	Frutas, legumbres y hortalizas en conserva	5	25	75
AE045	NP059	Café oro	4	100	0
AE067	NP087	Otros productos de plástico	3	41	59
AE065	NP084	Productos farmacéuticos y medicinales	2	38	62
Total			59	NA	NA

Fuente: Elaborado por autores a partir de información del BCCR (2020a y b).

Los principales productos exportados bajo el régimen especial son: suministros médicos (100%), comidas y platos preparados (78%), procesamiento y conserva de frutas y legumbres (75%), productos farmacéuticos (62%) y productos de plástico (59%). En el caso de los productos desarrollados bajo el régimen definitivo destacan el banano, la piña y café oro.

Al considerar la clasificación tipo A y B desarrollada anteriormente tomando la MIP 2017 de Costa Rica, se identifica que el principal producto de exportación (instrumentos y suministros médicos) es considerado un producto de bajo arrastre concentrado (tipo A) y un producto independiente (tipo B). Es un producto que, pese a que representa el 22% de las exportaciones totales del país depende de pocos insumos nacionales, lo que lleva a que, ante un aumento de la demanda final de este producto, se dará un incremento relativamente pequeño de la demanda.

Otros productos que también presentan este tipo de clasificación son otros productos de plástico y productos farmacéuticos y medicinales, los cuales mayoritariamente son manufacturados bajo un régimen especial (véase el cuadro 52).

Cuadro 52

Costa Rica clasificación de principales productos vinculados a exportación según tipología A y B, y valor agregado, absoluto (millones de CRC) y porcentual, 2017. Principales productos de exportación, 2012-2020

Código AE 2017	Código 2012	Producto	Clasificación de producto tipo A	Clasificación de producto tipo B	Valor agregado bruto	Porcentaje del valor agregado muestra
AE079	NP112	Instrumentos y suministros médicos y dentales	Bajo arrastre oncentrado	Independiente	787 666,18	43
AE014	NP017	Banano	Bajo arrastre disperso	Independiente	352 361,21	19
AE016	NP019	Piña	Bajo arrastre disperso	Independiente	299 397,95	16
AE047	NP061	Comidas, platos preparados y otros productos alimenticios	Producto clave	Impulsor	9 652,18	1
AE036	NP048	Frutas, legumbres y hortalizas en conserva	Producto clave	Impulsor	125 876,36	7
AE045	NP059	Café oro	Producto clave	Clave	9 591,18	3
AE067	NP087	Otros productos de plástico	Bajo arrastre oncentrado	Estratégico	113 488,08	6
AE065	NP084	Productos farmacéuticos y medicinales	Bajo arrastre concentrado	Independiente	72 650,94	4
Total					1 820 684	100

Fuente: Elaborado por autores a partir de información del BCCR (2020a y b).

Piña y banano se clasifican como productos de bajo arrastre disperso. Es decir, son productos que ante un estímulo de la demanda final generarán un estímulo inferior al promedio que otros sectores. Aunque estos dependan de muchos insumos nacionales para su producción.

Los productos, comidas, platos preparados y otros productos alimenticios, frutas, legumbres y hortalizas en conserva y café oro, son considerados como productos clave bajo la tipología A. Lo que significa que son productos que dependen de una gran cantidad de insumos y que, ante un aumento de su demanda final, se dará un incremento relativamente grande de la demanda final de los demás productos.

En el caso de Costa Rica, el café oro es el único producto que se considera como sector clave bajo la tipología B y tiene una participación importante en las exportaciones, que representa un 0,2% del total del país.

El producto instrumentos y suministros médicos, que representa el 2,5% de las exportaciones totales y se clasifica como producto independiente, es decir, es un producto que consume una cantidad poco significativa de insumos intermedios y dedican la producción a satisfacer, principalmente, a la demanda final (exportaciones).

Otros productos, como banano piña y productos farmacéuticos y medicinales caen bajo esta misma clasificación, considerándose productos destinados a la demanda final y un consumo poco significativo de insumos intermedios.

Los productos comida, platos preparados y otros productos alimenticios, así como frutas, legumbres y hortalizas en conserva se clasifican como productos impulsores, ya que son productos que poseen bajos encadenamientos hacia adelante, pero altos encadenamientos hacia atrás, pues suelen poseer consumo intermedio elevado y una oferta de productos que, mayoritariamente abastece la demanda final.

En el caso de otros productos de plástico, este se clasifica como un producto estratégico o receptor, ya que poseen baja demanda de insumos y abastecen sustantivamente de insumos a otros productos.

De forma general, al compararse los cuadros 51 y 52, se identifica que, aunque aproximadamente el 59% de las exportaciones totales del país se concentra en ocho productos, estos solamente aportan el 5,7% del valor agregado nacional. Lo que da una percepción de que la creación de valor procede principalmente de estímulos de la demanda interna en mayor medida que la externa.

Al considerar el total de impuestos recaudados vía el producto, la producción y las importaciones, se identifica que, a nivel de la muestra de productos seleccionados, estos representan aproximadamente un 5,4% de la recaudación total del país. Al ser instrumentos y suministros médicos el principal producto de aporte (2%), seguido por piña (1%) y banano (0,9%) (véase el cuadro 53).

A nivel de empleo, los anteriores ocho productos considerados concentran aproximadamente el 5,2% del total de empleo del país, siendo los principales productores empleadores, banano (1,9%), piña (1,3%) e instrumentos e insumos médicos (0,8%). Una de las limitantes de este análisis fue que no se logró identificar de las estadísticas consultadas la calificación de la mano de obra, así como género, que permitiera realizar un análisis más cualitativo y visualizara aspectos de inclusión e igualdad en los puestos de los productos altamente vinculados con el sector externo de exportación.

Una aproximación del grado de cualificación de la mano de obra contratada en los puestos de trabajos necesarios para la producción de esta muestra de bienes, se puede encontrar a partir de la remuneración de los asalariados. Se identifica que, del total de salarios pagados en el país durante el 2017, de los ocho productos seleccionados con alta vinculación a exportaciones, los pagos representaron un 4,4% sobre el total. Al ser los productos instrumentos y suministros médicos (1,2%), banano (1,1%) y piña (0,9%) los principales productos de aporte salarial.

Con el fin de aproximar el grado de calificación de la mano de obra contratada se estimó el salario promedio mensual al dividir el pago por asalariados entre la cantidad personal ocupado. El producto instrumentos y suministros médicos paga el salario mensual promedio más alto de esta muestra (más de 866 mil CRC por mes por persona), seguido por café oro (721 mil CRC por mes por persona) y otros productos de plástico (con más de 671 mil CRC por mes por persona). Por lo que se supone que productos que requiere una mayor cantidad de habilidades académicas como técnicas son las mejor remuneradas.

Se concluye que al desarrollarse y facilitarse una serie de condiciones que estimulen ciertas actividades productivas intensivas en mano de obra calificada, pueden generar un aporte importante tanto en el pago indirecto como indirecto de tributos, así como contratación y pago de salarios a sus colaboradores, permitiendo expandir la demanda interna (intermedia y final)

En este sentido, se debe evaluar el diseño de políticas y acciones que impulsen actividades estratégicas. Una de estas políticas puede ser el desarrollo de estructuras productivas bajo esquemas similares a regímenes especiales, que fomenten el desarrollo de clúster productivos y contratación de mano de obra calificada. Dichos clústeres deben buscar el desarrollo de sinergias y formación en la capacidades y cualidades de la mano de obra requerida en diversas áreas, así como plantear un plan explícito de vinculación de estas actividades productivas con resto de la economía nacional.

El diseño de dicha política debe cuantificar los efectos en términos de tributos o pagos inmediatos que se dejarían de percibir, así como los efectos indirectos a través de otras vías, como pagos indirectos de impuestos por consumo de asalariados calificados, como actividades encadenadas, así como inclusión de nuevo personal y mejor aprovechamiento de las capacidades desarrolladas por la fuerza laboral costarricense. Es decir, visualizar el planteamiento desde una óptica de mediano y largo plazo.

**Cuadro 53**  
**Costa Rica: clasificación de principales productos vinculados a exportación según pago de tributos, personal ocupado y remuneración de asalariados,**  
**en términos absolutos (millones de CRC) y porcentual, 2017**

Código AE 2017	Código 2012	Producto	Impuestos sobre productos netos de subsidios	Impuestos sobre producción e importaciones	Total impuestos directos e indirectos al producto	Porcentaje de impuestos directos e indirectos	Personal ocupado	Porcentaje del personal ocupado	Salarios	Salario medio mensual
AE079	NP112	Instrumentos y suministros médicos y dentales	24 986,80	10 925,22	35 912,02	37	17 998	15	187 195,74	866 743
AE014	NP017	Banano	3 050,90	13 197,21	16 248,11	17	42 220	36	164 969,76	325 615
AE016	NP019	Piña	9 808,91	7 702,37	17 511,28	18	29 397	25	133 883,96	379 528
AE047	NP061	Comidas, platos preparados y otros productos alimenticios	377,12	247,04	624,16	1	629	1	3 848,36	509 852
AE036	NP048	Frutas, legumbres y hortalizas en conserva	4 993,59	4 302,75	9 296,35	10	11 454	10	72 393,89	526 700
AE045	NP059	Café oro	405,37	1 462,59	1 867,96	2	1 575	1	13 633,55	721 352
AE067	NP087	Otros productos de plástico	6 785,65	4 790,37	11 576,02	12	8 677	7	69 885,34	671 174
AE065	NP084	Productos farmacéuticos y medicinales	1 566,04	1 566,91	3 132,96	3	4 406	4	29 554,34	558 979
Total			51 974.39	44 194.47	96 168,85	100	116 356	100	675 364,94	483 692

Fuente: Elaborado por autores a partir de información del BCCR (2020a y b).

## **IV. Análisis del Sistema Nacional Financiero y contextualización del financiamiento de unidades eléctricas en Costa Rica**

Dado que las entidades financieras en el país han preferido mantenerse al margen de negociaciones agresivas y publicación de términos de financiamiento para atraer este tipo de inversiones, se procede a realizar una revisión de los avances en temas de banca sostenible, así como de los logros y compromisos de las principales instituciones financieras del país.

El financiamiento resulta prácticamente indispensable para inversiones de este tipo y aún más considerando la cuantía del costo relacionado. Dicha importancia se refleja en el plan nacional de transporte eléctrico brindado por el Ministerio de Ambiente y Energía (2020, p. 64).

El financiamiento también es un aspecto vital para el desarrollo del transporte eléctrico en el país. La Ley No. 9518 establece disposiciones para que el Sistema de Banca de Desarrollo (SBD) incluya el tema de transporte eléctrico como parte de la cartera de proyectos y el Sistema Bancario Nacional implemente líneas de financiamiento con facilidades para los clientes. Además, los autoriza a que utilicen fondos de inversión para el financiamiento de obra pública para transporte eléctrico.

A pesar de referirse al interés de líneas para autos privados, se señala el interés público del financiamiento de estas iniciativas, por lo que se procede inicialmente a describir el avance de algunas variables macroeconómicas del país, así como el análisis de la distribución de crédito nacional y esfuerzos relacionados.

### **A. Contexto económico de financiamiento en Costa Rica**

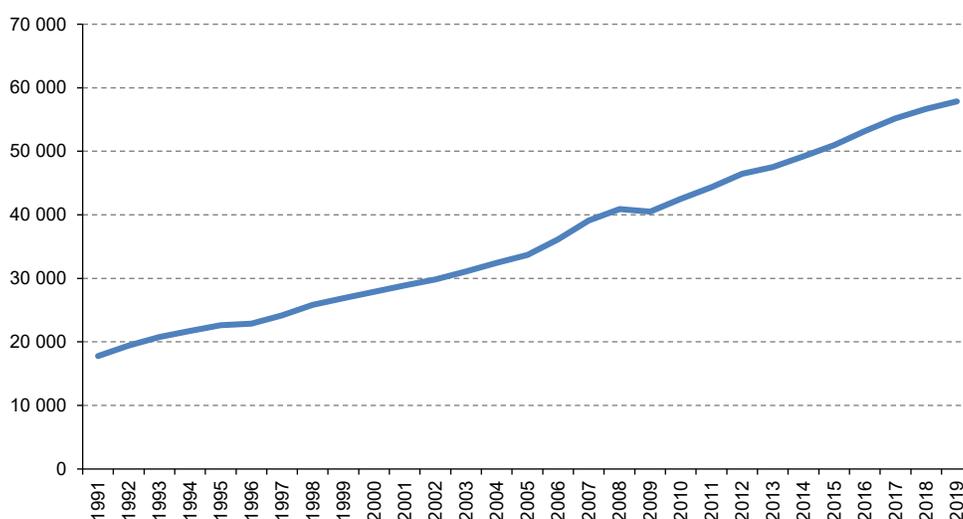
La presente sección expone un contexto general de la estructura de financiamiento en Costa Rica por tipo de actividades económicas, lo que permitirá al lector tener una idea general de las principales actividades creadoras de valor agregado en la economía costarricense y contrastar dicho aporte con la distribución de carteras de crédito y tasas activas promedio que el Sistema Financiero Nacional (SFN) ofrece.

## 1. Comportamiento histórico de crecimiento económico

Costa Rica es considerado un país de ingresos medios al haber experimentado un crecimiento sostenido en los últimos 25 años, atribuido parcialmente a su estrategia de apertura al comercio exterior, inversión extranjera directa, así como una gradual liberalización comercial tras privatizar algunos servicios que el Estado antes brindaba (Banco Mundial, 2019).

Esta nación pasó de tener un PIB de casi de 17,8 mil millones de USD en 1991 a 57,9 mil millones de USD en 2019, representando un incremento aproximado de 3,3 veces en un lapso de casi 30 años, además de mostrar un crecimiento en el valor de la producción a una tasa promedio anual del 4% para ese mismo periodo (véase el gráfico 30).

**Gráfico 30**  
Costa Rica: PIB a precios constantes, 1991-2019  
(En millones de USD de 2012)

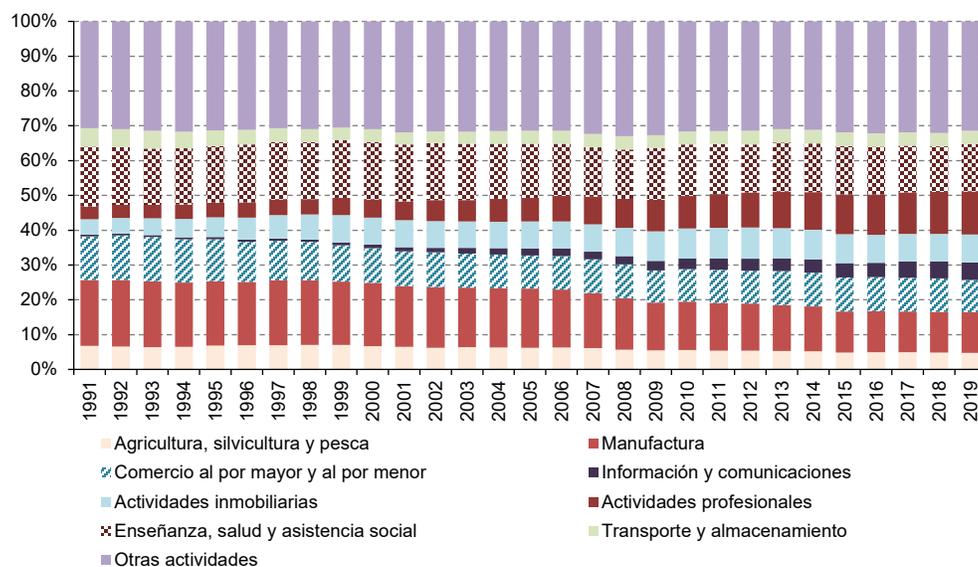


Fuente: Elaborado por los autores a partir de datos del BCCR (2020).

Dentro de los principales sectores productores que tienen una mayor participación en la creación de riqueza, destaca servicios como “enseñanza y actividades de la salud humana y de asistencia social” con un aporte del 13,3% al valor agregado de la producción, seguido por “actividades profesionales, científicas, técnicas, administrativas y servicios de apoyo” (12,5%) y “manufactura” (11,9%) (véase el gráfico 31).

Al compararse la evolución de la estructura productiva del país, se identifica que, en un lapso de casi 30 años, sectores mayormente orientados al aprovisionamiento de servicios ganan una mayor participación. Siendo el sector de “actividades profesionales, científicas, técnicas, administrativas y servicios de apoyo” el de mayor crecimiento en participación relativa (8,6 pp), seguido por “información y comunicaciones” (4,8 pp) y “actividades financieras y de seguros” (4,5 pp) como las principales. En contraparte, se presentó un detrimento de la participación de actividades como “manufactura” (-8 pp), “enseñanza y actividades de la salud humana y de asistencia social” (-4,6 pp), “administración pública y planes de seguridad social de afiliación obligatoria” (-4,5 pp), “comercio al por mayor y al por menor” (-4 pp) como los principales. El gráfico 31 permite ilustrar el comportamiento de la participación relativa de cada sector en el PIB entre 1991 y el 2019.

**Gráfico 31**  
**Costa Rica: participación relativa de principales actividades económicas sobre el Producto Interno Bruto (PIB) en términos constantes, 1991 a 2019**



Fuente: Elaborado por los autores a partir de datos del BCCR (2020).

Es decir, la sociedad y economía costarricense ha experimentado una evolución al pasar de ser una economía basada en la producción de bienes y el comercio, a una economía intensiva en brindar servicios (conocimiento). Este proceso de adaptación se vio afectado porque el sector público, el cual, es el principal oferente de servicios como educación y salud, ha visto reducido su aporte a la producción.

El capital intangible que ha creado los servicios y acceso a recursos como educación, salud, alimentación, entre otros, a través de programas de asistencia social con el paso de los años, ha hecho que la economía costarricense tenga un mayor aporte en la creación de valor agregado a través de la venta de servicios profesionales, técnicos y científicos. Destaca el papel importante del sector de información y comunicaciones, el cual, tiene una importancia relevante tanto en la producción de bienes finales como intermedios ofrecidos a diversos sectores de la economía.

A lo largo de los años Costa Rica ha planteado diferentes políticas que la han llevado a ser un país referente en materia ambiental. Un ejemplo de esto ha sido el establecimiento del programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) que se ha orientado a promover la conservación de los bosques y la biodiversidad. El atractivo ambiental y turístico del país, sumado a la combinación de estabilidad política, contrato social y un crecimiento sostenido han resultado en una de las tasas de pobreza más bajas de América Latina y el Caribe, donde la proporción de la población con ingresos inferiores a US\$5,5 por persona por día disminuyó ligeramente de 12,9 a 10,7 por ciento entre 2010 y 2016 (Banco Mundial, 2019).

En el 2020, a causa de la pandemia generada por el COVID-19, el país enfrenta el riesgo de una interrupción repentina en las visitas y los flujos de capital. Se proyecta que el Producto Interno Bruto (PIB) disminuya en 2020 en -3,3 por ciento. Además, se espera que la pobreza y el desempleo aumenten, en parte debido al impacto de la emergencia sanitaria en el turismo y en el comercio, más una contracción en áreas como la agricultura y la construcción. Se espera que para el año 2021 y particularmente el 2022 se presente un repunte conforme se levanten las restricciones, con el apoyo de una política monetaria y de reformas relacionadas con el proceso de adhesión a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), junto con los esfuerzos de consolidación fiscal (Banco Mundial, 2019) y la firma del acuerdo con el Fondo Monetario Internacional y la instrumentación de las diversas medidas.

## 2. El servicio de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis en Costa Rica

Esta breve descripción de la estructura de la economía costarricense es importante de tenerse presente, para poder tener claro cuáles son los principales sectores creadores de valor y por ende atrayentes de empleo como direccionadores de políticas y estrategias de crecimiento del país.

En el caso particular de este trabajo, se hace un especial énfasis en el análisis de la oferta de crédito para el sector transporte, orientado al financiamiento de iniciativas de movilización colectiva de pasajeros bajo soluciones bajas en emisiones. La actividad de transporte colectivo se encuentra incluida en el sector "transporte y almacenamiento" del Sistema de Cuentas Nacionales (SCN), que en el caso de transporte, hace referencia tanto a la movilización de mercancías como de pasajeros de un punto a otro en diferentes medios, sean estos terrestres, aéreo o acuáticos.

Por lo cual, para analizar más a fondo el alcance e interrelación que tiene el transporte colectivo de pasajeros, al consultarse el más reciente Cuadro de Oferta y Utilización (COU), elaborado por el BCCR, se identifica que la actividad económica (AE) número 93 corresponde a "Transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", dentro del cual, los principales productos identificados con el número de producto (NP) 129 son:

- NP129-001: servicios regulares urbanos y suburbanos de transporte de pasajeros por carretera
- NP129-002: servicios modo mixto urbano y suburbano de transporte de pasajeros
- NP129-003: servicios regulares locales para fines especiales de transporte por carretera de pasajeros
- NP129-004: servicios de alquiler de automóviles particulares con conductor
- NP129-005: servicios de transporte de pasajeros por carretera en vehículos de tracción humana o animal
- NP129-006: Autobús urbano no regulares y charter de autocares
- NP129-007: Otros servicios de transporte terrestre de pasajeros n.c.p.
- NP129-008: servicios de transporte de turismo por tierra, excepto por ferrocarril
- NP129-009: servicios regulares interurbanos de transporte de pasajeros por carretera
- NP129-010: servicios regulares especiales de transporte interurbano de pasajeros por carretera
- NP129-011: servicios de autobuses de larga distancia no regulares
- NP129-012: servicios de alquiler de autobuses y autocares con conductor

De este grupo de servicios, se identifica a nivel de oferta que el principal sector productor es el AE093 con una participación relativa del prácticamente el 100%, pero prestando en menor medida servicios de transporte en algunas actividades como: actividades de alojamiento, actividades inmobiliarias, actividades de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos, enseñanza y administración del estado; que poseen en algunos casos este servicio sea para el transporte de sus clientes, como obreros dentro de su actividad. A nivel global, para el año 2016 el valor de la oferta de este servicio es de 520.919 millones de CRC.

A nivel de utilización de productos, se identifica que para el año 2016 el valor de dicha utilización asciende a 23.810 millones de CRC. Del cual corresponde un 22% a la actividad de comercio, 20% a actividades de intermediación monetaria, 14% a actividades de agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reservas y actividades conexas y 11% a actividades de consultoría en gestión financiera, recursos humanos, mercadeo, oficinas principales y afines, como las principales (véase el cuadro 54).

**Cuadro 54**  
**Costa Rica: utilización del producto "transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", 2016**  
*(En millones de colones)*

Código de actividad económica	Industrias	Utilización de productos (precios de comprador)	Porcentaje de utilización
AE090	Comercio	5 321,6	22
AE105	Actividad de intermediación monetaria	4 854,3	20
AE120	Actividades de agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reservas y actividades conexas	3 388,9	14
AE112	Actividades de consultoría en gestión financiera, recursos humanos, mercadeo, oficinas principales y afines	2 717,6	11
AE123	Actividades administrativas y de apoyo de oficina y otras actividades de apoyo a las empresas	1 994,9	8
AE093	Transporte terrestre de pasajeros excepto taxis	1 571,5	7
AE127M	Enseñanza	1 482,9	6
AE100	Actividades de alojamiento	1 241,2	5
AE128NM	Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	1 236,8	5
Total consumo intermedio		23 810	100

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información del BCCR (2020).

Al restarse el resultado de valor de oferta y utilización, el valor agregado de este producto o servicio es de 483.072 millones de colones. Valor que corresponde aproximadamente a un 1.7% por valor agregado o PIB de la economía costarricense para el año 2016.

A nivel de empleo para el mismo año, se cuantifica que en este sector estuvieron ocupados 17.916 personas, de las cuales el 66% representan asalariados y 23% trabajadores por cuenta propia, como las principales (véase el cuadro 55).

**Cuadro 55**  
**Costa Rica: cantidad de personal ocupado en la actividad económica "transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", absoluto y relativo, 2016**

Tipo de ocupado	Cantidad	Porcentaje
Asalariados	11 757	66
Cuenta propia	4 077	23
Empresarios, empleadores, patronos	973	5
Trabajadores familiares no remunerados	177	1
Otros trabajadores no remunerados	942	5
Personal de otros establecimientos (services)	1 474	8
Personal ocupado	17 926	100

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información del BCCR (2020).

De esta ocupación, el BCCR en la matriz de empleo señala que el ingreso medio para trabajadores remunerados asciende a 162.964 millones de colones, obteniéndose un ingreso medio de 745.879 CRC.

Se procede con un análisis más detallado del grado de encadenamiento que tiene el producto NP129 "Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis" en la Matriz Insumo Producto (MIP), que en este caso tiene como año de referencia 2012 y que además hace distinción por tipo de régimen de producción (especial o definitivo).

A nivel de demanda total, el NP129 contabiliza una utilización total de 366.597 millones de CRC, consumido en un 95% aproximadamente como consumo final o demanda y 5% de demanda intermedia para el ofrecimiento de otros bienes y servicios (véase el cuadro 56).

**Cuadro 56**  
**Costa Rica: utilización total según componente para el producto NP129 "servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", 2012**  
(En millones de colones)

Cuenta y componente		Absoluto	Relativo
Total de demanda intermedia	Regímenes especiales	2 161	12
	Régimen definitivo	15 917	88
	Total	18 078	5 <sup>a</sup>
Demanda final	Consumo hogares	298 448	86
	Consumo de gobierno	3 648	1
	Formación bruta de capital fijo	-	0
	Variación de existencias	-	0
	Exportaciones	46 424	13
	Demanda total	348 519	95 <sup>a</sup>
Utilización total		366 597	100

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información del BCCR (2020).

<sup>a</sup> Cálculo respecto a utilización total.

Sobre la demanda total que asciende a 348.519 millones de CRC, el 86% es consumido por hogares, 13% como exportaciones y 1% como consumo de gobierno. En el caso de la demanda intermedia, esta fue de 18.078 millones de CRC, de los cuales el 88% se orientó a consumo por parte de empresas que en el país laboran bajo un régimen definitivo y el restante 12% se utilizó por parte de empresas bajo regímenes aduaneros especiales.

Sobre el total del consumo intermedio (18.078 millones de CRC), bajo el régimen definitivo los principales productos que requirieron del servicio NP129 fueron:

- 20%: Servicios de intermediación financiera medidos indirectamente (SIFMI).
- 10%: Servicios de atención de la salud humana y de asistencia social.
- 8%: Servicios de enseñanza.
- 7%: Servicios de transporte terrestre de pasajeros excepto taxis.
- 4% Servicios de comercio.
- 4%: Energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado.

Y en el caso del consumo intermedio realizado bajo regímenes especiales, los siguientes productos son los principales:

- 7%: Servicios de consultoría en gestión financiera, recursos humanos, mercadeo, oficinas principales y afines.
- 3%: Instrumentos y suministros médicos y dentales.
- 1% Servicios de manufactura.

El restante 35% del consumo intermedio de este servicio es distribuido en diferentes productos.

Al abordar el mismo análisis, pero desde la óptica de uso de bienes y servicios necesarios para la producción del servicio NP129, se identifica que (véase el cuadro 57):

- El consumo intermedio total o total de usos a precios del comprador, asciende a 174.927 millones de CRC.
- Sobre el anterior valor, aproximadamente el 41% corresponde a usos de origen nacional, 45% a importaciones y el restante 13% a impuestos sobre los productos netos de subsidios. Es decir, el NP129, hace un mayor uso de bienes y servicios de origen externo dentro de su estructura productiva.
- El total de usos de origen nacional asciende a 72.575 millones de CRC, que proceden en su totalidad del régimen definitivo.

Al considerar el enfoque de ingreso para la estimación del PIB, se identifica que el valor agregado bruto para toda la economía del servicio NP129 asciende a 191.671 CRC, que se constituye en un 49% por remuneraciones de los asalariados, 10% de impuestos sobre la producción y las importaciones, un 19% de excedente de explotación bruto y 21% de ingreso mixto bruto.

**Cuadro 57**  
**Costa Rica: secuencia de cuentas de producción para el producto NP129**  
**"Transporte terrestre de pasajeros excepto taxis", 2012**  
*(En millones de CRC)*

Total de usos de origen nacional	72 575
Importaciones de la economía total	78 823
Compras de residentes en el extranjero	
Compras de no residentes en el país	
Compras netas de residentes y no residentes	
Importaciones totales	78 823
Impuestos sobre los productos netos de subsidios	23 529
Impuestos sobre productos	23 536
Subsidios a los productos	-6
Total de usos a precios comprador	174 927
Valor agregado bruto economía total	191 671
Producción de la economía total a precios básicos	366 597
Producto interno bruto de la economía total	215 200
Valor agregado bruto economía total	191 671
Remuneración de los asalariados	93 764
Impuestos sobre la producción y las importaciones	19 811
Subvenciones (-)	0
Excedente de explotación, bruto	37 057
Ingreso mixto, bruto	41 039
Consumo de capital fijo sobre el excedente bruto de explotación	26 220
Consumo de capital fijo sobre el ingreso mixto	0
Excedente de explotación, neto	10 837
Ingreso mixto, neto	41 039

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información del BCCR (2020).

El consumo de capital fijo asciende a un monto de 26.220 millones de CRC sobre el excedente bruto de explotación. Se obtiene que el excedente de explotación neto es de 10.837 millones de CRC. Y de forma similar, al considerar el consumo de capital fijo sobre el ingreso mixto (que en este caso se registra igual a cero) se obtiene el ingreso mixto neto por un valor de 41.039 millones de CRC.

Para contextualizar mejor los anteriores resultados, al compararse con el consumo intermedio, se obtiene un indicador que representa el margen de utilidad neto o de excedente de explotación del servicio NP129 que es de 6% aproximadamente. Es decir, el empresario recibirá esta retribución neta al invertir sus recursos en la producción de este servicio.

A nivel de bienes y servicios con mayor importancia relativa como usos en la producción del servicio NP129, destacan con una participación relativa sobre el valor de usos de origen nacional (72.575 millones de CRC) los siguientes:

- 35%: mantenimiento y reparación de vehículos automotores.
- 19%: servicios de comercio.
- 5,8%: productos básicos de hierro y acero.
- 3.4%: servicios de alquiler de inmuebles no residenciales y otros servicios inmobiliarios.
- 3,2%: servicios de intermediación financiera medidos indirectamente (SIFMI).
- 2,9%: transporte de carga.
- 2,9%: servicios jurídicos.
- 1%: diésel, entre otros.

Lo que permite identificar como la estructura productiva del servicio NP129 depende del componente nacional de servicios en su mayoría.

El anterior análisis, permite tener una idea general tanto de los sectores y productos demandantes del servicio NP129, así como los bienes y servicios de mayor dependencia e interrelación de la estructura productiva. Permitiendo considerar implicaciones a nivel de usos y sus alcances en términos de demanda en el posterior diseño de políticas, normas y regulaciones que vayan a incentivar un cambio tecnológico a una movilidad baja en emisiones.

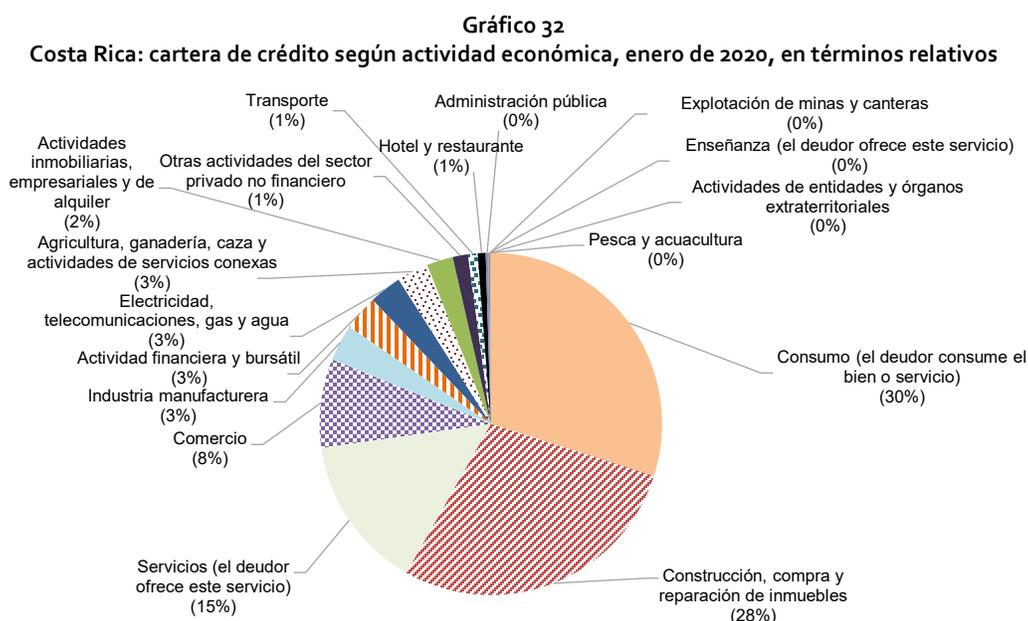
Seguidamente se ofrece un panorama general del contexto crediticio costarricense que permita ofrecer una perspectiva de las actividades económicas, incluidas el sector transporte, para entender las condiciones como disponibilidad de recursos para el atender el cambio tecnológico propuesto.

### **3. Distribución de cartera crediticia según sector e institución bancaria**

A nivel de oferta crediticia, la Superintendencia de Entidades Financieras (SUGEF) señala que, a enero del año 2020, a nivel de todo el Sistema Financiero Nacional, existía una cartera crediticia por un monto de poco más de 22 billones de CRC. De la cual aproximadamente el 30% estaba destinado a financiamiento de consumo, 28% a la compra y reparación de inmuebles, 15% servicios y 8% a comercio, como los principales acaparadores de crédito. Destinándose un 0,91% de esta cartera para el sector transporte (0,2 billones de CRC) (véase el gráfico 32).

La anterior distribución de cartera crediticia permite identificar cuáles son las principales preferencias de financiamiento por parte de las entidades prestamistas, las cuales dan una clara preferencia al consumo de los hogares y la adquisición de vivienda, como desarrollos inmobiliarios y sector servicios.

Lo anterior es coherente con el análisis de evolución de sectores productivos, los cuales han pasado de una economía orientada a la producción y manufactura de bienes y servicios, a una economía de servicios en general. Y al mejorar el perfil crediticio y capacidad de ingresos de los trabajadores inmersos en las actividades de este sector productivo, la demanda de crédito se orienta principalmente a este tipo de necesidades expuestas en el gráfico 32, siendo tanto de consumo como de inversión.



Fuente: Elaborado por los autores a partir de información del SUGEF (2020).

En el caso específico del sector transporte, esta se compone de adquisición de medios de transporte tanto individual como colectivo, donde este último, por lo general tiende a adquirirse vía crédito empresarial. Dichos créditos ofrecidos por los entes prestatarios difieren en los requisitos, así como condiciones brindadas y el riesgo presente en la inversión.

#### 4. Tasas activas del sistema financiero nacional según tipo de institución bancaria

En lo concerniente al costo de adquisición del crédito, al analizar las tasas de interés activas ofrecidas por diferentes instituciones dentro del Sistema Financiero Nacional (SFN), la información se encuentra separada según tipo de moneda en que se vaya a adquirir u ofrecer el crédito, sea en colones costarricenses (CRC) o dólares estadounidenses (USD).

Se destaca la importancia de la tasa activa presente en el SFN, esto porque las metodologías tarifarias aplicadas por la ARESPEP incluyen consideraciones sobre la rentabilidad mínima exigida al capital. Dicha rentabilidad se ajusta según la tasa activa determinada en las metodologías, anteriormente definida por la tasa activa promedio del SFN. Por lo tanto, mayores tasas activas promedio en el mercado nacional no solo tiene un impacto en la valoración de rentabilidad del proyecto, sino que aumenta los cálculos tarifarios dada una mayor exigencia de rentabilidad sobre las inversiones en flota.

Para el caso de las tasas en USD, en un horizonte de análisis de dos años, se identifica que, para las diferentes actividades económicas y totalidad de diferentes instituciones, la tasa de interés promedio ponderada anual ronda el 7,65% (véase el cuadro 58).

En el caso específico del costo de los recursos para actividades relacionadas al sector transporte y movilidad, la tasa activa se ubica en 9,38% anual, estando ligeramente por encima de la tasa promedio ponderada del mercado en 1,72 puntos porcentuales. A nivel de tipo de oferente, las empresas consideradas como financieras están entre las que cobran una tasa de interés mayor para la línea de crédito de transporte, al ser la tasa promedio de 11,83% anual. A dichas empresas financieras le superan las cooperativas de ahorro y crédito (12,5%), y siguen de cerca los bancos privados (8,81%). Por su parte, los bancos estatales ofrecen la tasa de interés activa promedio más baja del mercado para la línea de crédito de transporte, que es aproximadamente 7,10% anual en USD (véase el cuadro 58).

**Cuadro 58**  
**Costa Rica: tasas activas negociadas según actividad económica por grupo**  
**de intermediario financiero en USD, marzo 2018 a abril 2020**  
*(En porcentajes)*

Actividad económica	OSD	Bancos públicos	Bancos privados	Cooperativas	Mutuales	Financieras
Agricultura y ganadería	7,34	6,66	6,81	5,86	NR	11,94
Silvicultura	8,97	NR	9,00	NR	NR	8,95
Pesca y acuicultura	7,16	6,19	8,07	4,25	NR	9,09
Explotación minas y canteras	7,88	NR	7,88	NR	NR	NR
Industria	6,38	6,06	6,12	21,60	NR	12,08
Electricidad	10,76	NR	8,62	NR	NR	11,85
Construcción	8,81	7,97	8,15	8,31	9,00	11,24
Actividades inmobiliarias	8,27	7,30	7,99	8,04	8,54	10,85
Comercio	7,14	6,49	7,48	13,21	9,14	11,28
Transporte y otros	9,38	7,10	8,81	12,50	NR	11,83
Servicios y turismo	7,50	6,86	7,47	12,17	NR	11,23
Tarjetas	27,99	27,83	28,46	22,47	NR	28,48
Consumo	8,45	7,24	8,05	9,63	8,13	9,14
Otras actividades	8,91	9,21	6,65	12,75	9,16	10,43
Promedio ponderado del grupo	7,65	6,68	9,85	10,78	8,71	10,87

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información del BCCR (2020).

Nota: NR: No reportó.

Es importante hacer la salvedad que esta línea de crédito aglutina crédito personal para la adquisición de transporte individual como transporte colectivo en forma empresarial. Por lo que las tasas acá expuestas son una aproximación de las efectivamente cobradas por cada institución.

En el caso del costo del crédito en moneda nacional, se identifica que la tasa promedio del mercado es aproximadamente 13,66% anual. Que al compararse con la tasa de interés activa en USD, excede en 6 puntos porcentuales (véase el cuadro 59).

**Cuadro 59**  
**Costa Rica: tasas activas negociadas según actividad económica por grupo**  
**de intermediario financiero en CRC, enero 2018 a abril 2020**  
*(En porcentajes)*

Actividad económica	OSD	Bancos públicos	Bancos privados	Cooperativas	Mutuales	Financieras
Agricultura y ganadería	8,39	8,16	7,54	12,86	NR	22,64
Silvicultura	17,97	5,90	5,98	16,11	NR	69,90
Pesca y acuicultura	14,91	9,41	11,94	16,39	NR	19,33
Explotación minas y canteras	15,05	9,14	15,49	20,13	NR	44,95
Industria	8,55	7,71	9,76	17,94	16,25	22,56
Electricidad	14,60	8,26	15,38	20,24	NR	24,58
Construcción	15,43	9,88	14,38	12,45	12,23	19,91
Actividades inmobiliarias	10,04	8,89	14,81	12,04	10,63	21,13
Comercio	11,07	9,30	10,85	17,07	14,23	20,57
Transporte y otros	11,88	10,25	11,55	18,54	NR	22,33
Servicios y turismo	11,16	9,16	12,40	18,24	12,31	20,33
Tarjetas	36,14	31,41	36,49	25,54	NR	50,55
Consumo	17,58	16,90	22,29	17,53	15,96	31,25
Otras actividades	18,20	9,51	22,84	17,87	14,88	22,34
Promedio ponderado del grupo	13,66	10,90	16,15	17,15	12,19	20,30

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información del BCCR (2020).

Nota: NR: No reportó.

Para la línea de crédito de transporte, al compararse con la tasa promedio del mercado, esta se encuentra en 1,78 puntos porcentuales por debajo. Y a nivel de instituciones oferentes, se presenta el mismo esquema de conducta que las tasas en USD. Al ser las empresas financieras con la tasa activa promedio anual más alta (22,33%) y al otro extremo los bancos públicos con la menor tasa (10,25%).

La elección del tipo de moneda del crédito, así como la institución depende de variados elementos, que pueden ir desde la actividad del cliente, como requisitos para la adquisición del crédito, el origen y tipo de moneda de los recursos con los que se hará los futuros pagos, entre otros. Por lo que el análisis anterior busca solamente explicar frente al comportamiento presentado en el mercado durante el período señalado, sin influir o hacer algún tipo de incitación de publicidad a alguna institución o sector financiero en particular.

## **B. Caracterización de la oferta de financiamiento y otras condiciones de mercado para la implementación de buses eléctricos en Costa Rica**

A pesar de que no es común el financiamiento de unidades eléctricas para el transporte público, se observa cierta competencia de mercado en la oferta de términos de financiamiento para buses convencionales y vehículos privados. Por lo tanto, se procede a realizar una caracterización de las ofertas de crédito disponibles.

### **1. Condiciones actuales de mercado y alcance de instituciones bancarias públicas y privadas**

Respecto a las ofertas y condiciones de financiamiento para la implementación de autobuses eléctricos, las empresas concesionarias nacionales que ofrecen el servicio de transporte no han finalizado la compra de las unidades anunciadas anteriormente, y de momento los bancos consultados señalan no participar en el financiamiento de unidades eléctricas. Por lo que actualmente no existen líneas específicas ni términos de financiamiento estables para toda empresa que desee financiar su electrificación de la flota.

Sin embargo, el interés en el mercado ha sido expresado por los gerentes de banca y leasing en el país. Por lo que analizar la distribución del crédito realizada por el Sistema Financiero Nacional y la importancia que otorgan los bancos para financiamiento de flotas sostenibles resulta de interés.

Por su parte, la actividad económica que mayor relevancia posee para este estudio es la relacionada a actividades de transporte, que según resultados obtenidos con datos brindados por la SUGEF (2020) reflejan que las actividades de transporte de pasajeros no alcanzan siquiera el 1% del total de crédito brindado a nivel nacional. Para esta actividad económica se identifica que el banco con un mayor monto destinado a crédito en actividades de transporte es el Banco Nacional de Costa Rica (BN). Sin embargo, los bancos que tienen una mayor proporción de su cartera de crédito asignada en actividades de transporte son el Banco IMPROSA S.A (9,35%) y el Banco BCT (6,76%).

Cifras obtenidas desde los datos recopilados por la SUGEF y actualizados por el Banco Nacional durante la presentación de su Informe de Sostenibilidad señalan que la concentración de actividades financieras, en específico el crédito nacional colocado, está en su mayoría abarcado por los principales cuatro bancos del país. El BN (2020) reporta que mantienen un 20,19% del total de crédito entregado a nivel nacional y un 23,17% de participación en actividades de todo el sistema financiero.

Durante el Reporte de Sostenibilidad presentado por el BN (2020), se señala el interés y acción por parte de la entidad para el financiamiento de tecnologías alternas, junto a su compromiso con los ejes de descarbonización mediante líneas de financiamiento para proyectos de viviendas, vehículos y PYMES sostenibles. Este mismo interés de participación fue captado por demás gerentes entrevistados de distintos bancos, los cuales en su mayoría señalan mantener líneas de financiamiento especiales para adquisición de tecnologías eléctricas, pero únicamente para vehículos privados.

Durante las consultas a gerentes y ejecutivos de los principales bancos en Costa Rica se solicitó información sobre las líneas de financiamiento para vehículos disponibles por sus entidades. Además de consultar la existencia de términos para adquisición de buses mediante leasing o crédito, entre otra información de mercado y detalles operacionales relevantes.

Se identifica que las entidades financieras mantienen distintos intereses respecto al mercado, ya que algunos bancos hacen explícito su interés en financiar actividades de transporte de estudiantes o empleados mediante microbuses, mientras otros compiten en créditos para vehículos de uso individual, o bien, participan más activamente en el financiamiento de autobuses. Las entidades y funcionarios consultados se muestran en el cuadro 6o.

**Cuadro 6o**  
**Entidades financieras consultadas durante análisis de opciones financieras para adquisición de buses eléctricos**

Entidad financiera	Persona consultada	Puesto
BAC Credomatic	Diego Ureña Luna	Gerente banca comercial & leasing
Banco de Costa Rica	Luis Ramírez Núñez	Supervisor en banca desarrollo
Banco Promerica	Gustavo Calderón	Jefe créditos verdes
Banco LAFISE	Oficinas Centrales	-
Banco BCT	Luis Segura Vega	Oficial Servicio al Cliente
Banco Nacional	Silvia Chaves Herra.	Jefa de Sostenibilidad
Banco Nacional	Cintha Jiménez Montero.	Gerencia general
Banco CATHAY	Jorge Fernández Chavarría	Encargado de leasing
Banco BICSA	Laura Mejía Monge	Gerente de negocios
Sistema Banca para Desarrollo (SBD)	Miguel Aguiar	Director ejecutivo
Banco Centroamericano de Integración Económica	Jeffrey Carmona	Ejecutivo de negocios

Fuente: Elaborado por autores.

Desafortunadamente, a pesar de que los bancos estatales durante el 2019 presentaron programas de financiamiento con términos favorables para la adquisición de vehículos con tecnologías eléctricas, ninguno de los bancos a los que se realizó la consulta presenta alguna línea especial para la adquisición de buses eléctricos o de algún equipo específico, como son las baterías o estaciones de recarga.

Lo más cercano al financiamiento de tecnologías alternas fue el llevado a cabo por la empresa de buses que opera en La Sabana, Costa Rica. Dicha empresa adquirió durante el 2019 varias unidades de autobuses con tecnologías híbridas, los cuales fueron financiados junto al Banco Nacional de Costa Rica.

Al respecto, las ejecutivas consultadas del Banco Nacional mencionan que los financiamientos de estas tecnologías alternas se han realizado desde la modalidad de PYMES Verdes. Dicho financiamiento se realiza desde Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD) con beneficios especiales entre los que destacan reducciones de 0,5% de comisiones y tasas de interés 0,30% menores. A pesar de que generalmente los términos mejoran en dichas cuantías, se recalca por parte del BN que el banco realiza estos financiamientos con términos que dependen según el tipo, tamaño y actividad de las empresas demandantes de crédito.

A pesar de que nacionalmente el modelo de leasing ha ido tomando fuerza en el mercado de automóviles, el mercado de la electromovilidad en autobuses ha visto este avance frenado, principalmente porque las exoneraciones aplicables por ley para la importación de vehículos eléctricos y sus repuestos requieren permisos para su aplicación por parte de las entidades financieras y concesionarias. Además, Diego Ureña (Gerente BAC Credomatic) indica que el proceso para financiamiento de tecnologías eléctricas sí ha sido impulsado por cooperación internacional, principalmente por parte de GIZ mediante foros en donde se

discuten las estrategias a seguir para apoyar el financiamiento que se quería dar a la industria emergente, y que dicho proceso había sido acompañado por algunos organismos internacionales como el BCIE y otros cooperantes internacionales.

Respecto a operaciones con tecnologías convencionales, algunos bancos comerciales ofrecen términos y líneas de financiamiento para la adquisición y leasing de buses (BAC Credomatic) o busetas para transporte de estudiantes o empresas (Banco CATHAY) con tasas que rondan entre el 6% y 12%. Sin embargo, los gerentes bancarios afirman que en muchos casos las empresas autobuseras son difíciles de ordenar financieramente, ya que los operadores de buses no solo ofrecen el servicio de transporte, sino que también contratan servicios de empresas terceras tanto para limpieza, mantenimiento, seguridad, etcétera. Esto hace que las empresas tengan cuentas de manera dispersa sobre los distintos flujos de ingresos y gastos que mantienen por sus operaciones, por lo que las empresas bancarias tendrían que asumir riesgos adicionales dada la incertidumbre que esta condición genera.

Además, señalan que las tecnologías eléctricas se caracterizan por sus beneficios sociales y ambientales, pero también por su alto precio en comparación a las tecnologías convencionales. Estas diferencias de precios hacen que la decisión de inversión deba ser tomada detenidamente por parte de los inversionistas-operadores, y considerando que dichos sobrecostos deban ser recuperadas mediante mecanismos de compensación, tarifas o subsidios, pero dichos mecanismos aún no existen. Por lo tanto, la inseguridad generada sobre los inversionistas se ve reflejada sobre los banqueros, ya que el riesgo de inversión existe y ninguna de las partes busca incluirse en negocios que afecten sus operaciones.

Tanto el Director Ejecutivo del SBD como los gerentes encuestados coinciden en que los operadores de buses y administradores de fondos financieros no buscan entrar a un negocio que los lleve a la ruina. Y a pesar de que existe evidencia y estudios que señalan los beneficios de los autos y autobuses eléctricos, tanto los inversionistas como la población en general es debido a la incertidumbre y altos precios que este mercado presenta.

A pesar de que nacionalmente se observen esfuerzos para mejorar las metodologías tarifarias y destacar la importancia de la electrificación mediante foros y cooperación internacional, se señala que la falta de información e inseguridad han sido los principales frenos para el desarrollo del financiamiento de buses eléctricos.

Entre las limitantes de alcance se destaca la dificultad de importar y brindar los equipos de manera rápida, ya que los dispositivos solicitados o repuestos necesarios pueden durar inclusive más de un mes para llegar a estar disponibles en el país y ser utilizados o mantenidos en inventario. Además, la adaptación de las redes eléctricas en los hogares y centrales autobuseras aumentan dicha incertidumbre. Esto porque a pesar de ser el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) el designado para readecuar las conexiones eléctricas mínimas necesarias para los concesionarios, son procesos que llevan tiempo, inversión adicional y que de cierto modo ahuyentan a la población y empresarios a incluirse en el proceso de electrificación.

A este faltante de equipo y conexiones se le agrega que el mercado secundario es prácticamente inexistente, no se observan proyectos para reciclaje de baterías o chatarrización de los autobuses, por lo que no se muestran maneras sencillas de que los inversionistas puedan dar un aprovechamiento adicional al equipo cuando este cumpla con la vida útil y con los altos requerimientos que el uso para transporte de pasajeros exige.

Otro aspecto relevante es el financiamiento en paralelo de proyectos ambientales. Por ejemplo, BAC Credomatic lleva de la mano algunos proyectos sobre compromiso social, energía solar y eólica, y se ha visto que estas acciones pueden ser rentables y sostenibles a lo largo del tiempo. Pero en el tema de electromovilidad, en los autobuses ha sido difícil conciliar el negocio, inclusive cuando el proceso de electrificación de flota se observa de manera inminente por los actores de mercado.

El Banco BAC Credomatic señaló a CEPAL que los acuerdos de crédito o leasing mantienen una proporción de 1 cada 30 para las tecnologías eléctricas en comparación a tecnologías convencionales. Este indicador puede ser utilizado para reflejar el avance de la electromovilidad en las preferencias de crédito y adquisición de los consumidores.

La escasa oferta de términos y líneas de financiamiento generales para adquisición de cualquier tipo y marca de autobuses eléctricos, se presentan los términos utilizados para adquisición de estas unidades convencionales o adquisición de buses eléctricos (únicamente coreanos) se detallan en los cuadros 61 y 62.

**Cuadro 61**  
**Términos de financiamiento de BAC Credomatic para adquisición de buses con tecnologías diésel**

Término de financiamiento	Valor
Porcentaje de financiamiento	Máximo 80%, sujeto a análisis de cada caso
Tasa fija	6,90% a dos años
Tasa variable	Libor a 3 meses + 7%
Plazo	84 meses
Comisión	3,25%

Fuente: Elaboración propia con información brindada por el Gerente de Banca Comercial y Leasing.

Nota: Libor a 3 meses a 1,75113% para el 31 de enero según BCCR.

**Cuadro 62**  
**Condiciones de financiamiento para buses eléctricos ofrecidas por el Banco de Costa Rica**

Término de financiamiento	Valor
Porcentaje de financiamiento	Máximo 85%
Tasa fija	Libor a 6 meses + 5,50%
Tasa variable	Libor a 6 meses + 5,50%
Plazo	84 meses
Comisión	1,45%

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información brindada por Banco de Costa Rica.

Nota: Libor a 6 meses del Banco Central cerró en 0,82% para el 13 de marzo del 2020. Términos de financiamiento aplicables únicamente para marcas coreanas.

Según los términos de financiamiento presentes en las líneas para adquisición de autobuses de ambas tecnologías se resalta el esfuerzo por parte de los bancos en ofrecer términos que sean más laxos y favorables para las tecnologías eléctricas. Lo que brindará el incentivo por la adquisición de vehículos eléctricos que se suma al incentivo dado por la Ley No. 9518.

Sin embargo, se espera que los bancos que participan dentro del financiamiento de autobuses puedan ofrecer términos aún más favorables que incentiven la adquisición de unidades eléctricas y les permita como bancos destinar y diversificar parte de su cartera de crédito en iniciativas y proyectos de tipo ambiental.

## **2. Iniciativas de apoyo y esfuerzos para el financiamiento de proyectos ambientales**

En el contexto nacional, el compromiso del sector financiero con el desarrollo ambiental y sostenible llegó a su punto cumbre durante junio del 2019, cuando el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), a través de la Dirección de Cambio Climático, la Superintendencia General de Entidades Financieras (SUGEF) y la Superintendencia General de Seguros (SUGESE) llevaron a cabo talleres de diálogo con entidades bancarias y financieras. Dentro de los temas abarcados estaban los relativos al cambio climático y algunos de los riesgos que representa.

Estos espacios son impulsados por la convicción de que las entidades financieras puedan cumplir una función de orientadores en la correcta asignación de crédito bancario para el desarrollo sostenible, y esfuerzos desembocaron en productos como el Protocolo Verde para la banca.

El propósito de este Protocolo es alinear los esfuerzos comunes para la creación e implementación de políticas, que, junto a mejores costumbres bancarias, estén en pro de la armonía con el desarrollo sostenible, bajas emisiones de carbono, resiliencia a los efectos del cambio climático y sin comprometer las necesidades y oportunidades de las generaciones futuras (AED, 2019).

El anuncio realizado por la Alianza Empresarial para el Desarrollo (AED, 2019) señala que dicha suscripción al Protocolo Verde para la Banca iba a contar con la participación del Banco Nacional de Costa Rica, Banco de Costa Rica, Banco Popular, BAC Credomatic, Banco Davivienda, Banco Promérica, Banco Lafise, Financiera Cafsa, Financiera G&T Continental, MUCAP, Coopeservidores y Coopeande, contando también con la SUGEF, SUGESE y MINAE como testigos de honor.

El Protocolo Verde fue acordado previamente en Colombia por los miembros de la ASOBANCARIA de Colombia, siguiendo los ejemplos de protocolos verdes anteriormente acordados en países como Brasil, India, Nigeria, Israel, entre otros. Dichos protocolos cuentan con objetivos que buscan vincular los intereses de la banca con los objetivos de largo plazo del país, además de incentivar la protección al medio ambiente en actividades bancarias financieras.

La principal estrategia o método de cumplimiento del protocolo es la creación de instrumentos que promuevan el financiamiento de actividades sostenibles. Además, el protocolo exige consideraciones de riesgo ambiental y social en las evaluaciones de inversión. Es decir, dentro de los aspectos a considerar por los bancos, como lo son la rentabilidad, términos de financiamiento y demás, es necesaria una identificación de los posibles costos e impactos ambientales y sociales para los análisis de inversiones.

Dicha consideración va de la mano con algunas de las conclusiones obtenidas desde el análisis del diferencial de las estructuras de costos entre tecnologías. Ya que gran cantidad de ideas, iniciativas y proyectos ambientales no se realizan dadas las exigencias de rentabilidad privada muy altas y las pocas o nulas consideraciones sobre impactos ambientales.

Además de consideraciones sobre los términos de financiamiento y creación de nuevas líneas de productos, los protocolos e iniciativas que velan por el desarrollo sostenible desde el mercado financiero también apuntan a que los servicios y productos sean amigables con el ambiente. Es decir, que las actividades corporativas se lleven a cabo de una manera eco-eficiente considerando las emisiones de carbono por actividades productivas, gestiones de desechos, ahorros y mejor eficiencia en uso de recursos e insumos, entre otros.

Durante octubre del 2019 tanto la SUGESE como la SUGEF coordinaron y llevaron a cabo mesas de diálogo climático en el sector financiero. Dentro de dichos diálogos abarcaron temas como las metas y el proceso para lograr el Plan Nacional de Descarbonización y el protagónico papel del transporte dentro del total de emisiones del país. Resaltando entonces la necesidad de herramientas que prioricen y atraigan mayor inversión en este sector.

Paralelo a los compromisos adquiridos mediante el Protocolo Verde y las acciones pertinentes para los objetivos planteados, la discusión abordó temas referentes a la Banca Responsable de las Naciones Unidas (UNEP). Dicha iniciativa involucra más de 130 bancos alrededor del mundo, de los cuales 22 se encuentran en Latinoamérica, y Costa Rica mantiene dos miembros (Banco Promerica y Coopeservidores) (SUGEF Y SUGESE, 2019).

La iniciativa por parte de la UNEP busca la articulación de mecanismos claves para lograr los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en América Latina las acciones se concentran en impulsos de financiamiento a proyectos verdes a través de su Iniciativa Financiera (UNEP-FI) y acuerdos con socios, entre los que destacan en Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial mediante su grupo de Finanzas Corporativas Internacionales (IFC), entre otros.

Para que los bancos nacionales adquieran compromisos con la UNEP; los CEO deben comprometerse con los objetivos y requerimientos del programa, después, dichos compromisos son aceptados por el UNEP FI y se procede a brindar los apoyos para cumplir con los nuevos objetivos adquiridos.

Además, dicha iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) brinda principios de sostenibilidad para Seguros Sostenibles. La iniciativa tiene de antecedentes estudios sobre riesgos y oportunidades para el sector de seguros en temas ambientales, sociales y de gobernanza (SUGEF y SUGESE, 2019).

En el 2012 la iniciativa logra un documento final que brinda los principios de acción por parte del sector para apoyar los ODS. La participación y apoyo se realiza manteniendo relaciones tanto directas, como indirectas, con el mercado o ente asegurador (es otras palabras, participación de primer y segundo nivel).

Entre los principios que deben ser integrados en la estrategia de operación están la rendición de cuentas y mejoras en transparencia, mayor colaboración tanto con socios como con clientes, promover la acción de gobiernos y entes reguladores para la acción climática en las operaciones, así como otras actividades que generen impacto directo en los clientes y las actividades financieras (SUGEF Y SUGESE, 2019).

Entre otras propuestas y adhesión a conjuntos de principios que consideren mejores prácticas financieras y sociales para la sostenibilidad de las empresas, y que fueron abarcadas por la SUGEF y SUGESE, destacan los Principios de Economía Verde, propuestos por la Bolsa Nacional de Valores, y el Protocolo Verde de la Cámara de Bancos.

Tanto bancos como aseguradoras pueden verse incluidos en los procesos de electrificación de la flota nacional de buses. Los bancos pueden ofrecer términos de financiamiento especiales para las empresas concesionarias que busquen financiar unidades eléctricas, así como el sector de seguros pueden ofrecer mejores condiciones para las placas registradas como tecnologías limpias.

Además, los bancos y empresas aseguradoras podrían participar en fondos de compensación para obtener la carbono-neutralidad y apoyar los objetivos nacionales de descarbonización. Asociaciones público-privadas de este tipo se observan en iniciativas como el Programa ONU-REDD y el FONAFIFO; los cuales brindan compensaciones para protección de zonas forestales mediante créditos verdes, que pueden ser adquiridos por empresas para así obtener su carbono neutralidad.

Existen también otros compromisos y fondos que buscan cooperar con el avance del desarrollo sostenible y descarbonización de la economía en América Latina. Entre ellos destacan fondos como la Iniciativa Internacional del Clima de Alemania, el Fondo Verde para el Clima y el adquirido por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) mediante los Bonos Verdes del CAF, entre otros.

Gran mayoría de estos fondos consideran como elegibles proyectos relacionados al transporte limpio y eficiencia energética, por lo que es de esperar que en un futuro próximo se presenten opciones de colaboración para la adquisición de flotas eléctricas en el país.

Es importante señalar que el contexto actual de pandemia ha frenado en gran medida muchas actividades económicas, lo que compromete el crecimiento económico, la producción y otros aspectos del bienestar. Es importante reactivar los distintos sectores económicos y es entendible que algunas operaciones deben realizarse mediante financiamiento, lo cual le permite a los bancos y sector financiero seguir manteniendo flujos en sus cuentas, colocación de crédito que brinden rentabilidad y hasta sean ambientalmente amigables.

Por lo tanto, con una mejor percepción de los beneficios que el encadenamiento de los sectores de transporte y energía brindarían para el país, parece congruente encadenar dentro del modelo de negocios a las empresas del sector de banca, seguros y hasta repuestos. Y a pesar de que se observa

más explícitamente el compromiso de estas empresas por lograr sostenibilidad en sus operaciones y mejorar la conciencia ambiental, resulta relevante comenzar a engranar la economía de manera que se pueda cumplir con los objetivos de descarbonización ya adquiridos por Costa Rica de una manera que incluya la mayor cantidad de actividades productivas como sea posible.

### **3. Barreras y desafíos por superar que permitan facilitar el financiamiento de autobuses eléctricos en Costa Rica**

Los principales factores de riesgo que afectan el desarrollo en el mercado de electromovilidad, por lo tanto, el financiamiento ofrecido desde la banca comercial puede resumirse en:

- Escasa oferta, hasta el momento, de términos y líneas que permitan el financiamiento de los montos necesarios para la adquisición de todo el equipo e infraestructura requerida para el funcionamiento de autobuses eléctricos. A pesar de que la banca comercial estatal presentó en el 2019 distintos términos preferenciales para la adquisición de vehículos particulares eléctricos, no ha sido el caso para los autobuses. Además, los grandes montos de financiamiento hacen que los términos de apalancamiento no se puedan presentar de una manera “estándar” para los operadores, sino que deba ser negociado durante el proceso con la dificultad existente de banquear correctamente a las empresas autobuseras.
- Las complicaciones que pueden generarse en el proceso de electrificación generan un riesgo mayor para el pago de la deuda. Por ejemplo, atrasos en la entrega de equipo, instalaciones o adaptaciones a las redes, además de posibles complicaciones durante la operación de los buses y atrasos en la importación de repuestos pueden provocar que el uso de los autobuses se aplase. Lo que generaría efectos sobre los ingresos de los operadores y eventualmente sobre su capacidad de pagar su deuda por financiamiento. Por esto, seguros adicionales, garantías de proveedores o tiempos de gracia para comenzar la amortización de la deuda pueden llegar a ser necesarios.
- A pesar de que los concesionarios y oferentes del servicio de autobuses son considerados como empresas grandes y capaces de financiar (en gran medida) con recursos propios la adquisición del equipo necesario se menciona por parte de los bancos cierta preferencia de los autobuseros en utilizar la opción de financiar dicha adquisición. Sin embargo, el tamaño de estas empresas que ofrecen el servicio de transporte muchas veces los excluye de programas de financiamiento y acompañamiento que ofrecen mejores tasas, ya que algunos programas como el del Sistema de Banca de Desarrollo (SBD) ofrece términos de financiamiento inclusive a la tasa básica pasiva de Costa Rica pero únicamente para micro, pequeña y mediana empresa. El financiamiento para proyectos de este tipo, que brindan gran cantidad de beneficios ambientales y sociales podría ser realizado a tasa preferencial, o mediante algún programa destinado a empresas que, a pesar de tener un tamaño grande de operaciones, muestren compromiso para la electrificación de flotas u otros proyectos de índole ambiental.
- A pesar de que las empresas autobuseras se considera que son bastante estables con sus ingresos, la electrificación de la flota genera costos adicionales que pueden poner en riesgo dicha estabilidad. Para ello, una adaptación de las metodologías tarifarias por parte de los entes reguladores se hace indispensable para brindar seguridad tanto a los autobuseros como a las entidades financieras, principalmente de que se puedan solventar los costos adicionales por financiamiento y adquisición de buses eléctricos. Dicha readecuación del sistema tarifario está en proceso y se espera que pasada la condición de pandemia que atraviesa el planeta pueda ser evaluada en auditoría pública. Existen otros aspectos regulatorios generan gran sensibilidad en las decisiones de inversión y necesitan ser abordados también, como el caso de las tarifas eléctricas para centrales de autobuses, sistemas de conteo de pasajeros y otras regulaciones al servicio.

- A nivel nacional se requiere una mejor planificación sobre las estaciones de carga, principalmente porque algunas rutas podrían necesitar cargas cortas durante el recorrido, para ello podrían utilizar alguno de las casi 140 estaciones colocadas a través del país<sup>34</sup>, pero todo este proceso de planificación generalmente precede a la búsqueda de financiamiento. La colocación de estaciones de carga en los mercados municipales que cuenten con estaciones de buses, paradas estratégicas o lugares con altos flujos de pasajeros puede ser también necesarios.
- A pesar de que se ha comunicado por parte del gobierno de Costa Rica que el ICE será el encargado de realizar la adaptación eléctrica en los planteles para aquellas empresas que quieran comenzar con la electrificación de la flota, y que por su parte el INA se encargaría de aportar en capacitaciones a los mecánicos de las empresas comprometidas para el mantenimiento de los equipos, aún existe incertidumbre por parte de los autobuseros sobre el abordaje de estos procesos, las diferencias en costos y salarios que podrían ocasionar y inclusive de la misma capacidad que dichos entes gubernamentales para seguir brindando la asistencia. Esto colabora con que los procesos de electrificación se pausen y las entidades bancarias tengan consideraciones adicionales para brindar líneas y términos de financiamiento especial.
- Un aspecto característico sobre las tecnologías de combustión interna es lo estables que son los datos y factores de eficiencia para los buses automotores. Para el caso de las tecnologías eléctricas, la información existente en la literatura presenta variaciones no despreciables en los rendimientos y eficiencia en el uso de energía. Este hecho compromete a las empresas prestadoras de servicio ya que no se sabe con certeza si los autobuses tendrán un óptimo desempeño al realizar sus rutas. Además, se debate la eficiencia y vida útil de las baterías y si las estaciones puedan llegar a cumplir con los estándares necesarios, entre otros. Esto hace que los proyectos de inversión y financiamiento muestren variabilidad que podría reflejarse en grandes sumas de dinero imprevistas, pero necesarias para mantener la operación de los buses, y estos requerimientos adicionales podrían comprometer las capacidades de pago de los autobuseros y la capacidad de financiamiento de los bancos. A pesar de esto, el plan piloto en Costa Rica se ha extendido durante el 2020, además de existir planes similares en distintos países de Latinoamérica y el mundo, por lo que tanto el intercambio de información entre partes como la cooperación financiera para que dicho mercado permanezca competitivo resultan principalmente relevantes en este contexto.
- A pesar de que en Costa Rica se aprobó la Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico durante el 2018, dicha ley aplica el mismo monto máximo para exoneraciones tanto para vehículos eléctricos como para autobuses (no aplica exoneraciones para el monto después de los USD 60.000). Por esto, a pesar de que la Ley aplicada para las empresas concesionarias del transporte público es distinta, se puede mejorar la Ley Fiscal, de tal manera que propicie tanto la adquisición de buses mediante la reducción de tasas impositivas o el aumento en los montos para exoneración. Así como la definición de mejores términos de fiscalización para financiamiento, leasing, adquisición u otra actividad financiera que involucre buses eléctricos y el equipo necesario por parte de las entidades financieras. Esto con el propósito de que empresas que se encargan de transporte privado o turístico tengan mayor incentivo de realizar la electrificación de la flota y no solo las unidades de empresas concesionarias.

---

<sup>34</sup> Electromaps, Costa Rica: <https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/costa-rica>.

A modo resumen, el mercado de transporte mediante autobuses eléctricos se encuentra muy prematuro en distintas partes del mundo. La falta de información y las grandes diferencias de los precios hacen que los inversionistas y empresas financieras mantengan cierto escepticismo sobre la verdadera rentabilidad de estos proyectos, por lo que de momento el sector financiero parece no observar opciones claras y específicas para financiar este tipo de vehículos.

A pesar de esto, nacionalmente se extendió el plan piloto que hace uso de esta tecnología, mediante el que se busca recopilar información sobre eficiencia y mantenimiento de los buses. El progreso de la electrificación parece un proceso inminente, y así lo observan los distintos ejecutivos y gerentes financieros consultados, por lo tanto, próximamente puede surgir mayor interés por parte de más empresas autobuseras por electrificar su flota. Es de esperar que de ese proceso surgirán nuevas líneas y términos de financiamiento por parte de los bancos nacionales.

De particular relevancia es observar que en el caso de este sector de e-buses y rutas concesionados, y debido a la presencia de externalidades positivas relevantes, se esperaría que el Sistema de Banca para el Desarrollo, así como otros recursos para la descarbonización (como el Fondo Verde, del BCIE, BID, entre otros) ejerzan un mayor papel brindando financiamiento a tasas sustantivamente bajas de largo plazo con consideraciones de mitigación del cambio climático, y con ello potenciar un caso demostrativo, en un país relativamente pequeño pero con liderazgo ambiental, como Costa Rica.



## V. Conclusiones y recomendaciones

El trabajo presentado tenía como objetivo evaluar el impacto en la economía costarricense de la incorporación de buses eléctricos en rutas de transporte público concesionadas, proceso que fue establecido mediante la Ley N° 9518 (2018). Dicha ley, en su Artículo 28 señala que el Programa Nacional de Transporte Eléctrico “establecerá el programa para que la flota vehicular de autobuses concesionado en el país realice, de forma paulatina, la sustitución a vehículos eléctricos, con previa autorización técnica y legal del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), de conformidad con viabilidad financiera y cuando las condiciones de las rutas de autobuses lo permitan”. La tasa de remplazo estipulada es una no menor al 5% de la flota bianualmente.

La meta se enmarca dentro del Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2019) y está en línea con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022 (2019) y políticas ambientales del país. Ese esfuerzo complementa el Proyecto de Sectorización y modernización del Transporte Público (2018), el cual busca reducir la cantidad de buses que ingresan al centro del Área Metropolitana de San José (AMSJ). La definición de una política de sectorización ha sido analizada en diferentes gobiernos. Se argumenta desde el punto de vista económico que esa política generaría una reducción de la congestión vial, del consumo de diésel, gasolina y emisiones, accidentalidad, ruidos, entre otros, y que potencialmente se lograrían beneficios económicos (para toda la sociedad) relevantes. Sin embargo, su aprobación y detalles técnicos están pendientes de darse a conocer.

El presente estudio se realizó utilizando bases de datos provista por la ARESEP, lo que permitió considerar las prácticas, normas y criterios más recientes por parte de esta institución (como el costo ponderado del capital, periodo y tasas de depreciación, tarifa de electricidad para este fin, además de proveer información detallada de las estructuras tarifarias y bases de datos de rutas concesionadas y pasajeros, entre otros). Adicionalmente, se utilizó información provista por el CTP (MOPT); así como información a partir de entrevistas de autobuseros y diferentes funcionarios, tanto públicos como privados.

A lo largo del estudio, éste se nutrió a través de diversas presentaciones de resultados, así como talleres para funcionarios del MIDEPLAN, de la CEPAL, y un numeroso grupo de especialistas en el tema y funcionarios que participan en el CETP (Comité para la Electrificación del Transporte Público, el cual reúne a funcionarios nacionales, especialistas y oficiales de organismos de cooperación técnica, tales como el BID; GiZ, CEPAL, Banco Mundial, y otros).

A pesar de que el artículo 28 de la Ley N° 9518 supedita el remplazo de la flota de autobuses a su viabilidad técnica y financiera; también se generarían beneficios económicos (para la sociedad como un todo) más allá de los financieros y privados captados por los empresarios concesionados. Lo anterior debido a las relevantes externalidades positivas asociadas a dicho remplazo —reducción de emisiones de consumo de diésel y sus gases de efecto invernadero (GEI), del material particulado, ruido, entre otros, y de la reducción de sus efectos negativos sobre la salud de las personas—. El sector autobusero genera un 2,24% del consumo total de energía nacional y consume casi un 5% de la energía demandada por el sector de transporte terrestre, esto a pesar de que representa el 1,21% de la flota de vehículos.

Para el 2019 había poco más de 5.000 buses concesionados en el país y alrededor de 2.100 dentro del AMSJ. De la revisión econométrica de los datos, se encontró que la serie de flota de autobuses es no estacionaria, y que crece a una tasa promedio del 1,3% anual. A partir de esos niveles se simula el impacto de la sectorización, considerando una reducción del 20% de la flota. Lo anterior con objeto de lograr proyectar la flota de buses del AMSJ bajo escenarios con y sin sectorización.

De acuerdo a lo citado en artículo 28, de ser técnica y financieramente factible, a la tasa promedio de 2.5%/año de remplazo de la flota de buses del AMSJ, implicaría que para el 2040, habría poco más de mil buses eléctricos (lo que representaría casi el 50% de la flota de buses del AMSJ para ese año), y para el 2060 se lograría el 98% del remplazo (en cuyo caso, ya se habría requerido reemplazar buses eléctricos por nuevos buses eléctricos). En ese contexto, se estima que en el 2050 la operación de buses eléctricos representaría casi 42 millones de litros de diésel no consumidos, lo que generaría un ahorro de divisas de poco más de USD 61 millones en ese año.

El estudio contemplaba varios componentes sustanciales adicionales: el análisis a nivel macroeconómico —análisis intersectorial, de encadenamientos, empleo y una simulación del impacto macroeconómico intersectorial con información provista por el BCCR—; el análisis de evaluación de viabilidad financiera-privada, con base en el método convencionalmente utilizado en estos casos —el método de costos totales para el dueño (por sus siglas en inglés, TCO)— y la evaluación económica. Posteriormente, se incorpora un análisis de políticas, instrumentos económicos y mecanismos de internalización de las externalidades positivas derivadas de la incorporación de los buses eléctricos por parte de los concesionarios, y sus impactos en la rentabilidad financiera. Dichas políticas acuden a mecanismos para internalizar las externalidades mencionadas.

Finalmente, dado que el transporte en autobús en rutas concesionadas es un servicio público por ley, y según la regulación establecida por la ARESEP, se analiza el efecto incremental en los ingresos reconocidos a los concesionarios mediante tarifas, en particular en lo relativo al reconocimiento del rubro de depreciación y de rentabilidad por inversiones en capital fijo (principalmente dependientes del valor tarifario del bus). Además, se analiza cómo varían la viabilidad privada al adicionar ese aspecto al obtenido con el método variación en costos de propiedad (TCO).

La rentabilidad o viabilidad financiera de ese remplazo de buses diésel por eléctricos depende de un importante conjunto de condiciones y parámetros, los cuales a su vez están determinados en diferentes mercados y contextos globales y locales (del diferencial en la inversión asociada a la adquisición de las unidades, precio del diésel, costo de la electricidad, costo de batería), pero también está definido por condiciones e instrumentos de mercado financiero interno, metodología y parámetros autorizados por el ente regulador en la estructura tarifaria (ARESEP) (por ejemplo dentro de los financieros, condiciones de la concesión, variación en costos operativos permitidos, tasa de depreciación concedida y rentabilidad por inversión en capital fijo, por citar algunos).

Adicionalmente, la rentabilidad muestra dependencia de si dentro de la actividad de concesión de rutas de transporte remunerado en buses las políticas ambientales posibilitan, o no, la internalización en algún grado de las externalidades positivas, y por ende de esos beneficios económicos generados por los concesionarios al realizar el remplazo de unidades. La ley de regulación indica que debe velarse porque la prestación del servicio sea a costo. Se ha señalado que se trata de una prestación a costo económico y por lo tanto, se deberían incorporar las internalizaciones necesarias.

Este proyecto, por lo tanto, en conjunto con la contrapartida técnica del MIDEPLAN, consideró oportuno que el estudio proveyera, no solo la determinación de la rentabilidad financiera —según el método de TCO— para un conjunto de valores específicos de esos parámetros financieros. Lo anterior ha sido realizado por otros estudios, los cuales están supeditados a esos valores específicos y supuestos coyunturales de esos parámetros. En este estudio, además de estimar rentabilidades financieras para valores actuales de esos parámetros, se determina a partir de qué niveles o valores de esos parámetros es o no financieramente (en términos privados) rentable dicho remplazo. Además, se estiman los indicadores de rentabilidad privada para un amplio conjunto de variación de los principales parámetros (relativo a costo de las unidades de diésel y eléctricas, baterías, tasas de descuento, entre otros). Esto permite que los resultados no solo dependan de esos valores específicos de esos parámetros; sino que ofrece información suficiente de la sensibilización de los indicadores de rentabilidad ante variaciones de estos. Esto posibilita que el estudio no pierda vigencia ni esté supeditado a unos valores específicos; así como le permite ofrecer más información para apoyar el diseño de políticas y tomas de decisiones, y señalar los supuestos determinantes para la rentabilidad.

El estudio siguió una metodología de valoración en línea con la establecida por la Unión Europea (2014): primero se revisa la viabilidad financiera, en este caso, si los indicadores muestran que el proyecto es financieramente rentable —términos privados—, el incentivo de búsqueda de ganancias debería estimular su incorporación. De no ser financieramente rentable, no surgirá “automáticamente” en el mercado, y por lo tanto conviene evaluar su rentabilidad económica —a precios sociales, es decir a nivel de toda la colectividad o la economía como un todo— y considerar el establecimiento de políticas públicas para su estímulo. El análisis de beneficio costo económico (ABC) utiliza los precios sociales (establecidos por MIDEPLAN) y otros valores para reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>e, beneficios económicos por reducción de daños en salud asociados a menores emisiones de particulado, entre otros.

Considerando la naturaleza de servicio público regulado (ARESEP), se analiza el efecto incremental en los ingresos reconocidos a los concesionarios asociados al introducir los buses eléctricos, y cómo varían la viabilidad y rentabilidad privada de los mismos a vista de un operador de concesiones.

Para el análisis financiero —privado— bajo el método TCO (por sus siglas en inglés), se incluyen las diferencias de costos de adquisición (CAPEX) y el diferencial de costos operativos (OPEX), así como los costos de financiamiento. El periodo de análisis es de un horizonte a 15 años, lo que coincide con la vida útil de dos baterías eléctricas y los plazos de vida útil, depreciación y rentabilidad permitidos en metodologías tarifarias (según reglas tipo 2), además, se usa un valor residual del 10%, tasa de descuento según ARESEP del 13,01%, la tasa de inflación meta del BCCR (3% ±1) y un kilometraje anual de 45.000 km/año (con un porcentaje de recorrido improductivo del 10%). La mayoría de estos parámetros posteriormente se sensibilizan para mostrar flexibilizar el análisis a esos parámetros y otros factores. Ese método (TCO) asume que al introducir una variación tecnológica en la producción, en este caso prestación del servicio, los ingresos no varían. Ese supuesto permite concentrar el análisis en la variación de costos y en los ahorros asociados resultantes de la modificación tecnológica. Es un análisis para un actor del mercado que no controla o tiene injerencia sobre los precios, y por lo tanto se focaliza en determinar si el ahorro en costos justifica la inversión.

Los resultados evidencian que debido a la importancia relativa de precios entre el bus de diésel y eléctrico, la diferencia de flujos (con una tasa extrema inferior de cero) asciende a más de USD 90.000 debido principalmente al mayor costo de los buses eléctricos —con un financiamiento a 8 años, un apalancamiento de 80% y bajo las mismas condiciones financieras—. A partir de ese monto, dicha diferencia financiera varía según la tasa de descuento. Lo anterior evidencia que las condiciones del mercado y los instrumentos financieros son altamente relevantes en la introducción de buses eléctricos. En ese sentido, este estudio encontró que el mercado financiero local carece de una oferta de instrumentos financieros para la compra de buses eléctricos, particularmente debido a la incertidumbre asociada con la sectorización, la renovación de concesiones, oligopolio en el sector financiero nacional, entrada en vigor del recambio, y práctica de empresarios de autofinanciarse e ir haciendo cada vez más vertical la operación de las rutas concesionadas, a través de la creación de empresas y/o consorcios para auto suplirse de equipo o hacer uso de financiamiento propio.

Los indicadores de rentabilidad financiera siguiendo el enfoque del TCO, evidencian la dificultad para recuperar los sobrepuestos de buses eléctricos respecto a los de diésel (precio del bus y estación de carga eléctrica USD 420 mil en comparación a los USD 127 mil del bus diésel). Lo anterior, como se indicó en particular debido a las tasas de interés y rentabilidades privadas autorizadas —por ARESEP—, el TCO muestra un diferencial de costos con un VAN negativo e igual a -USD 134 mil. Es decir, en este caso el bus eléctrico presenta sobre costos que, traídos a valor presente, superan en 134.000 dólares a sus contrapartes diésel. La tasa interna de retorno (TIR) bajo este escenario es de negativa e igual a -4,80%. Las tasas de descuento al nivel de rentabilidad del capital establecida en las metodologías tarifarias (13,01%) desvaloran en gran medida los ahorros futuros (de combustible y otros). Al simular la rentabilidad privada, bajo este enfoque de TCO, se encontró que esta comienza a ser positiva con precios menores a los USD 255 mil /bus eléctrico.

El valor exacto final de los indicadores de rentabilidad privados depende del kilometraje de cada ruta, así como de otros factores. Por ejemplo, en el caso de buses autofinanciados y con tasas de descuento iguales a cero, el VAN residual resulta negativo en apenas USD -19 mil, lo cual evidencia la relevancia de la tasa de interés y de rentabilidad permitida. Los resultados del desempeño financiero están afectados por: el kilometraje específico de la ruta, la dinámica seguida por el precio del crudo de petróleo y del diésel, la tasa de descuento utilizada, naturalmente por el diferencial de costos de los buses —lo cual está influenciado por la norma Euro exigida al bus diésel y las condiciones financieras negociadas—, plazos y tasas aplicadas a saldos de deudas —las cuales pueden incluso generar pagos mayores a los consumos de electricidad—. Por ejemplo, con tasas del 8%, precios de bus diésel de USD 190 mil y del bus eléctrico de USD 320 mil, el diferencial del VAN privado es cercano a cero. Sin duda la comparativa evidencia lo sensible de la rentabilidad privada a la norma Euro permitida por la CTP, la cual afecta el precio del bus diésel. También, hay países como Chile que han logrado consolidar compras de más de cien unidades de buses eléctricos (BYD), con lo cual han logrado relevantes descuentos por cantidad. En el caso de Costa Rica, si se consolidarán las compras de buses eléctricos, a través por ejemplo de algún instrumento financiero especializado, se podría lograr algunos beneficios en ese sentido.

El estudio además evaluó el impacto en la rentabilidad o viabilidad privada de internalizar (incorporar), a través de diferentes instrumentos económicos y políticas esas externalidades. Si se reconoce que la electromovilidad genera externalidades positivas es congruente también, como ha realizado la política ambiental de Costa Rica, internalizarlas. El ejemplo claro es el Pago de Servicios Ambientales (PSA) del FONAFIFO para la fijación de carbono. En este caso se podría internalizar por evitar emisiones de CO<sub>2</sub>e al utilizar buses eléctricos.

El análisis beneficio costo económico (ABC) permite determinar si la inversión es socialmente beneficiosa. Para esto se utilizan precios sociales según MIDEPLAN, y en los casos en los que el precio no es determinado, como en emisiones de GEI, particulado y ahorros en salud, se estiman utilizando diversos parámetros (desde los reconocidos por PSA hasta otros estimados por organismos internacionales).

Los resultados del ABC económico muestran que, al considerar dentro de las estimaciones los precios sociales indicados por MIDEPLAN (2019), así como internalización según los precios referentes al costo social del carbono señalado por Alatorre, J., Caballero, K., Ferrer, J. y Galindo, L.M. (2019), los precios que estiman los daños de salud por gases contaminantes estimados por la EEA (2018), ruido, y los diferenciales presentados en la valoración privada se giran los resultados a favor de la implementación de las tecnologías eléctricas, que desemboca en una tasa interna de retorno positiva (3,41%).

Sin embargo, dicha tasa no es mayor a la tasa social de descuento, lo que resalta la ausencia de consideraciones sobre tasas de descuento que acudan a inversiones de largo plazo y de proyectos ambientales, lo que genera deterioros en los ahorros futuros de la tecnología eléctrica y no capta la importancia del creciente costo social del carbono y contaminantes.

Los resultados de políticas de internalización mediante diferentes instrumentos económicos indican que las compensaciones por menores emisiones deben realizarse de manera que reflejen los costos sociales sobre la población (ya que compensaciones con precios bajos no generan grandes cambios en las estructuras de costos). Además, existe espacio la coordinación entre las empresas concesionarias para realizar las órdenes de unidades simultáneamente, con el propósito de aprovechar las posibles economías de escala de los fabricantes y hacer la inversión relativamente más llamativa.

Retomando el aspecto que se indicó relativo a que en Costa Rica el servicio de transporte en autobús está definido como un servicio público regulado por la ARESEP, por lo tanto, el servicio es brindado mediante una tarifa aprobada acorde a la estructura de costos estimada para cada empresa concesionaria. Esto genera diferencias desde la perspectiva del inversionista, ya que la empresa dispone de una posición monopólica para solicitar autorización por la tarifa (a diferencia del precio dado en un mercado de competencia perfecta).

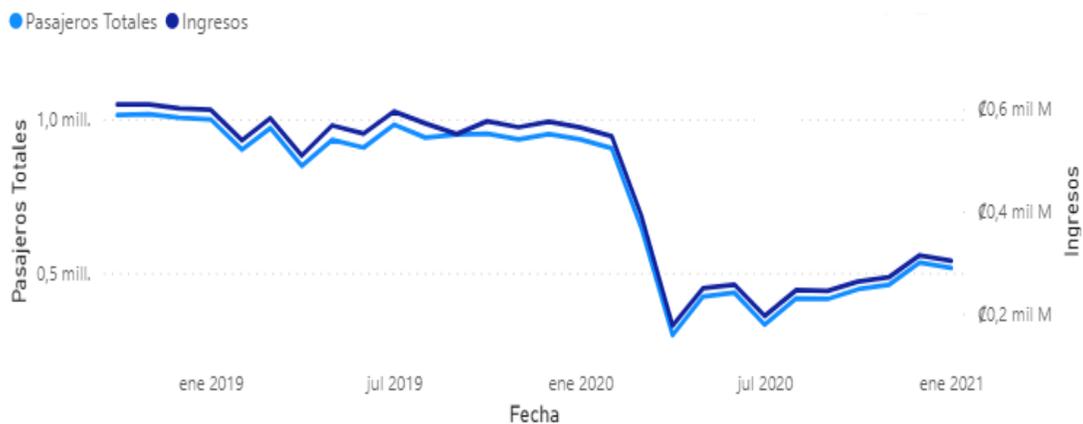
Dada una viabilidad técnica de la ruta para su electrificación, la viabilidad financiera depende de las condiciones de la ruta, de la metodología tarifaria y los rubros y parámetros que ésta establezca y reconozca. Dicho esto, los aumentos en las estructuras de los costos —impulsado por mayores costos por depreciación y rentabilidad, causados por un mayor valor tarifario de los buses eléctricos— se reflejan en una mayor tarifa para el usuario (y la única cobrada para esa ruta), lo que podría generar un efecto redistributivo regresivo en los usuarios según los deciles de ingreso en los que se encuentren.

La recuperación del 100% del valor del bus, así como del 13% de rentabilidad anual sobre su valor residual mejoran en gran medida los flujos privados y resultados de inversión privada, mostrando rentabilidad regulada privada positiva. Los impactos sobre los ingresos de los usuarios podrían mitigarse mediante las políticas de internalización y regulación, algunas de las cuales fueron abordadas en el informe. Entre ellas, se destaca la importancia revisar las exigencias técnicas para las unidades diésel importadas, así como mejores instrumentos financieros con términos más laxos, creación de mecanismos para pagos por servicios ambientales. La internalización permite que los aumentos tarifarios sean menores a pesar de que las unidades eléctricas sean bienes más onerosos (lo que implica mayor impacto en la tarifa y posibles efectos regresivos).

Es de particular relevancia incluir regulaciones sobre otros ingresos resultados por externalidades pecuniarias, así como generación de ingresos asociados al monopolio de operación de la ruta concesionada y/o publicidad contratada. Lo anterior, junto con la internalización de emisiones, ejercería un factor compensatorio del impacto distributivo regresivo asociado a incrementos en las tarifas. El ejercicio realizado para verificar la diferencia en el aumento tarifario por una renovación de buses —según la tecnología— muestra que, a pesar de que la implementación de buses eléctricos no representa aumentos explosivos en la tarifa definida (no se presentan aumentos superiores al 10% por cumplir con el Art. 28 de la Ley N°. 9518), y de que se requiere todavía incluir los beneficios brindados por la tecnología, los aumentos presentados por la sustitución de buses por buses eléctricos son mayores a los presentados por unidades diésel (asociado a mayores costos de rentabilidad y depreciación).

Existe la preocupación de que una mayor tarifa cause que, por medio de la elasticidad demanda, la cantidad de pasajeros disminuya, lo que puede causar un efecto en cadena —al ser los costos distribuidos entre menos pasajeros— y resultar en una nueva tarifa aún mayor. A esta posibilidad se agrega la condición actual de pandemia que ha afectado fuertemente el servicio de pasajeros mediante autobuses, llevando a que una importante cantidad de personas trasladaran gran cantidad de actividades hacia sus casas, aplicaran normas de distanciamiento social y evitaran lugares muy conglomerados. La enfermedad del COVID-19 generó una disminución drástica en la cantidad de pasajeros que se movilizan mediante autobuses, que inclusive algunas rutas vieron afectados la cantidad de pasajeros o usuarios en más del 50% (datos de ARESEP, 2020). Un ejemplo de esto se observa gráfico 33 donde se identifica que la demanda de pasajeros para una ruta de alto tránsito como lo es la ruta San José—Cartago disminuyó considerablemente y se mantiene actualmente a un nivel cercano al 50% del presentado antes de la pandemia.

**Gráfico 33**  
Cantidad total de pasajeros regulares e ingresos relacionados, ruta San José—Cartago y viceversa



Fuente: Datos públicos brindados por ARESEP (2020).

Relacionado a los encadenamientos productivos del sector y su aporte en el Producto Interno Bruto del país, se encontró que el sector de transporte terrestre, en el que se encuentra este servicio público, ha venido intensificando sus encadenamientos, principalmente hacia adelante. Sin embargo, posee una relativa débil capacidad manufacturera o de transformación (está por debajo del promedio de vinculación hacia atrás). Al analizar encadenamientos se encuentra que es un sector de bajo arrastre y concentrado.

Su vinculación principal es con la demanda final que hacen los hogares. Lo anterior muestra que, de estimarse actualmente la incorporación de este tipo de buses, generaría un crecimiento relativamente limitado en la demanda de insumos de los otros sectores locales. En particular debido a que se trata de una importación de bienes de capital, para la producción de un servicio fundamentalmente prestado a la demanda final, lo que limita la capacidad de generación de valor agregado o PIB de este y otros sectores. Ante un aumento en la demanda final del sector de transporte remunerado (NPO126) por un millón de USD (ajustado por paridad de poder adquisitivo), a nivel de compras (encadenamientos hacia atrás), se gastará 192.755 USD de forma directa, mientras que, a nivel global de toda la economía, se gastará 1.270.302 USD en otros bienes y servicios. A su vez, del lado de

las ventas (encadenamientos hacia adelante), ante un aumento de la misma magnitud (un millón de USD), se generan ventas a otros productos a forma de insumo por 75.130 USD. Pero el efecto de este incremento generará un aumento en ventas totales de otros bienes y servicios en 1.112.672 USD.

Los resultados evidencian que, ante incrementos en la producción, el sector es más propenso a variar el salario (por ejemplo, pagar horas adicionales) que la cantidad de empleados. Un incremento de la demanda de 100 millones de CRC, manteniendo los demás factores constantes, implica un incremento de aproximado de 4 trabajadores de forma directa y uno de forma indirecta. El sector ofrece una amplia oportunidad para incorporar empleo femenino en cual ha sido muy poco incluido en el sector de transporte público concesionado en rutas de autobuses. La microsimulación realizada con la matriz Insumo-Producto- del impacto anual asociado a la incorporación de autobuses eléctricos evidencia que: los encadenamientos hacia atrás y adelante permanecen prácticamente inalterados, el PIB del sector decrecería en 2,5% debido principalmente al diferencial en el costo entre unidades diésel en comparación de las eléctricas, el cual generaría un incremento en el monto de importaciones del sector cercano al 15%.

Lo anterior sugiere una valiosa oportunidad que merece estudiarse, tanto a nivel de políticas e instrumentos económicos, así como estimar y evaluar los beneficios y costos (privados y económicos) de un proyecto para establecer una industria de re-ensamblaje local, que reconvierta buses de diésel que van cumplan su período y los reconvierta en buses eléctricos renovados y que cumplan estándares de calidad. Esto permitiría incorporar el recurso humano calificado, incluyendo mano de obra femenina, estimularía encadenamientos hacia atrás, atando más fuertemente este servicio con el de manufactura, con lo cual se reducirían las importaciones de equipo, intensificaría la formación bruta de capital local y reduciría la importación de los buses a diésel, generaría ahorros de divisas, y potenciaría el crecimiento endógeno local.

Lo anterior amerita una evaluación a nivel macroeconómico de esos aspectos, así como una evaluación beneficio costo (privado y a precios sociales), analizar cuáles políticas e instrumentos económicos permitirían generar los mejores indicadores de rentabilidad financiera (privados) y económicos —a nivel de precios sociales—, y con ello incrementar el bienestar; reducir la reprimarización de la economía que se ha visto estimulado por el impacto de la pandemia, y ofrecer alternativas de reactivación que conlleven opciones basadas en innovación y generación de clústeres que sí se integren fuertemente entre sí a nivel local.

A las opciones de desarrollo mencionadas se suma que, al ritmo de sustitución brindado por la Ley N°. 9518 el país utilizará buses diésel por varias décadas más, por lo que conviene también estudiar a mayor profundidad desde el punto de vista macro, financiero privado y económico, una política agroindustrial de producción y homogenización de biodiesel, a partir de fuentes de materia prima locales —tempate y otros aceites vegetales, o aceites residuales— como alternativa para integrar a las economías rurales agrícolas en la producción de bio-energéticos asociados al sector de servicios de transporte, y con ello fortalecer la tercerización económica.

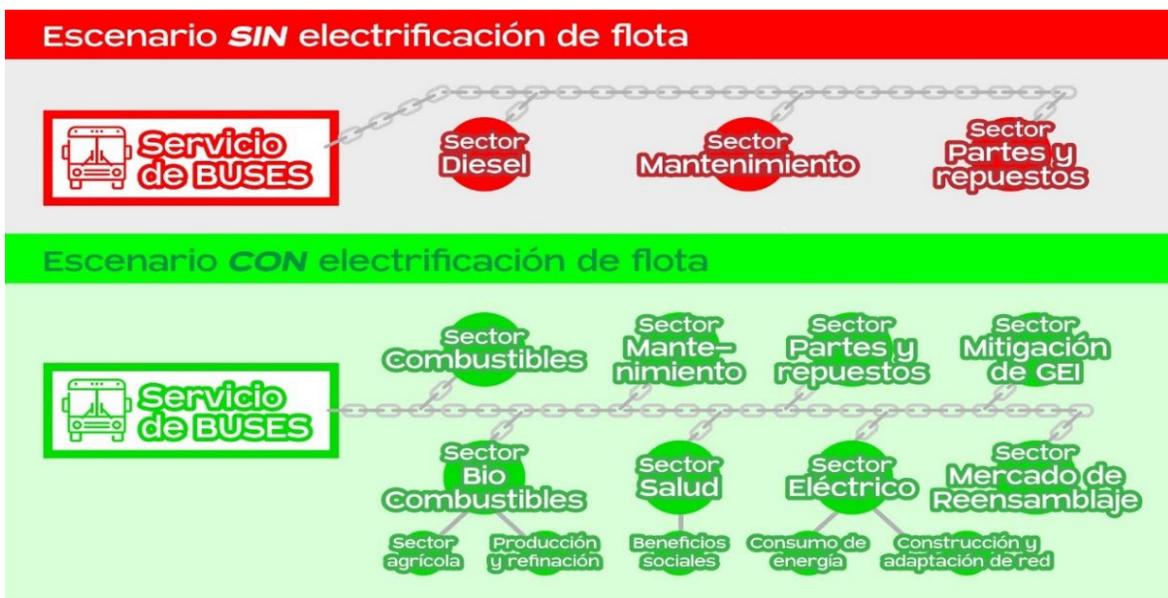
La evaluación financiera indica que, para una empresa en Costa Rica, pero bajo un mercado de competencia, los sobre costos de las tecnologías eléctricas pueden hacer de la empresa menos eficiente que competidores, al menos para la rentabilidad privada. Sin embargo, dado el esquema regulatorio definido por la ARESEP las metodologías tarifarias permiten al concesionario recuperar la inversión realizada adicional a un margen de rentabilidad anual, lo que genera que la tecnología eléctrica presente viabilidad y atractivo financiero para el concesionario.

La electrificación conllevaría diferentes beneficios y costos, tanto a nivel privado como económico. Destacan los ahorros en consumo e importación de diésel, además de que el proceso permitiría avanzar hacia un transporte público concesionado basado en energías renovables, y con mejores facilidades para la carga en planteles —reduciendo así el recorrido improductivo de las unidades—.

Es también de gran importancia que el aumento en la demanda de energía eléctrica causada por el avance de la electrificación de la flota nacional sea abastecido mediante fuentes renovables, y que se continúe con producción nacional y una matriz energética baja en emisiones. Sin embargo, existe el obstáculo de la dependencia del ICE en la producción hidroeléctrica, la cual depende de efectos atmosféricos y presenta costos por kWh mayores a los ofrecidos en otros países.

Este proyecto surge precisamente para apoyar a los decisores, con el objetivo de presentar las ventajas comparativas de las tecnologías, así como los mecanismos, herramientas e información útil que les permita sustentar políticas, programas y acciones específicas en el campo de la electromovilidad. Además de plasmar las diferencias entre los dos escenarios posibles: el escenario actual con un sector altamente encadenado a las importaciones de energía, o un sector de transporte eléctrico encadenado a una mayor cantidad de actividades económicas internas.

**Diagrama 10**  
Potencial mejora de encadenamientos económicos por electrificación total o parcial de la flota de buses



Fuente: Autores. Diseñado por C. Castro, 2020.

## VI. Recomendaciones

Es importante considerar si el sistema de concesiones de rutas de transporte público por medio de autobuses le permite a los concesionarios la generación de otros ingresos derivado directamente del mercado cautivo en sus instalaciones de “parada y salida de buses” —renta de alquileres, restaurantes, abarrotes, venta de comidas rápidas, comercio de bienes y servicios que ofrecen a los pasajeros que utilizan a estas instalaciones para utilizar el transporte público; entre una muy amplia lista— y su interacciones con mercados privados asociados, que les provee ingresos derivado de las interacciones de la concesión con bienes y servicios que para la operación de las rutas necesitar suplir, y que algunas pueden estar optando por la auto provisión; a pesar de que puede ser a través de figuras jurídicas diferentes con contabilidades separadas—, publicidad, repuestos, autobuses, combustibles, insumos variados, servicios de seguridad, de alquileres, comercio variado. Es recomendable en ese sentido profundizar en estudios para analizar si hay una situación de monopolios en cascada de los ingresos asociados, y además, si se está generando una concentración y reducción de la competencia o limitación de competencia (desleal) en otros mercados conectados al transporte público.

De encontrarse que a partir de los mercados cautivos de pasajeros (in situ en instalaciones de los operadores) se derivan rentas las cuales no están siendo reportadas se recomienda que estas se soliciten reportar como ingresos resultantes y ligados la concesión de rutas. Revisar la cuantía que los insumos, partes y otros están siendo auto-suplidos, los precios de transferencia reportados y si corresponden realmente a costos resultantes de estudios que reflejan precios de mercado —no los de ellos— y realizar las correcciones pertinentes en las tarifas. Así como definir una política sobre estos ingresos resultantes de las concesiones que no provienen de tarifas de transporte, y cómo serán regulados. Una posibilidad es permitir que una fracción de esos ingresos se refleje en menores tarifas, y de esta forma, permitir que la generación de esas rentas se revierta sobre los usuarios, con menores tarifas, como compensación por la externalidad positiva pecuniaria, la cual les está posibilitando estas otras rentas monopólicas asociadas resultantes de la concesión. Esto en términos prácticos.

Además, se recomienda avanzar con la inclusión de mecanismos de internalización y ahorros asociados a las tecnologías eléctricas dentro de la metodología tarifaria, de manera que las variaciones tarifarias por un mayor costo de la tecnología afecten en menor medida a la población.

Por otra parte, se recomienda mayores esfuerzos para mejorar la calidad del aire de la ciudad, principalmente a través de mejores requerimientos técnicos sobre la energía utilizada y las respectivas emisiones de los buses.

Es muy relevante que se incluya en las solicitudes tarifarias un análisis económico y no solamente financiero. Esto viene indicado en la Ley N.º 3503, sin embargo, pareciera que se omite el componente económico porque dicha ley solo especifica el requisito de firma de un contador público autorizado en solicitud de tarifas, lo cual ha dejado completamente ausente del análisis: los análisis de impacto sobre la eficiencia económica, de impacto sobre los ingresos reales de los usuarios, y la dinámica de efectos cruzados de ingresos entre las rutas. Estos se requieren que sean estudios económicos firmados y respaldados por economistas, en vista de que lo que se persigue es lograr tarifas que estimulen la eficiencia económica del sector y la economía en general, precisamente por eso es que existe una ley reguladora de servicios públicos que busquen dicha eficiencia a costo económico.

La Ley No. 9518 incluye condiciones para la renovación de autobuses, pero limita la tecnología al caso de sólo buses eléctricos, excluyendo un grupo amplio de tecnologías que pueden acompañar y ofrecer opciones al proceso de buscar un transporte más sostenible y un mejor avance de la electromovilidad.

La incursión en producción de biodiésel para suplir los requerimientos de la flota de buses resulta llamativa, además de brindar mejores encadenamientos con el sector agropecuario del país. Por su parte, resultan necesarios requerimientos más estrictos sobre las tecnologías de buses diésel que se importan al país (países alrededor del mundo ya hicieron obligatoria la adquisición de buses con normas Euro VI). Es decir, se puede trazar una senda progresiva hacia un transporte cada vez más sostenible.

Es recomendable que la autoridad reguladora realice las verificaciones de tarifa periódicamente, en particular los componentes de depreciación y rentabilidad. Esto con el propósito de evitar que las tarifas se mantengan irregularmente elevadas a conveniencia de solicitud del concesionario cuando recién renueva flota, y por omisión de solicitud cuando esta se va depreciando. De otra manera, se estaría realizando una transferencia injustificada de ingresos desde los usuarios de los buses hacia los concesionarios con sus impactos distributivos asociados.

## Acrónimos

AMSJ – Área Metropolitana de San José  
ARESEP – Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos  
BCCR – Banco Central de Costa Rica  
BCIE – Banco Centroamericano de Integración Económica  
BID – Banco Interamericano de Desarrollo  
BYD – Build Your Dreams  
CAPEX – Costos de adquisición del capital  
CEPAL – Comisión Económica para América Latina y el Caribe  
CF – Costos Fijos  
CMNUCC – Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático  
CNFL – Compañía Nacional de Fuerza y Luz  
CONAVI – Consejo Nacional de Vialidad  
COP21 – 21st Conference of the Parties  
CT – Costos totales  
CTP – Consejo de Transporte Público  
CV – Costos Variables  
DCC – Dirección de Cambio Climático  
DOT – Desarrollo Orientado al Transporte  
ENOS – El Niño, Oscilación del Sur  
FONAFIFO – Fondo de Financiamiento Forestal  
GAM – Gran Área Metropolitana  
GEI – Gases de Efecto Invernadero  
GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit  
ICE – Instituto Costarricense de Electricidad  
IEA – International Energy Agency  
IMN – Instituto Meteorológico Nacional  
IMN – Instituto Meteorológico Nacional  
INGEI – Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero  
IPK – Índice de Pasajeros por Kilómetro  
ITDP – Institute for Transportation and Development Policy  
LANAMME – Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
MIDEPLAN – Ministerio de Planificación  
MINAE – Ministerio de Ambiente y Energía  
MIP – Matriz Insumo Producto  
MOPT – Ministerio de Obras Públicas y Transportes  
NAMA – Nationally Appropriate Mitigation Action  
NDC – Nationally Determined Contributions  
NDRC – National Development and Reform Commission  
OCDE – Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico  
ODS – Objetivos de Desarrollo Sostenible  
OMC – Organización Mundial de Comercio  
OMU CAF – Observatorio de Movilidad Urbana del bando de desarrollo de América Latina  
ONU – Organización de las Naciones Unidas  
OPEX – Costos de operación del bus  
PIMUS – Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible  
PND – Plan Nacional de Desarrollo  
PNDIP – Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública 2019-2022

PSA – Pagos por Servicios Ambientales  
RT – Rentabilidad Mensual  
RTV – Revisión Técnica Vehicular  
SIR – Sistema de Información Regulatoria  
TCO – Total Cost of Ownership  
TRP – Transporte Rápido de Pasajeros  
UCR – Universidad de Costa Rica  
VAN – Valor Actual Neto

## Bibliografía

- Aber, J. (2016), *Electric Bus Analysis for New York City Transit*. Columbia University.
- AC&C y Gensler (2017) *Plan integral de movilidad urbana sostenible para el área metropolitana de San José de Costa Rica*. Informe No. 3. – Diagnostico. Costa Rica.
- Adamson, M. (2021), *Estudio de impacto económico de las inversiones para el recambio de la flota de buses sostenibles en Costa Rica*. Informe para Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL-.
- \_\_\_\_\_(1994), *Valoración y Políticas de Conservación de la Biodiversidad*. Revista Ciencias Económicas, Vol. XIV, No.1.
- \_\_\_\_\_(2012), *Desastres y desarrollo en Costa Rica*. En Desastres. Costa Rica en el tercer milenio: desafíos y propuestas para la reducción de vulnerabilidad. Eds. Adamson, M. y Castillo F. 1ª ed. San José. Contrastes Vivos para la Universidad de Costa Rica. 2012.
- \_\_\_\_\_(2014), *Opciones de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica*. Tomo I. Análisis y proyección al 2030 del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica. M. Adamson y R. Villalobos Edts. Centro de Estudios Económicos y Ambientales (CIESA).
- \_\_\_\_\_(2019), *Evaluación de acciones de mitigación al cambio climático y sus efectos en Costa Rica en el período 2014-2018*. Ministerio de Ambiente y Energía.
- Antuña, G. (2016), *Informe sobre el 13º Plan quinquenal de la República Popular China. ICEX España Exportación e Inversiones*. Recuperado desde: <https://bit.ly/2QDJxTI> [29 de nov. 2019].
- Alatorre, J., Caballero, K., Ferrer, J. y Galindo, L.M. (2019), *El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina*. Unidad de Cambio Climático, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Santiago, Chile.
- Alianza Empresarial para el Desarrollo (AED) (2019), *Se firma de protocolo verde para la banca en PreCOP 25*. Recuperado desde <https://bit.ly/2Wq2Zps>.
- Álvarez, R. (2019), *Casi el 99% de los autobuses eléctricos del mundo están en China, y esto ya se empieza a ver en la demanda mundial de petróleo*. Recuperado desde <https://bit.ly/344iS7O>.
- Alpizar, F., Piaggio, M. y Pacay, E. (2017), *Valoración económica de los beneficios en la salud asociados a la reducción de la contaminación del aire: El caso de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica*. Unidad de Cambio Climático, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Santiago, Chile.

- Araya, M. (2019), *¿Cómo llegó Chile a contar con más de 200 buses eléctricos?: Parte 1, 2 y 3*. La República. Extraído desde: <https://bit.ly/2FABjdw> [9 de ene. 2020].
- Asamblea Legislativa (2017), *Proyecto de Ley No. 18789: Ley de Biocombustibles*. Extraído desde: <https://bit.ly/2NEyMhy> [28 de junio de 2020].
- Autoridad Reguladora de Servicios Públicos –ARESEP- (2018), *Reforma determinación de tasa de rentabilidad para reglas de cálculo tarifario tipo 2 de la Metodología para la Fijación Ordinaria de Tarifas para el Servicio Remunerado de Personas Modalidad Autobús - RIT-096-2018*. Extraído desde <https://bit.ly/2WKHNul>.
- Banco Central de Costa Rica-BCCR (2020a), *Matriz Insumo Producto 2017* (versión preliminar). Facilitada por H. Vargas, Departamento de Estadísticas Macroeconómicas.
- \_\_\_\_\_(2020b), *Indicadores económicos: Sector externo*. Extraído desde <https://bit.ly/3zDldYn> [30 de jun. 2020].
- \_\_\_\_\_(2019), *Cuentas Nacionales período de referencia 2012*. Extraído desde <https://bit.ly/2tpMwDs> (29 de agosto de 2019).
- \_\_\_\_\_(2019), *Revisión Programa Macroeconómico 2019-2020*. Extraído desde <http://bit.ly/2QICckH> [29 de agosto de 2019].
- Banco Interamericano de Desarrollo – BID. *Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima, Perú/Ramírez F., Lefevre B., Jaime Fernandez-Baca J., Capristan R*. División de transporte.
- Banco Mundial (2020), *Costa Rica: panorama general*. Extraído desde: <https://bit.ly/2xs6x1r> [16 de abril de 2020].
- \_\_\_\_\_(2019), *State and Trends of Carbon Pricing* (June). World Bank, Washington, DC. Doi: 10.1596/978-1-4648-1435-8.
- Becerra, L., Castillo, M., Galarza, S., Ibáñez, M., López, G. & Nuñez, A. (2020), *Elección de rutas basado en consumo de energía para el despliegue inicial de buses y su potencial de escalamiento, San José, Costa Rica*. Centro Mario Molina Chile. Costa Rica.
- BloombergNEF (2019), *Electric Vehicle Outlook 2019*. Recuperado desde <https://bit.ly/3bHuekJ>.
- BYD (2019), *Flota de buses eléctricos BYD en Chile*. Extraído desde: <https://bit.ly/2NgOfqg> [9 de enero de 2020].
- Centro de Estudios Económicos y Ambientales-CIESA (setiembre, 2002), *El aceite de palma africana como fuente de alternativas energéticas renovables en Costa Rica*. FC-051-2001.
- Chavarría, H., Torroba, A., Zubizarreta, L., Mesa-Dishington, J. (2020), *Webinar: Impactos de la producción de biodiésel en las cadenas de valor agrícola. Los casos de las cadenas de soja y palma*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. Extraído de <https://bit.ly/31HjyPz>.
- Chávez-Bravo, C. (2019), *Arriban otros 100 buses eléctricos chinos a Chile*. Xinhua Español. Extraído desde: <https://bit.ly/302G4RR> [9 de enero de 2020].
- Chenery, H. B. & Watanabe, T. (1958), *Internacional comparison of the structure of production*, *Econometria*, Vol. XXVI, No. 26.
- China's State Council (2012), *Energy-saving and new energy automotive industry development plan (2012-2020)*. Recuperado desde: <http://policy.thinkbluedata.com/node/58>.
- Creara, Energy Experts (2019), *Factibilidad Técnico-Financiera para inversiones en Tecnología de Electromovilidad en Costa Rica*. Informe Final. Costa Rica.
- Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E. *Fossil CO<sub>2</sub> and GHG emissions of all world countries - 2019 Report*. EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-11100-9, doi:10.2760/687800, JRC117610.
- Comisión Económica para América Latina (2019), *El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina*. Santiago, Chile.
- \_\_\_\_\_(2018), *Estadísticas del subsector eléctrico de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA)*. Ciudad de México, México. Extraído desde: <https://bit.ly/2TgUMVQ> [9 de enero de 2020].
- Decreto Ejecutivo N° 31633 (2004, 11 febrero), *Reforma Reglamento a la Ley Forestal y su reforma*. Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía. Extraído desde <https://bit.ly/2zwgtHv> [29 de agosto de 2019].
- Decreto Ejecutivo N° 34694-PLAN-H (2008), *Reglamento para la Constitución y Funcionamiento del Sistema Nacional de Inversión Pública*. Costa Rica: Poder Ejecutivo. Obtenido de <https://bit.ly/2NSzBqQ>.

- Decreto Ejecutivo N° 35091-MAG-MINAET (2009), Reglamento de Biocombustibles. Obtenido de <https://bit.ly/3dGrJzy> Decreto Ejecutivo N° 40050-MINAE-MAG. (2016), Reglamento de Biocombustibles líquidos y sus mezclas. Obtenido de <https://bit.ly/2ZoztBo> [25 de junio de 2020].
- Deloitte Consulting (2019), *Desarrollo de una metodología de costos y tarifa para la adopción de servicios de autobús eléctrico en Costa Rica*. Informe Final. Costa Rica.
- Dirección de Cambio Climático (2015), *Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático*, 9-10, Recuperado de <https://tinyurl.com/yyzsltd3> [30 de agosto de 2019].
- Dirección de Energía - Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (2020), Vehículos Eléctricos (Existencia y Oferta).
- Dirven, M. (ed.) (2001), *Apertura económica y (des)encadenamientos productivos. Reflexiones sobre el complejo lácteo en América Latina*, Libros de la Cepal No. 61.
- Drupp, M.; Freeman, M.C.; Groom, B. & Nesje, F. (2015), *Discounting Disentangled: An Expert Survey on the Determinants of the Long-Term Social Discount Rate*. Centre for Climate Change Economics and Policy. Extraído desde <https://www.cccep.ac.uk/publication/discounting-disentangled/>.
- Economic Commission for Latin America and the Caribbean (2019), *Terms of reference: Estudio de Impacto Económico de las Inversiones para el Recambio de Flota de Buses Sostenibles en Costa Rica*.
- Edwards, G. Viscidi, L. & Mojica, C. (2018), *Cargando el futuro: El crecimiento de los mercados de autos y autobuses eléctricos en las ciudades de América Latina*. El Dialogo. Extraído desde: <https://bit.ly/2Ro1V8r> [24 de set. 2019].
- EPYPSA y SIGMA (2014), *Apoyo al modelo general de sectorización de transporte público en San José, Costa Rica*. Informe 5. Costa Rica.
- Fernández, O. (2019), *Red sumará nueva flota de buses eléctricos para rebajar emisiones*. La Tercera. Chile.
- Fundación CRUSA (2019), *Costa Rica tendrá piloto para buses públicos eléctricos*. Extraído desde: <https://bit.ly/2sTYmLZ> [02 de ene. 2020].
- Gobierno de la República de Costa Rica (2019), *Síntesis: Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050*. Recuperado de: <https://bit.ly/2Ns82jl> [02 de oct. 2019].
- Gobierno Federal de Estados Unidos (2020), *Codeo of Federal Regulation. Title 40: Protection of Environment*. Oficina de Registro Federal, Estados Unidos. Recuperado desde <https://bit.ly/2YKbqol>.
- Grutter Consulting & C4o Cities Finance Facilities (2018), *Análisis de tecnologías alternativas para buses*. Ciudad de México, México. Extraído desde: <https://bit.ly/37xD7vc> [02 de dic. 2019].
- Herrera, J., Rojas, J.F. y Murillo, J. (s.f), *Promedio anual de concentración de partículas PM2.5 en Área Metropolitana de San José*. Observatorio Ambiental, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Hirschman, A. O. (1961), *La estrategia del desarrollo económico*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Instituto Costarricense de electricidad - ICE. (2018), *Proyecciones de la Demanda Eléctrica de Costa Rica: 2018-2040*. Costa Rica. Extraído desde: <https://bit.ly/2QiaoWU> [15 de nov. 2019].
- Instituto Meteorológico Nacional -IMN (2019), *Factores de emisión de gases de efecto invernadero. Novena Edición*. Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo – INEC (2015), *Clasificación de ocupaciones en Costa Rica*.
- International Energy Agency-IEA (2019), *World Energy Balances*. Extraído desde: <https://bit.ly/2ZHYQxu> [02 de ene. 2020].
- \_\_\_\_\_(2017), *World Energy Outlook 2019: China*. Recuperado desde: <https://www.iea.org/weo/china/> [01 de ene. 2020].
- Institute for Transportation & Development Policy-ITDP (2018), *China Tackles Climate Change with Electric Buses*. Recuperado desde: <https://www.itdp.org/2018/09/11/electric-buses-china/> [15 de nov. 2019].
- JATO Dynamics (2019), *Internal Combustion Engines (ICE) counted for over 90% of global car sales in H1 2019*. Recuperado desde <https://bit.ly/33UDdwe>.
- La Nación (2016), RECOPE concentra 40% de sus compras en refinadora texana. Recuperado desde <https://bit.ly/3fzx8dg>.
- Laumas, P.S. (1976), *The Weighting Problem in Testing the Linkage Hypothesis: Comment*, Quarterly Journal of Economics, May 90(2).
- Ley N° 3503 (2017), *Ley Reguladora Transporte Remunerado Personas Vehículos Automotores*. Costa Rica: Asamblea Legislativa. Versión de la Norma: 7 de 7. Obtenido de <https://bit.ly/39ujR4P>.

- Ley N° 6324 (2019), *Ley de Administración Vial*. Versión de la Norma: 9 de 9. Costa Rica: Asamblea Legislativa. Obtenido de <https://bit.ly/2PI7N9g>.
- Ley N° 7064 (1987), *Ley de Fomento a la Producción Agropecuaria FODEA y Orgánica del MAG*. Obtenido de <https://bit.ly/2YIQp6u> [29 de junio de 2020].
- Ley N° 7293 (1992, 31 marzo), *Ley Reguladora de Exoneraciones Vigentes, Derogatorias y Excepciones*, Costa Rica: Asamblea Legislativa. Extraído desde <https://bit.ly/3dD3SB1> (29 de agosto de 2019).
- Ley N° 7575 (1996, 16 Abril), *Ley Forestal*. Costa Rica: Asamblea Legislativa. Extraído desde <https://bit.ly/30K3Npt> (29 de agosto de 2019).
- Ley N° 7593, *Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos*. (agosto, 1996), Costa Rica: Asamblea Legislativa. Extraído desde <https://bit.ly/31ly4gc>.
- Ley N° 7964, *Reforma a de la Ley Reguladora del Transporte Remunerado de Personas en Vehículos Automotores*. (diciembre, 1999), Extraído desde <https://bit.ly/39uQUWM>.
- Ley N° 7969, *Ley Reguladora del Servicio Público de Transporte Remunerado de Personas en Vehículos en la modalidad de Taxi*. (diciembre, 1999), Extraído desde <https://bit.ly/3d6jChu>.
- Ley N° 8634, *Ley Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD)*. (abril, 2008), Costa Rica: Asamblea Legislativa. Extraído desde <https://bit.ly/313fZT>.
- Ley N° 9405, *Aprobación del Acuerdo de París*. (octubre, 2016), Costa Rica: Asamblea Legislativa. Extraído desde <https://bit.ly/2NARWGD> (27 de agosto del 2019).
- Ley N° 9518, Incentivos y promoción para el transporte eléctrico (2018, 25 enero), Costa Rica: Asamblea Legislativa. Extraído desde <https://bit.ly/2ZlPRKt> (27 de agosto del 2019).
- Li, W. (2018), *Vehicle emissions become major source of air pollution in China*. GBTimes, China. Recuperado desde: <https://gbtimes.com/vehicle-emissions-become-major-source-of-air-pollution-in-china> [30 de agosto del 2019].
- Ministerio de Ambiente y Energía -MINAE- (2015a), *VII Plan Nacional de Energía 2015 – 2030*. San José, Costa Rica. Extraído desde <https://bit.ly/2DWNL3G> (27 de agosto del 2019).
- \_\_\_\_ (2015b), *Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional*. Disponible en <https://bit.ly/2SS7u00> [15 de nov. 2018].
- \_\_\_\_ (s.f.), *Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Obtenido de <https://bit.ly/31msb3z> [29 de junio de 2020].
- Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Agricultura y Ganadería-MINAE-MAG (2008), *Programa Nacional de Biocombustibles*. Obtenido de <https://sepse.go.cr/documentos/Programa%20Nacional%20de%20Biocombustibles.pdf> [29 de junio de 2020].
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) e Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (2015), *Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono, 2012* | Ana Rita Chacón Araya, Gladys Jiménez Valverde, Jhonny Montenegro Ballester, Jihad Sasa Marín y Kendall Blanco Salas. – San José, Costa Rica: MINAE, IMN, GEF, PNUD.
- \_\_\_\_ (2015), *Costa Rica Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Edición Ana Rita Chacón Araya; Revisión Ana Rita Chacón Araya, Gladys Jiménez Valverde, Nazareth Rojas Morales y Fanny Ramírez Esquivel. - San José, Costa Rica: MINAE, IMN, 2015.
- Ministerio de Ambiente y Energía – MINAE, Ministerio de Obras Públicas y Transportes – MOPT y Secretaria de Planificación Subsector Energía – SEPSE (2019), *Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030*. Extraído desde <https://bit.ly/2LiaMiF> (25 de agosto de 2019).
- Ministerio de Hacienda (2018), *Breve análisis del comportamiento de la importación de vehículos (automóviles, Jeeps y Pick-up) de las partidas arancelarias 8703 y 8704, gravados con el Impuesto Selectivo de Consumo y sin Derechos Arancelarios a las importaciones*.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes – MOPT (2019), *Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura 2018*. Extraído desde <https://bit.ly/3allS1V>.
- \_\_\_\_ (2019), *Plan Estratégico Sectorial 2019-2024*. Extraído desde <https://bit.ly/2LiyUIf> (29 de agosto de 2019).
- \_\_\_\_ (2018), *Plan de implementación de la primera etapa del proyecto sectorización y modernización del transporte público masivo modalidad autobús del AMSJ*. San José, Costa Rica: Viceministerio de Transporte y Seguridad Vial.

- \_\_\_\_ (2017), *Política Sectorial de Modernización del Transporte Público Remunerado de Personas Modalidad Autobús*. San José, Costa Rica: Dirección de Relaciones Públicas.
- \_\_\_\_ (2011), *Plan Nacional de Transportes 2011 – 2035*. San José, Costa Rica. Extraído desde <https://bit.ly/2Pf6ol4> (27 de agosto del 2019).
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica -MIDEPLAN (2020), *Plan Nacional de Desarrollo 2019 - 2022*. Obtenido de <https://bit.ly/2YHOYVL> [29 de junio de 2020].
- \_\_\_\_ (2019), *Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública del bicentenario 2019-2022*. Extraído desde: <https://bit.ly/2SGv157> [08, marzo 2019].
- \_\_\_\_ (2019), *Precios Sociales en Costa Rica*. Extraído desde <https://bit.ly/2UdzXar/> (29 de agosto de 2019).
- \_\_\_\_ (2018), *Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública (PNDIP) 2018 – 2022*. San José, Costa Rica. Extraído desde <https://bit.ly/3oEOxdt> (27 de agosto del 2019).
- \_\_\_\_ (2016), *Plan Nacional de Desarrollo 2015 - 2018*. Obtenido de <https://app.box.com/v/pnd2015> [29 de junio de 2020].
- \_\_\_\_ (2012), *Plan Nacional de Desarrollo 2011 - 2014*. Obtenido de <http://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/1591/PND-2011-2014-MariaTeresa-Obregon-Zamora%5B1%5D.501.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [29 de junio de 2020].
- \_\_\_\_ (2007), *Plan Nacional de Desarrollo: Jorge Manuel Dengo Obregón*. Obtenido de <https://bit.ly/389JJRE> [29 de junio de 2020].
- Ministerio de Salud, Ministerio de Obras Pública Transporte -MOPT-, Ministerio de Ambiente y Energía -MINAE- y Universidad Nacional (2016), *Sexto informe de la calidad del aire: GAM 2013-2015*. Heredia, Costa Rica.
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos-MIVAH (2018), *Política Nacional de Desarrollo Urbano*. Extraído desde <https://bit.ly/2BqLqKg> (28 de agosto de 2019).
- Naciones Unidas (2019), *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Extraído desde <https://bit.ly/2qkgf28> (28 de agosto de 2019).
- Naciones Unidas/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2017), *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible - Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Extraído desde <https://bit.ly/2cuOSWM> (27 de agosto del 2019).
- OECD (2018), *Effective Carbon Rates 2018: Pricing Carbon Emissions Through Taxes and Emissions Trading*. OECD Publishing, Paris. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264305304-en>.
- Organización de las Naciones Unidas -ONU- (2015), *Acuerdo de París*. Extraído desde <https://bit.ly/2QiakpZ> [27 de agosto del 2019].
- Presidencia de la República de Costa Rica (2020), *Costa Rica amplía plan piloto de buses eléctricos como parte de la modernización del transporte público*. Extraído desde <https://bit.ly/2UCDUG1>.
- Rasmussen, P. N. (1963), *Relaciones intersectoriales*, Editorial Aguilar, Madrid.
- Refinadora Costarricense de Petróleo-RECOPE (enero, 2020), *Estudio de factibilidad del proyecto de mezcla de gasolina con etanol a nivel nacional*. Obtenido de <https://bit.ly/2NDMgKL> [29 de junio de 2020].
- \_\_\_\_ (2019), REF.: RECOPE CI-06-2019. Recuperado de <https://bit.ly/3dQgFQJ> [29 de junio de 2020].
- \_\_\_\_ (2019), *Precios Históricos, Precios de las gasolinas y el diésel, 2011-2019*. Extraído desde <http://bit.ly/37mRLVU> [3 de noviembre del 2019].
- Reglamento N° 37298-MAG (2012), *Reglamento al Título Segundo de la ley N° 7064 "Ley de Fomento a la Producción Agropecuaria FODEA y Orgánica del Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de <https://bit.ly/3i8qzAh> [29 de junio de 2020].
- Sánchez, L. (2018), *Diagnóstico sobre la situación del transporte y la movilidad en Costa Rica*. Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica.
- Sánchez, L., Agüero, J. y Guadamuz, R. (2018), *Identificación y modelación de la meta en transporte para Costa Rica, alternativas para alcanzarla y sus implicaciones*. Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica.
- Sartori, D., Gelsomina, C., Genco, M., Pancotti, C., Sirtori, E., Vignetti, S., Del Bo, C. (2014), *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. European Union, Brussels.

- Secretaría de Planificación Subsector Energía - SEPSE (2018), *Balances Energéticos*. Recuperados desde <https://bit.ly/3bCKaor>.
- Schuschny, A. R. (2005), *Tópicos sobre el Modelo de Insumo-Producto: teoría y aplicaciones*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, División de Estadísticas y Proyecciones Económicas. ISSN electrónico 1680-8789.
- Superintendencia de Seguros-SUGESE (2019), *Mesas de dialogo climático en el sector financiero*. Costa Rica. Recuperado desde <https://bit.ly/3fB2ssx>.
- Statista Mordor Intelligence (2018), *China Electric Bus Market - Growth, Trends, and Forecast (2019-2024)*. Extraído desde: <https://bit.ly/2Zl3AU5> [27 de set. de 2019].
- Stern, N. H. (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Teletica (2019), *Autos eléctricos se abren paso en las calles de Costa Rica*. Recuperado desde <https://bit.ly/2JwCmlt>.
- Universidad de Costa Rica (2019), *Bus eléctrico permitirá ampliar la investigación sobre consumo de energía*. Extraído desde: <https://bit.ly/35Eof9R> [09 de ene. de 2020].
- Victoria Transport Policy Institute (2020a), *Transportation Cost and Benefit Analysis II – Air Pollution Costs*. Extraído desde: <https://bit.ly/2vROFw4>.
- \_\_\_\_\_ (2020b), *Transportation Cost and Benefit Analysis II – Noise Costs*. Extraído desde: <https://bit.ly/3adumle>.

## Anexos

## Anexo 1 Metodología

La propuesta de metodología para el desarrollo de este estudio ha requerido la revisión de una variada documentación. Dicha revisión y recopilación fue guiada por los objetivos específicos buscados, los cuales se citan a continuación:

### A. Objetivos específicos

- Identificar y ordenar descriptivamente las distintas propuestas de proyectos de inversión planteados en la actualidad, que sean compatibles con los objetivos del eje de recambio de flota de transporte público sostenible del PND-2050.
- Evaluar empíricamente los impactos de inversiones (beneficios/costos/costos de oportunidad) en la economía, sociedad (incluyendo aspectos de género y empleo) y el medioambiente, que se identifiquen con los objetivos del eje de recambio de flota de transporte público sostenible del PND-2050.
- Generar un análisis descriptivo que incluya los beneficios en la economía, sociedad y medioambiente de efectuar las inversiones en el recambio de la flota de buses sostenibles, considerando los resultados empíricos encontrados.
- Recomendar acciones de política, de acuerdo con los resultados principales del estudio (Términos de Referencia, 2019, CEPAL).

Para la valoración tanto financiera como económica de la implementación de autobuses eléctricos en Costa Rica, se realiza un análisis que considere las estructuras de costos presentes en ambas tecnologías. Siguiendo algunos de los supuestos establecidos mediante las metodologías tarifarias brindadas por la ARESEP, precios presentes en territorio nacional, avances obtenidos mediante los participantes del sector e información recolectada y adaptada para el territorio y contexto nacional.

Posterior a obtenidas las estructuras de costos, para el análisis financiero privado, se procede a realizar un análisis de Costos de Adquisición Comparativo (TCO por sus siglas en inglés). Es decir, se analizan las diferencias anuales entre las estructuras de costos de las tecnologías, lo que permite observar su desempeño financiero antes distintos escenarios de financiamiento y políticas establecidas.

Para el análisis de valoración económica se corrigen los precios privados a precios sociales y se incorporan valoraciones económicas de las externalidades asociadas. Para las cuales se habían realizado previas valoraciones y que se logró encontrar información que permitiera su estimación: para el caso de salud y gases de efecto invernadero.

Por lo que para cada escenario planteado se obtiene el diferencial de costos anuales que existe entre las dos tecnologías, para el caso de la valoración privada y la valoración económica.

Dicho diferencial se obtiene desde la resta de los costos asociados a cada tecnología anualmente (si es positivo significa que los costos de las unidades diésel son mayores, en caso de un diferencial negativo la tecnología eléctrica presenta mayores costos), este diferencial es considerado como un flujo de caja para el posterior descuento a través del tiempo y utilizado para cálculos del Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno. Dicho diferencial se observa de la siguiente manera:

Valoración privada:

$$D. \text{Costos}_t = (\text{Costos } TD_t - \text{Costos } TE_t);$$

*a precios de mercado en el caso de la valoración privada*

Donde:

D. Costos = Diferencial de costos entre tecnologías para el año t.

Costos TD = Costos anuales relacionados a las tecnologías diésel.

Costos TE = Costos anuales relacionados a las tecnologías eléctricas.

t = año, en este caso entre 1 y 15 dado el período de análisis utilizado.

Valoración económica:

$$D. \text{ Costos}_t = (\text{Costos } TD_t - \text{Costos } TE_t) + B. \text{ por ext.};$$

*a precios sociales en el caso de la valoración económica*

Donde:

B. por ext. = Beneficios económicos por externalidades (salud y gases de efecto invernadero).

El conjunto de valores diferenciales anuales es el utilizado para aplicar las fórmulas de indicadores de rentabilidad, como el Valor Actual Neto (VAN), análisis incrementales (TCO), Tasa Interna de Retorno (TIR), entre otros. Las tasas de descuento, costos y precios considerados, tanto para los datos financieros como los utilizados para las externalidades, dependen del escenario analizado, que se desglosan en las secciones de valoración financiera y económica.

Algunos escenarios procuran reflejar la situación más realista posible, dadas las condiciones actuales en las que se implementaría la electrificación de la flota. De igual forma, se evalúan diversos escenarios económicos, los cuales incorporan instrumentos específicos de internalización de beneficios económicos, desde un nivel conservador hasta el más optimista para la implementación de buses eléctricos. Además, se realiza un análisis de sensibilidad sobre los principales parámetros de interés, con el propósito de alimentar a los decisores sobre la capacidad de incidencia en la sostenibilidad financiera y económica de la inversión en la electrificación de la flota de buses.

Mediante el análisis de las metodologías tarifarias utilizadas por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) se encuentra que el aumento tarifario asociado a la compra de autobuses eléctricos —que presentan mayores precios que los buses diésel— proviene principalmente de mayores ingresos en depreciación y rentabilidad de la unidad. Este aumento en la tarifa genera ingresos que, al ser considerado dentro de los flujos diferenciales modelados en la valoración financiera, mejoran los resultados de inversión en gran medida (sección II.G y anexo 11).

La metodología también incluyó el análisis con el Modelo de Insumo Producto (MIP). Para ello se utilizaron las matrices de insumo producto de Costa Rica de los años 2012 y 2017, provistas por el Banco Central de Costa Rica (BCCR). Estas presentan el estado del sector de transporte de pasajeros (excluyendo taxis) con unidades de combustión interna con base en diésel. Es decir, no muestra las relaciones del nuevo sector de transporte renovable (por ejemplo, autobuses eléctricos), ya que la actual estructura productiva no tiene presente dicho sector productivo. Sin embargo, la MIP sí permite evaluar y comparar los niveles de integración o encadenamiento que este sector —intensivo en diésel— presenta y cómo ha evolucionado en ese quinquenio.

De igual forma, este método permite evaluar la generación de empleo directo e indirecto de este sector y compararlo con otros de la economía de Costa Rica. Esto ofrece una visión del grado de oportunidades que este sector presenta y también posibilita la emulación de ajustes de consumo, con una mayor fracción de insumos del sector energético y a su vez la reducción del consumo de diésel.

Dentro de la MIP la actividad de interés a analizar se denomina: "Transporte terrestre de pasajeros excepto taxis" que incluye una diversidad de servicios de transporte de pasajeros, dentro del que está incluido el transporte concesionado por medio de autobuses. Como es de esperar esta actividad está altamente relacionada al sector de energía, el cual también aparece de manera agregada.

## B. Otras consideraciones

Actualmente, el Gobierno de la República ha comunicado su decisión de avanzar con un proceso de ordenamiento urbano. Es en ese marco de acción que se ubica tanto la inversión del tren eléctrico metropolitano de pasajeros como la sectorización del transporte público. En ese proceso se avanza en el estudio de factibilidad técnico y económico, el cual se espera que, a finales de la presente Administración, se tenga preparado el cartel de licitación.

Considerando el anterior contexto, se siguió la siguiente metodología:

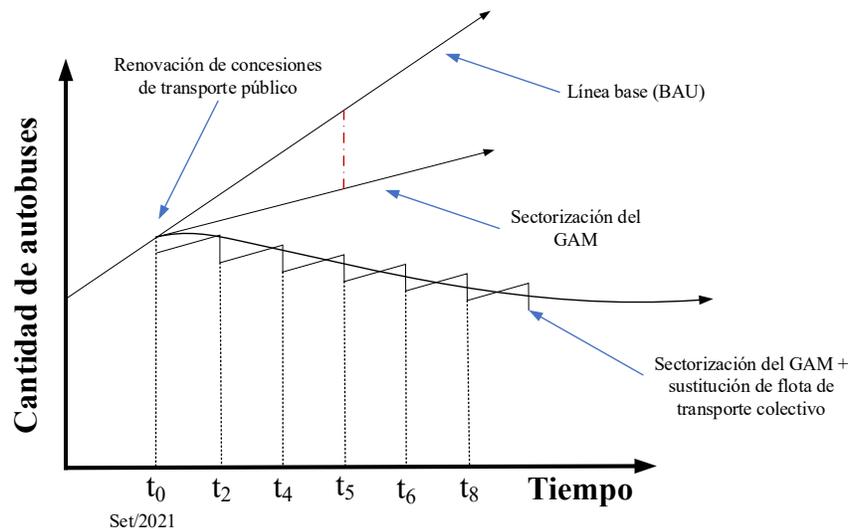
- **Situación sin cambio.** Se elaboró un escenario base de la situación sin cambio de reorganización del sector transporte de buses en el GAM. Este escenario se elabora con base en información histórica de flotilla de autobuses, consumo de combustible y pasajeros en la GAM (en función de la información provista por la ARESEP, MOPT y otras entidades), y se obtienen estimados al 2060. El pronóstico permite también brindar una idea del posible comportamiento de variables como cantidad de autobuses; consumo de combustible; emisiones de gases de efecto invernadero (GEI, con base en parámetros del Instituto Meteorológico Nacional en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, MINAE & IMN, 2015). Las variables de empleo, nivel de inversión y duración media de recorrido, en función del detalle y la disponibilidad de información histórica en esa materia y la provista por la ARESEP.
- **Escenario de autobuses con reorganización del sector transporte.** Con base en el punto anterior, se analiza y estiman los cambios asociados sobre el escenario base que incluye el efecto de la sectorización del sector transporte de autobuses concesionados en el Área Metropolitana de San José. Para esto, se utilizó como referencia diversos estudios realizados por la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT que conforman el Plan Estratégico Sectorial 2019 (MOPT, 2019).

Debido a que aún no se conoce un estimado de reducción de flota de autobuses a movilizarse o ingresar al AMSJ, se supone una reducción estimada del 20% sobre la flotilla actual, estimado obtenido a través de entrevistas a actores clave. De esa forma se estiman las variaciones respecto al escenario base del número de autobuses convencionales.

- **Recambio (introducción de buses renovables).** Con base en el artículo 28 de la Ley 9518, se indica que se deberá reemplazar bianualmente una cota inferior (de al menos) de un 5% de la flota de autobuses convencionales. Estos cambios serán aplicados al pronóstico obtenido en B (es decir, con reorganización). Se estiman nuevamente las variaciones, sobre el 80% de la flota permanente y las tasas de recambio dictadas, para mostrar el impacto que una reducción en la necesidad de autobuses genera en la cantidad de buses eléctricos a largo plazo.

El gráfico A1 ejemplifica el análisis planteado considerando una sola variable, en este caso cantidad de buses.

**Gráfico A1**  
Ejemplificación de análisis inter temporal de cantidad de buses producto de acciones a emprender



Fuente: Elaborado por autores, 2019.

En función de la disponibilidad de información citada se realiza un análisis del costo total diferencial (TCO) a nivel financiero y económico. En el segundo caso se aprovecha la existencia de precios sociales en el país (MIDEPLAN, 2019). El análisis incorpora los cambios en inversión, empleo, reducción de emisiones de GEI, diferencias en tarifas e ingresos tarifarios, entre otros.

- Se incluye también el componente de determinación de inversión financiera, principalmente mediante el análisis del sector en el mercado financiero, así como la identificación de interés de posibles entes financieros (BID, BCIE y banca nacional comercial).
- Además de una revisión de los avances y opciones disponibles para el financiamiento y créditos verdes, se abarca la realidad de otros mercados relacionados al mercado de la electromovilidad, como lo son el de reconversión de tecnologías y proyectos de biocombustibles.
- **Entrevistas claves.** Lo anterior se complementa con un proceso de búsqueda de datos con informantes claves, a través de entrevistas. La mayoría bajo la técnica de persona-persona; y otras por teléfono y/o teleconferencia.
- **Análisis de alternativas de políticas económicas.** Incluye:
  - Discusión breve sobre instrumentos económicos específicos con objeto de internalizar externalidades; y evaluar cómo esos recursos pueden impactar en la tarifa de autobuses.
  - La posibilidad de incorporar esas contribuciones ambientales (reducción en emisiones de CO<sub>2</sub>), como parte de un servicio ambiental y recibir la compensación monetaria. Este caso requiere una estimación de ingresos en función de esas reducciones, así como una modificación de la Ley 7575 (Ley Forestal) y el Decreto Ejecutivo N° 31633-MINAE (Reglamento a la Ley Forestal) que definen las modalidades de Pagos por Servicios Ambientales (PSA).
  - Mostrar la capacidad del país para financiar sus procesos de internalización de externalidades mediante políticas que avancen las tecnologías eléctricas y en detrimento de las convencionales. Un ejemplo de esto son impuestos adicionales a la importación de vehículos de combustión interna (o sobre el segmento más contaminante de éstos) que permita financiar créditos verdes o adquisición de autobuses eléctricos.

- Evaluar la participación del sector de salud, principalmente mediante las empresas aseguradoras al ofrecer primas favorables en seguros para las placas registradas como unidades de tecnologías limpias.
- Identificación de oportunidades para la banca privada y estatal, para aprovechar la oportunidad de un mercado emergente de electromovilidad colectiva. De manera que, tal como se unieron los bancos para ofrecer líneas de créditos preferenciales para la adquisición de vehículos sostenibles, puedan brindar condiciones preferenciales para la adquisición de autobuses eléctricos o el equipo necesario.
- Además, también se presentan oportunidades de desarrollo e innovación mediante las propuestas de reconversión de unidades diésel a eléctricas, así como la inclusión de nuevos y mejores programas para el Instituto Nacional de Aprendizaje, el cuál se encuentra realizando esfuerzos para mejorar el conocimiento del tema en el territorio nacional.
- Se resaltan las oportunidades presentes en la producción biocombustibles a bases de aceites (especialmente palma), y del aprovechamiento de algas para la creación de hidrógeno. Programas de este tipo refuerzan el avance e investigación en tecnologías alternas, además de brindar mejores oportunidades para las zonas fuera del GAM y las zonas costeras.

## **Anexo 2**

### **Uso de biodiésel como insumo alternativo para el transporte de pasajeros mediante autobuses**

Dado el contexto actual del país, en el que el servicio de transporte de pasajeros se realiza prácticamente en su totalidad utilizando diésel como principal insumo. Se resalta como necesaria la incursión en insumos alternos que permitan reducir la dependencia a hidrocarburos fósiles.

A pesar de la gran oportunidad que representan los autobuses eléctricos para mejorar los encadenamientos económicos internos y la sustitución de importaciones, el proceso de electrificación probablemente sea lento, y mientras sucede, la proporción de buses abarcada por tecnologías de combustión seguirá siendo la mayoría.

Dado esto, se indaga sobre el avance de biocombustibles (principalmente de biodiésel) en el país, región y mundo. Se observa que el mercado de biocombustibles toma forma y fuerza alrededor de los países participantes, y que Costa Rica puede beneficiarse de incluirse en este mercado.

Entre las principales ventajas de la incursión en biocombustibles destacan el avance del dinamismo económico, así como representar un medio para el cumplimiento de las metas de descarbonización y reducción de dependencia energética.

#### **A. Biocombustibles: la oportunidad de un mercado emergente**

El uso de biocombustibles como sustituto de los hidrocarburos de fuentes fósiles ha ganado fama y espacio, principalmente durante los últimos 10 años de la industria. Recientemente se realizó una conferencia dirigida por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA por sus siglas), en la que participaron exponentes del mercado argentino, colombiano y nacional. En dicha conferencia se abarcaron temas sobre la producción mundial de biodiésel, aceites y las nuevas condiciones favorables del mercado.

La producción mundial de diésel surgió en la década de 1990, y ha visto su mayor crecimiento durante la última década, con aumentos del mercado del 10% anuales hasta alcanzar el máximo de producción (45,69 millones de toneladas anuales) en el 2019.

Por su parte, la producción mundial de aceites y grasas alcanzó en el 2019 la cifra de 235 millones de toneladas, de las cuales el aceite de palma fue el principal producto con un 36% del total producido. Se observa que el aceite de soya (24%), girasol (9%) y aceite de colza (11%) estuvieron entre las principales fuentes de producción.

El uso de estos aceites y grasas se destinan en gran medida para usos alimentarios (75% de la producción), pero la proporción de aceites que son utilizados para la producción de biodiésel ha aumentado hasta alcanzar una proporción del 17% en el año 2019.

En Costa Rica la importación y uso de hidrocarburos se concentra en gasolina Plusg<sub>1</sub> y diésel. Ambos tipos de hidrocarburos mantienen una opción de sustitución por biocombustibles. Para el caso de la gasolina Plusg<sub>1</sub> pueden utilizarse mezclas que contienen etanol o bioetanol. La producción de dicho etanol puede ser obtenida desde cultivos y tratamiento de caña de azúcar, yuca y sorgo.

Por su parte, el uso de diésel puede ser reemplazado por mezclas de biodiésel, dicho combustible puede ser obtenido mediante la mezcla de diésel y aceites de origen variado, como es el caso del aceite de palma, higuera, tempate e inclusive aceites de segunda generación (es decir, aceites ya utilizados en procesos industriales o de cocina).

La producción de biodiésel está altamente apoyada en el uso del aceite de palma, y la producción mundial de dicho aceite se concentra en gran medida en territorios asiáticos (con un 88% de la producción mundial albergada en este continente). El segundo continente en producción de aceite de palma es América (un 7% de la producción mundial), y parte considerable de la producción se encuentra en Colombia, con aproximadamente un 2% de la producción mundial.

A pesar de que la producción y uso de biodiesel en América se concentra en gran medida en Suramérica, los cultivos de palma y caña son comunes en Costa Rica y países centroamericanos. Dada la muy baja participación de Centroamérica en el mercado de extracción de petróleo, la incursión en el mercado de biocombustibles presenta una oportunidad para los países de reducir su dependencia a la importación petrolera, generar nuevas fuentes de empleo, un mejor dinamismo económico, mejorar la diversidad en las matrices energéticas y aportes a las metas mundiales de descarbonización.

### **B. Avance normativo y legal del biocombustible en Costa Rica**

Actualmente a nivel nacional se cuenta con el Programa Nacional de Biocombustibles, el cual cuenta con principal cooperador el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Dicho programa nace acorde a los compromisos expuestos en el Plan Nacional de Desarrollo (2006-2010), el cual establece como meta sectorial el "potenciar el desarrollo de la industria nacional de biocombustibles" (MIDEPLAN, 2007), así buscar el desarrollo y diversificación de fuentes de energía que fuesen renovables y de origen nacional.

Durante el 2017 el Gobierno de la República presenta a discusión, y ante la presencia de inconsistencias en el proyecto de ley, deroga el Decreto No. 35091-MAG-MINAET y lo sustituye por el Decreto N° 40050 -MINAE-.MAG "Reglamento de Biocombustibles líquidos y sus mezclas" (Decreto vigente a la actualidad). El cual de la misma forma respondía al compromiso del gobierno expresado en su Plan Nacional de Desarrollo que busca:

"Impulsar el uso de energías renovables tiene como meta incorporar un 5% de componentes renovables en los combustibles fósiles que se venden a nivel nacional para el período 2015-2018" (Plan Nacional de Desarrollo "Alberto Cañas Escalante" 2015-2018).

Uno de los principales cambios fue limitar el papel de RECOPE a un comprador de biocombustibles, sin asignar la obligación de incursionar en la producción e industrialización.

Además, se define los lineamientos técnicos de calidad para los biocombustibles a utilizarse como mezcla:

- Biodiesel (B-100) y sus mezclas con aceite combustible diésel (Ref. RTCA 75.02.43:07)
- Etanol carburante, anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina (RTCA 75.02.46:07)
- Etanol carburante anhidro desnaturalizado: Etanol carburante anhidro al cual se le han agregado sustancias que lo hacen inapropiado para la ingesta humana (Ref. RTCA 75.02.46:07: Biocombustibles. Etanol carburante anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina).
- Gasolina regular (RON 91): Gasolina que entre otras características el Número de Octano de investigación (RON por sus siglas en inglés) es de 91 octanos como mínimo.
- Gasolina superior (RON 9): Gasolina que entre otras características el Número de Octano de Investigación (RON por sus siglas en inglés) es de 95 octanos como mínimo.

Así como lineamientos para el transporte (artículo 18) que son los siguientes Decretos Ejecutivos:

- 36627-MINAET, Reglamento para la Regulación del Transporte de Combustible.

- 3 1 502-MfIJAE-S. Reglamento para la distribución de combustibles derivados de hidrocarburos sin punto fijo de venta (peddlers).
- 24715-MOPTMEIC-S. Reglamento para el transporte terrestre de productos peligrosos y demás normas técnicas aplicables al transporte de combustible derivado del petróleo.

En cuanto al precio de las materias primas agrícolas, en el artículo 4 de Decreto 40050 —MINAE— MAG se señala que “Los precios de venta de la biomasa al productor de biocombustibles no podrán ser inferiores a los establecidos por la Ley de Fomento a la Producción Agropecuaria FODEA y Orgánica del MAG. Ley N°7064”.

Al llegar la presente Administración Presidencial (2019 – actualidad) se define de una forma más específica los compromisos en porcentaje de adición de etanol en las gasolinas por año: 2,5% en 2019, 5% en 2020, 5% en 2021 y 8% en 2022. En el caso de biodiesel no se especifica algún compromiso (MIDEPLAN, 2020).

Otros planes que también buscan la utilización de biocombustibles son:

- Plan de Acción de la Estrategia Nacional Cambio Climático (ENCC): Esta estrategia tiene como objetivo general lo siguiente:  
Reducir los impactos sociales, ambientales, y económicos del CC y tomar ventaja de las oportunidades, promoviendo el desarrollo sostenible mediante el crecimiento económico, el progreso social y la protección ambiental por medio de iniciativas de mitigación y acciones de adaptación para que CR mejore la calidad de vida de sus habitantes y de sus ecosistemas, al dirigirse hacia una economía baja en emisiones de carbono y competitiva para el 2021 [...] (MINAE, s.f., p.13).
- Plan Nacional de Descarbonización 2018 – 2050: Que establece la incorporación de entre 5% y 10% de etanol, en ambas gasolinas. Lo que contribuiría al cumplimiento de los acuerdos internacionales en materia ambiental, a los cuales Costa Rica se ha adherido como lo son:
  - Acuerdo 2030, estipulado dentro del Protocolo de Kioto, (Objetivos de Desarrollo Sostenible): El objetivo número siete se enfoca en el uso de energías más eficientes y menos contaminantes, que permitan mejoras en el medio ambiente, en la calidad del aire y de las aguas, en la salud humana, entre otros.
  - Acuerdo de París – Conferencia Marco sobre Cambio Climático (sobre medioambiente, COP21): El principal objetivo de este acuerdo es la mitigación de los gases de efecto invernadero, para evitar un calentamiento global superior a 2° C a nivel global.

Al consultar a través de diferentes fuentes los planes y proyectos en torno a la producción y comercialización de biocombustibles en Costa Rica. Se identifica que la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), en enero de 2020 publica el “Estudio de Factibilidad del proyecto de mezcla de gasolina con etanol a nivel nacional”.

Este estudio arroja como principales resultados que:

- Que al realizar mezclas a partir de gasolinas base tipo RBOB, el proyecto presenta una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 13,09%, y un Valor Actual Neto (VAN) 6,74 millones de USD, al considerar una tasa de descuento del 9,83%.
- Pero en caso de realizar dicha mezcla con gasolina terminada, el resultado financiero será un VAN de -21,53 millones de USD.
- Si se emplea gasolinas tipo RBOB se estima que el impacto promedio a largo plazo al consumidor será un ahorro de 1,10 CRC por litro de mezcla de gasolina.

- El estudio supone uso de etanol a partir de maíz, que estiman como una reducción de 11% en las emisiones de GEI (sustituyendo cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol). El uso de etanol de caña de azúcar conlleva una reducción global de emisiones de gases de efecto invernadero de 59% (sustituyendo cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol).
- Se estima que, una vez que el programa de etanol esté en completa vigencia (en 2022), se podría llegar a evitar unas 235.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>e por año si el etanol es de caña de azúcar, o unas 130.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>e por año, si es de maíz.

Adicional a estos descubrimientos, RECOPE (2020) recomienda que estos resultados pueden servir para sentar las bases del programa nacional de uso de etanol en las gasolinas, con los estudios complementarios correspondientes a nivel económico, social y ambiental, tomando en cuenta el eslabón agroindustrial de la cadena de suministro en caso de producción local de etanol.

Tal ha sido el compromiso de cumplir con los plazos para la incorporación de etanol en la mezcla de gasolina que, en marzo de 2019, RECOPE publica un cartel internacional para la adquisición en promedio por mes de 32.600 barriles de etanol, a distribuirse en sus diferentes plantas o terminales (Moín, El Alto, La Garita y Barranca) (RECOPE, 2019).

En el caso de biodiesel, no se identifica algún tipo de plan de adquisición, como programa tanto de extensión de cultivos como de producción y distribución en el momento de realización de este estudio.

### **C. Impactos ambientales causados por sustitución a biocombustibles**

Para cuantificar el impacto económico que el uso de biocombustibles generaría en la economía se requiere gran cantidad de información y variables socio económicas de las regiones que se verían involucradas en el proceso. A pesar de esto, se pretende estimar las diferencias ambientales a mediano y largo plazo que puede generar el **uso** de biocombustibles como sustitutos de hidrocarburos convencionales.

Para ello, es necesario considerar las diferencias en emisiones entre los procesos de creación y uso de ambas sustancias. Se incluyen estimaciones para los factores de emisión de la gasolina, diésel, biocombustibles y combustibles de etanol según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2019), RECOPE (2020) y el Código de Regulaciones Federales de Estados Unidos (2020).

Dado que los biocombustibles de segunda generación utilizan materias primas como desechos alimentarios e industriales, el tratamiento que se brinda dentro de la cadena de producción y tratamiento al residuo orgánico restante puede brindar grandes beneficios. Estos beneficios obtenidos por reducción de contaminación se agregan a los obtenidos por disminución de emisiones, comparado al escenario en el que esos mismos residuos no reciben el tratamiento adecuado (ni su uso alternativo que permita reducir la dependencia de hidrocarburos).

Por lo tanto, la equivalencia económica que permitiría al proyecto ser ambientalmente rentable sería cuando las emisiones totales de producción y uso de biodiesel son menores a las emisiones del uso de gasolina y emisiones relacionadas al no uso de desechos:

$$\begin{aligned} & \textit{Emisiones del proceso de biocombustibles} \\ & = \textit{Emisiones por uso de gasolina} + \textit{Emisiones por no uso de desechos} \\ & + \textit{otras consideraciones.} \end{aligned}$$

En otras consideraciones puede incluirse afectaciones a suelos, usos de tierra, diferencias en procesos de siembra y cosecha, entre otros.

Es común escuchar dentro del mercado de biocombustibles que las siembras y cosechas fijan grandes cantidades de CO<sub>2</sub> antes de ser utilizadas para la creación de combustible, lo que reduce en gran medida la huella de carbono del proceso.

De esta forma, si las emisiones en las que se incurre para la producción del uso de biocombustibles son iguales o menores a las emisiones del no uso de residuos, emisiones por uso de gasolina y consideraciones adicionales, entonces hay un incentivo ambiental para realizar el proyecto. Dada la poca información de las emisiones relacionadas al proceso de producción de biocombustibles, se consideran entonces las diferencias en emisiones relacionadas al uso de gasolina, diésel, biodiésel y bioetanol según sea de caña de azúcar o maíz (y concentración en la mezcla de 10% etanol y 90% gasolina).

Para estimar el valor económico de este diferencial en emisiones, se procede a considerar los distintos precios sociales para el carbono considerados en Costa Rica, Centroamérica y consideraciones internacionales.

Resulta relevante destacar que se han llevado a cabo proyectos de producción y uso de biocombustibles a nivel nacional, pero que dichos programas fallan en compensar y obtener incentivos para los productores por las externalidades ambientales y económicas generadas. Lo que podría ser motivo de dificultad para el avance de estas actividades y su encadenamiento en la economía.

Dicho esto, se procede a verificar la cantidad de litros de combustibles importados y utilizados en el territorio nacional. Esto con el propósito de contextualizar la situación nacional respecto a la importación de hidrocarburos y poder cuantificar la cantidad de litros o barriles de biocombustibles necesarios para cumplir cuotas mínimas que se establezcan (véase el cuadro A1).

**Cuadro A1**  
**Costa Rica: venta de diésel y gasolina (en barriles) a nivel nacional, 2008 a 2018**

Producto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gasolina plus 91	3,674,264	3,637,587	3,660,582	3,687,816	3,719,916	3,786,961	3,761,404	3,878,433	3,933,754	3,961,735	3,961,448
Diesel	6,599,627	6,475,249	6,445,758	6,664,270	6,643,503	6,660,115	6,798,331	7,158,852	7,606,777	7,738,571	7,756,891

Fuente: Elaborado por autores según datos de ventas anuales de RECOPE (2020).

El proceso de cambio de insumos puede ser impulsado a través de cuotas mínimas de sustitución sobre el total de hidrocarburos importados. Para mostrar lo que una representa una cuota mínima según el consumo nacional, se ejemplifica una cuota del 10% sobre el total de venta de combustibles en Costa Rica durante el año 2018 (véase el cuadro A2).

**Cuadro A2**  
**Costa Rica: venta de diésel y gasolina (en barriles) a nivel nacional, y necesidad de biocombustibles para sustitución de un 10% de venta, 2018**

Combustible	Cuota seleccionada	Cantidad de barriles vendidos, 2018	Necesidad de biocombustibles
Diésel	10%	7 756 890	775 689 (de biodiésel B100)
Gasolina plus91	10%	3 961 448	396 144 (bioetanol a base de caña)
Gasolina plus 91	10%	3 961 448	396 144 (bioetanol a base de maíz)

Fuente: Elaborado por autores según datos de ventas anuales de RECOPE (2020).

Para cuantificar las diferencias en emisiones según los escenarios de cuotas establecidos, son necesarios los factores de emisiones. Se utilizan los factores para el uso de gasolina y diésel estimados por el Instituto Meteorológico Nacional (2019) en la publicación de Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero.

Para las emisiones relacionadas al uso de biocombustibles, se consideran los factores de emisión brindados por el Gobierno de Estados Unidos mediante el código electrónico de Regulaciones Federales (e-CFR, actualizado al 2020). Por medio de dicho código electrónico se determinan datos de eficiencia y emisión para distintos combustibles y actividades económicas, con el propósito de ser utilizados en reportes sobre emisiones de GEI mandatorios en el país norteamericano.

Respecto a las emisiones de etanol, la Dirección de Planificación de RECOPE (2020) menciona que las cifras de la U.S. Environmental Protection Agency para las emisiones por el uso de etanol a partir de maíz conllevan una reducción de emisiones equivalente al 11% respecto al uso de la gasolina.

Por su parte, RECOPE (2020) brinda un factor de emisión de GEI por el uso del etanol de caña. Dicho valor representa una reducción de emisiones del 59% si se sustituyese un TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol de caña (p. 63).

En términos volumétricos, según RECOPE (2020) y acorde al contenido energético dado por la Unión Europea en el 2018, el etanol de caña de azúcar genera 0,80 kg de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) por cada litro, mientras que el etanol de maíz genera 1,74 kg CO<sub>2</sub>e por litro. Dicha cifra asume una mezcla de bioetanol con proporción del 8% de etanol.

Dada la información mencionada, los factores de emisión utilizados para cada tipo de combustible se detallan en el cuadro A3.

**Cuadro A3**  
**Factores de emisión de CO<sub>2</sub> correspondientes para diésel, gasolina, biodiésel (B100)**  
**y bioetanol (con concentración de 10% de etanol)**

Combustible:	Factor de emisión:
Gasolina plus91	2 231 kgCO <sub>2</sub> /litro
Diésel	2 613 kgCO <sub>2</sub> /litro
Bioetanol a base de maíz	2 192 kgCO <sub>2</sub> /litro
Bioetanol a base de caña	2 117 kgCO <sub>2</sub> /litro
Biodiésel (B100)	2 489 kgCO <sub>2</sub> /litro

Fuente: Elaborado por autores mediante factores de emisión del IMN (2019), RECOPE (2020) y e-CFR (2020).

Los factores de emisión seleccionados resultan en reducciones de:

- 0,039 kgCO<sub>2</sub>/litro de gasolina sustituido por bioetanol a base de maíz.
- 0,114 kgCO<sub>2</sub>/litro de gasolina sustituido por bioetanol a base de caña.
- 0,124 kgCO<sub>2</sub>/litro de diésel sustituido por biodiésel B100.

Por lo tanto, considerando la cantidad de diésel o gasolina importada, la cuota mínima de sustitución para biocombustible, el respectivo costo para el carbono y el diferencial de emisiones de GEI se obtienen los beneficios en términos de emisiones y términos monetarios para el año 2018, con estimaciones para años futuros.

A pesar de que distintos países alrededor del mundo (ejemplo China y países europeos) han manifestado su compromiso en reducir emisiones mediante la prohibición de importación y producción de vehículos de tecnologías convencionales para el año 2030 o posteriores. Hasta que esta medida sea

tomada por Costa Rica, se puede asumir que la cantidad de vehículos importados que hagan uso de hidrocarburos seguirá manteniendo la mayoría de proporción al menos durante los próximos 15 años (a menos que emergencias climáticas o de otra índole aceleren el proceso). Además, aún consolidadas restricciones a la importación, la flota vehicular de tecnologías de combustión seguirá demandando hidrocarburos durante los siguientes 20 años o más de vida útil que mantienen.

Por lo tanto, para el cálculo de la demanda y venta total de hidrocarburos a nivel nacional se asume que las ventas mantienen el crecimiento promedio presentado entre el 2008 y 2018 (1,73% para el diésel y 0,76% para la gasolina) hasta el 2040.

Con dichos supuestos, la cantidad de combustibles importados, sustituidos y de emisiones evitadas para algunos de los años de la serie se detallan en el cuadro A4.

**Cuadro A4**  
**Estimación de la cantidad barriles vendidos de hidrocarburos, cantidad sustituida por biocombustibles y emisiones evitadas según sustitución, año 2021**

Tipo de combustible	Cantidad de venta (barriles de hidrocarburo)	Cantidad sustituida (barriles)	Emisiones evitadas (tonCO <sub>2</sub> )
Diésel por biodiésel	8 176 137	817 613	16 120
Plus91 por bioetanol a base de caña	4 052 670	405 267	7 376
Plus91 por bioetanol a base de maíz	4 052 670	405 267	2 531

Fuente: Elaborado por autores mediante compras de RECOPE (2020) y factores de emisión del IMN (2019), RECOPE (2020) y e-CFR (2020).

**Cuadro A5**  
**Estimación de la cantidad barriles vendidos de hidrocarburos, cantidad sustituida por biocombustibles y emisiones evitadas según sustitución, año 2030**

Tipo de combustible	Cantidad de venta (barriles de hidrocarburo)	Cantidad sustituida (barriles)	Emisiones evitadas (tonCO <sub>2</sub> )
Diésel por biodiésel	9 541 546	954 154	18 812
Plus91 por bioetanol a base de caña	4 339 131	433 913	7 898
Plus91 por bioetanol a base de maíz	4 339 131	433 913	2 710

Fuente: Elaborado por autores mediante compras de RECOPE (2020) y factores de emisión del IMN (2019), RECOPE (2020) y e-CFR (2020).

**Cuadro A6**  
**Estimación de la cantidad barriles vendidos de hidrocarburos, cantidad sustituida por biocombustibles y emisiones evitadas según sustitución, año 2040**

Tipo de combustible	Cantidad de venta (barriles de hidrocarburo)	Cantidad sustituida (barriles)	Emisiones evitadas (tonCO <sub>2</sub> )
Diésel por biodiésel	11 327 698	1 132 769	22 333
Plus91 por bioetanol a base de caña	4 681 232	468 123	8 521
Plus91 por bioetanol a base de maíz	4 681 232	468 123	2 924

Fuente: Elaborado por autores con base en ventas de hidrocarburos y factores de emisión.

Se evidencia de los resultados la clara ventaja del bioetanol a base de caña de azúcar para reducción de emisiones. Por su parte, si se consolidara un 10% de sustitución en las ventas de diésel por biodiésel y un 10% de sustitución en las ventas de gasolina Plus91 por bioetanol a base de caña de azúcar, según las estimaciones de ventas realizadas, representaría un ahorro en emisiones de **casi 23.500** toneladas de CO<sub>2</sub> anuales para el año 2021. Dicho ahorro en emisiones es mayor conforme el monto de ventas e importación de combustibles aumente (ya que al ser proporcional se reflejan en mayor cantidad de biocombustibles).

Dicho monto, para ser monetizado se multiplica según el precio del carbono ofrecido por el Pago de Servicios Ambientales de FONAFIFO (7,5 USD/tonCO<sub>2</sub>), el Costo Social del Carbono ofrecido por CEPAL (2019, con 25 USD/tonCO<sub>2</sub>) y recomendaciones para el precio del carbono según el Banco Mundial (2019, con 50 USD/tonCO<sub>2</sub>).

Se toma entonces las 23.496 toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas por la sustitución del 10% del total en ventas de diésel y gasolina Plusg1 por biodiésel y bioetanol (con mezcla de 10% de etanol proveniente de caña de azúcar), dichas emisiones se multiplican por cada costo del carbono para así obtener el monto monetario de la internalización de emisiones estimadas para el año 2021 (véase el cuadro A7).

**Cuadro A7**  
**Estimación del valor económico de las externalidades evitadas, según distintos precios para el carbono**

Precio del carbono (USD/tonCO <sub>2</sub> )	Emisiones anuales evitadas (tonCO <sub>2</sub> )	Monto en USD
7,5	23 496	176 220
25	23 496	578 400
50	23 496	1 174 800

Fuente: Elaborado por autores según precios del carbono de Cepal (2019), Banco Mundial (2019) y FONAFIFO.

En el caso en que la cuota mínima de sustitución varíe, los ahorros en emisiones cambian proporcionalmente a la variación de dicha cuota. Por ejemplo, si la cuota se definiera en un 15% o 20%, las emisiones aumentarían en el mismo coeficiente (diferencial de emisiones) multiplicado por una mayor cantidad de barriles necesarios para la sustitución (en estos casos de cuota, ocurrirían aumentos del 50% y 100% de las emisiones evitadas, respectivamente).

Por lo tanto, para cuotas del 15% y 20% la cantidad de emisiones evitadas según el consumo estimado del 2021 y el monto monetario según cada precio del carbono se presentan en el cuadro A7 y A8, respectivamente.

**Cuadro A8**  
**Estimación del valor económico de las externalidades evitadas, según distintos precios para el carbono, análisis para cuotas de sustitución del 15%**

Precio del carbono (USD/tonCO <sub>2</sub> )	Emisiones anuales evitadas (tonCO <sub>2</sub> )	Monto en USD
7,5	35 254	264 405
25	35 254	881 350
50	35 254	1 762 700

Fuente: Elaborado por autores según precios del carbono de CEPAL (2019), Banco Mundial (2019) y FONAFIFO.

**Cuadro A9**  
**Estimación del valor económico de las externalidades evitadas, según distintos precios para el carbono, análisis para cuotas de sustitución del 20%**

Precio del carbono (USD/tonCO <sub>2</sub> )	Emisiones anuales evitadas (tonCO <sub>2</sub> )	Monto en USD
7,5	46 992	352 440
25	46 992	1 174 800
50	46 992	2 349 600

Fuente: Elaborado por autores según precios del carbono de Cepal (2019), Banco Mundial (2019) y FONAFIFO.

Otro aspecto ambiental relevante de la implementación de biocombustibles en el país es la reducción de materiales particulados en el aire. Esto porque parte del mercado de biocombustibles afirma que la cantidad de material particulado (tanto PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>) generado por el uso de estos combustibles es mucho menor que el generado por diésel y gasolina. Dicho diferencial de emisiones depende en gran medida de la calidad y procesos de producción de los combustibles utilizados, por lo que resulta relevante dar seguimiento a estas variables una vez que la producción de biocombustibles a nivel nacional aumente.

La reducción del material particulado presenta grandes beneficios para la sociedad, como los ya mencionados en las consideraciones de externalidades para las estructuras de costos de los autobuses. Gran parte de los beneficios son obtenidos por reducción de daños y enfermedades pulmonares, que se reflejan en menores costos de hospitalización e inclusive menores mortalidades a causa de enfermedades respiratorias.

Por lo tanto, dados los montos económicos que representan las externalidades evitadas, según sea la tasa de sustitución de hidrocarburos a biocombustibles, mecanismos para la internalización de dichas emisiones mejoraría las condiciones financieras para los productores de biocombustibles, además de brindar valor a los esfuerzos realizados para mantener operaciones más limpias y sostenibles.

#### D. Estudios de rentabilidad privada y análisis beneficio costo económico

Para el desarrollo de este trabajo se buscaron estudios que recientemente aborden una evaluación integral del cultivo por tipo de especie para la producción de bioetanol como biodiésel.

En el caso de etanol, no se logró identificar estudios a nivel de factibilidad que definan el modelo de rentabilidad de dicha actividad, así como supuestos y variables clave que ayuden a realizar una actualización de sus resultados y permitir llevarlo a una evaluación económica, la cual podría ayudar a determinar un alcance más global de la explotación de estos cultivos. Por lo que se llega a la misma recomendación externada por RECOPE (2020), que es impulsar el desarrollo de estudios que permitan definir los criterios para el desarrollo de un mercado nacional de producción de bioetanol.

En lo referente a biodiésel, CIESA (2002) desarrolló un estudio para la producción de biocombustible a través del cultivo de palma africana. Concluye que, bajo el esquema de organización de mercado presente en el año 2020, y ante la simulación de 100 escenarios considerando variación en parámetros determinantes, así como tamaños de planta, en la mayoría de estos escenarios el resultado es un VAN negativo, lo que implica, pérdidas a nivel privado en la realización de esta inversión (véase el cuadro A10).

Debido a que los resultados presentan un desfase de aproximadamente de 20 años, y en aras de evaluar la alternativa de biodiésel como un sustituto de hidrocarburos, se propone la realización de una actualización de este estudio y ampliarlo al incluir otros cultivos de interés mencionados por el Programa Nacional de Biocombustibles. Además de una exhaustiva valoración de las zonas y escenarios de producción más factibles para la actividad.

**Cuadro A10**  
Valor actual neto y tasa interna de retorno cuando sólo biodiésel es fuente de ingresos

Planta 9: g23 Combinación	Planta 10		Planta 20		Planta 40	
	VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
C11	(9 932 798,55)	-∞	(16 182 103,95)	-∞	(28 724 991,86)	-∞
<b>C12</b>	<b>10 205 187,40</b>	<b>1,17%</b>	<b>24 093 867,94</b>	<b>5,94%</b>	<b>51 826 954,11</b>	<b>9,74%</b>
C13	(25 539 014,13)	-∞	(47 394 535,11)	-∞	(91 149 855,88)	-∞
C14	(39 046 282,12)	-∞	(74 409 071,08)	-∞	(145 178 929,31)	-∞
C21	(191 441,32)	-∞	3 300 610,50	-∞	10 240 438,10	-∞
<b>C22</b>	<b>19 946 544,62</b>	<b>10,93%</b>	<b>43 576 582,39</b>	<b>18,62%</b>	<b>90 792 384,07</b>	<b>25,67%</b>

Planta 9: g23	Planta 10		Planta 20		Planta 40	
Combinación	VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
C23	(15 797 656,91)	-∞	(27 911 820,65)	-∞	(52 184 425,92)	-∞
C24	(29 304 924,90)	-∞	(54 926 356,63)	-∞	(106 213 499,35)	-∞
C31	(19 097 815,03)	-∞	(34 512 136,90)	-∞	(65 385 058,75)	-∞
<b>C32</b>	<b>1 040 170,92</b>	<b>-∞</b>	<b>5 763 835,21</b>	<b>-∞</b>	<b>15 166 887,22</b>	<b>-∞</b>
C33	(34 704 030,61)	-∞	(65 724 568,05)	-∞	(127 809 922,77)	-∞
C34	(48 211 298,60)	-∞	(92 739 104,03)	-∞	(181 838 996,20)	-∞
Planta	Planta 10		Planta 20		Planta 40	
Combinación	VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
C42	(39 124 979,00)	-∞	(74 566 464,86)	-∞	(145 493 716,82)	-∞
C52	(29 383 621,78)	-∞	(55 083 750,40)	-∞	(106 528 286,86)	-∞
C62	(48 289 995,48)	-∞	(92 896 497,80)	-∞	(182 153 783,71)	-∞

Fuente: Tomado de CIESA (2002).

## E. Conclusiones del mercado

Bajo el contexto de que la importación de tecnologías convencionales de transporte no se ha visto afectadas en gran medida por la implementación de tecnologías eléctricas, lo que resulta en una poca variación en la demanda de hidrocarburos de la economía, se hace relevante explorar opciones que permitan reducir la dependencia petrolera exterior y que generen un menor impacto ambiental de las actividades económicas.

La incursión en producción de biocombustibles a nivel nacional permite el aprovechamiento y mejor manejo de residuos, creación de ciertas oportunidades de empleo (con posibilidad de empleo formal), menores emisiones y menor dependencia del mercado internacional de hidrocarburos.

A pesar de la volatilidad de los precios de los combustibles (lo que generaría variaciones en el mercado de biocombustibles), se resalta la necesidad de valoraciones de proyectos de esta índole que consideren internalización de externalidades, mejor creación de empleo en zonas vulnerables del país, tasas de descuento y rentabilidad acorde a los propósitos ambientales y de largo plazo, entre otras acciones con el propósito de que la rentabilidad financiera y económica de estos proyectos puedan dar giros a favor de la implementación de estas iniciativas en el país.

Además, nuevas actividades pueden surgir como parte del proceso, por ejemplo, la glicerina resultante del proceso puede ser utilizada para la producción de distintos químicos, alimentos, entre otros bienes los cuales requieren nuevas fases de producción; el éster metílico generado puede ser utilizado para la fabricación de herbicidas, inoculantes e insecticidas; e inclusive, la actividad de transporte de insumos, biodiésel o materiales reciclables pueden presentar mejores incentivos a participar para la población.

La necesidad de apoyo y refuerzo a los programas de biocombustibles en Costa Rica ganó relevancia durante última década. El empleo de fondos de financiamiento debe ser aprovechados en iniciativas que se fundamenten en un mejor desarrollo del sector agrícola, generación de nuevos empleos, mejorías en el ambiente y calidad del aire, reducción de dependencia a la importación, avances en tema de desarrollo sostenible y una diversificación de la canasta energética.

A pesar de requerir el uso de monocultivos extensos, el aprovechamiento de tierras para siembra y producción, mientras sea debidamente regulado y evaluado, promueve el uso respetuoso de la biodiversidad y el medio ambiente.

La base impositiva sobre la importación de vehículos y maquinaria con tecnologías convencionales e importación de hidrocarburos podrían permitir facilidades financieras que compensen las reducciones de emisiones y brindar mejores escenarios para la creación de biocombustibles en comparativa a los hidrocarburos convencionales importados. Sin embargo, la aplicación de estos impuestos adicionales requiere cautela, ya que pueden ser aplicados de manera recesiva e influir negativamente en el bienestar social.

El mercado y uso de hidrocarburos generalmente se encuentra bien colocado en las economías de los países, y el avance en técnicas de extracción y refinamiento han permitido colocar a los combustibles fósiles como una opción llamativa y práctica para las actividades productivas.

El avance de mecanismos sostenibles para reducir la dependencia de hidrocarburos pone en riesgo el avance y hegemonía del mercado de combustibles fósiles, el cuál presenta conductas competitivas voraces, por lo que el conocimiento de la población a opciones sostenibles y los esfuerzos realizados localmente para alcanzarlas resultan especialmente relevantes.

### Anexo 3

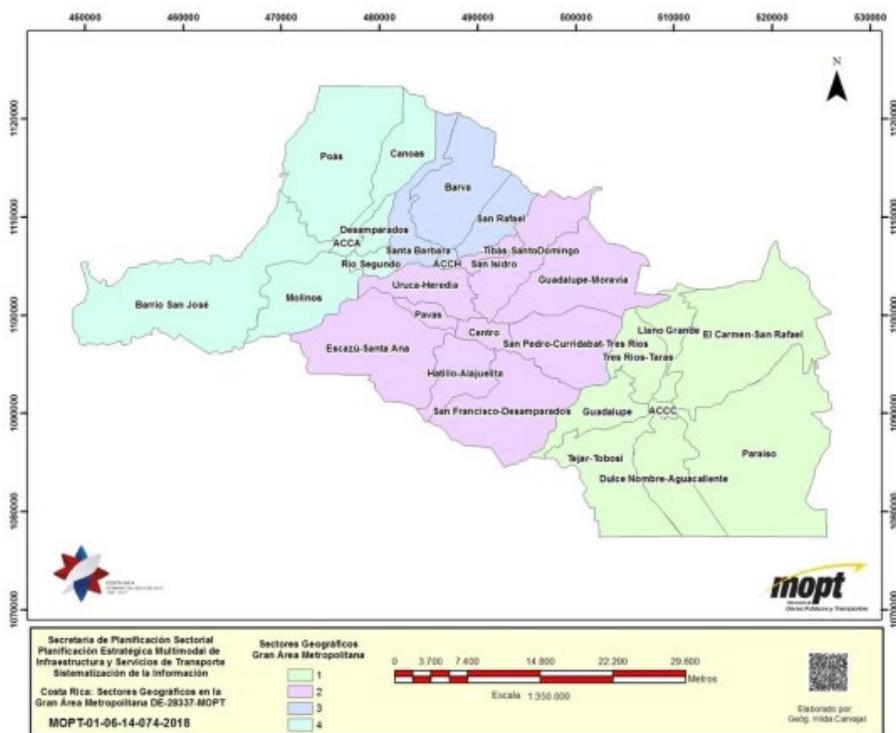
## Elementos generales del plan de sectorización del transporte público en el Área Metropolitana de San José

Para consolidar los tres últimos principios: troncalización-priorización-integración, es necesario una nueva política tarifaria de integración de servicios que incluya descuentos o bonificaciones para el usuario por viajes integrados, así como un sistema de pago electrónico que permita verificar, administrar y controlar la realización de esos viajes integrados (MOPT, 2018, p. 7).

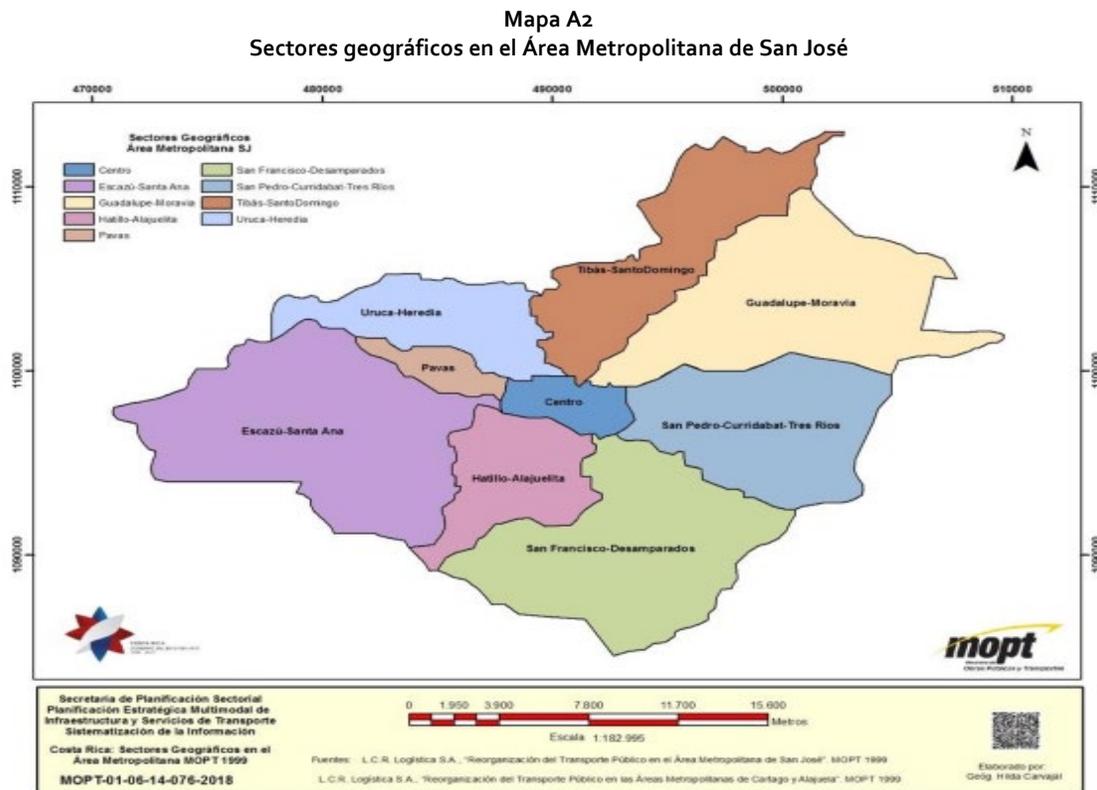
### A. Sectores geográficos en el Área Metropolitana de San José

Los sectores geográficos para la operación de las rutas urbanas de transporte público en el AMSJ, fueron técnicamente definidos en el estudio "Reorganización del Transporte Público en el Área Metropolitana de San José" (1999), oficializado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes en el año 2000 a través del Decreto Ejecutivo 28337-MOPT.

**Mapa A1**  
Sectores geográficos en la Gran Área Metropolitana



Fuente: Tomado de MOPT (2018, p. 8).



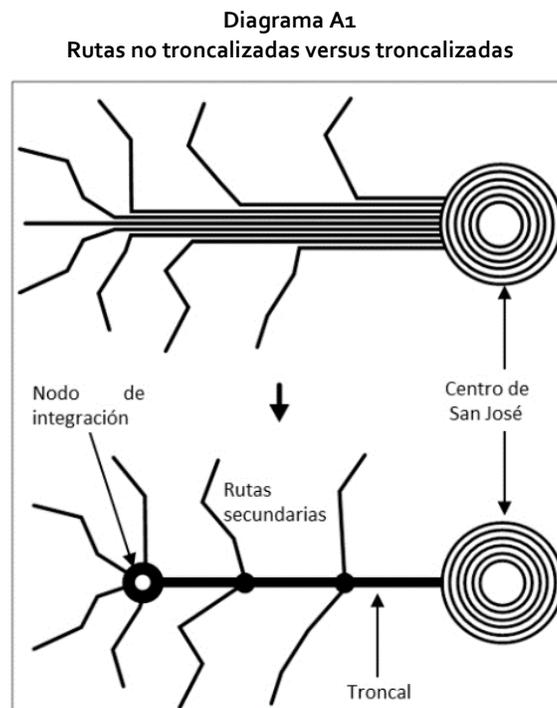
Fuente: Tomado de MOPT (2018, p. 8).

Por otra parte, los sectores y subsectores en el AMSJ, fueron ratificados por un acuerdo tomado por la Junta Directiva del Consejo de Transporte Público el 25 de setiembre del 2007. Este acuerdo define 9 sectores con sus subsectores, los cuales son:

- xvii) Sector-Subsector Heredia – Uruca
- xviii) Sector-Subsector Tibás - Santo Domingo
- xix) Sector Guadalupe – Moravia
  - Subsector Moravia – Paracito
  - Subsector Guadalupe – Coronado
- xx) Sector-Subsector Escazú – Santa Ana – Ciudad Colón
- xxi) Sector-Subsector San Pedro – Curridabat – Tres Ríos
- xxii) Sector San Francisco – Desamparados
  - Subsector San Francisco
  - Subsector Desamparados
- xxiii) Sector Hatillo – Alajuelita – Paso Ancho y San Sebastián
  - Subsector Paso Ancho – San Sebastián
  - Subsector Hatillo – Alajuelita
- xxiv) Sector-Subsector Pavas
- xxv) Sector-Subsector Central

## B. Troncalización

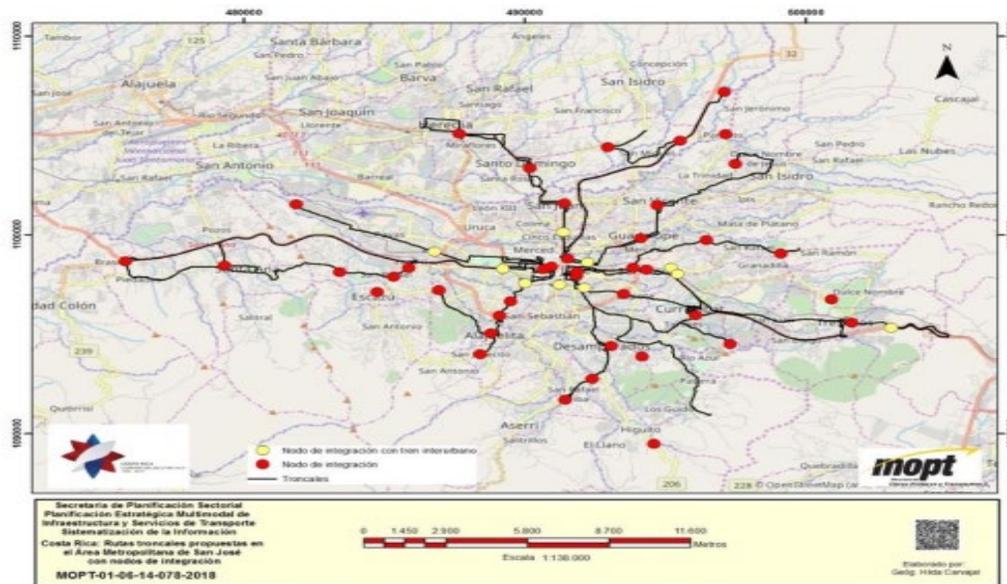
Implantar un esquema completo de rutas tronco-alimentado (acción conocida como troncalizar), significa cambiar el esquema de múltiples rutas aisladas atendiendo viajes desde diferentes orígenes y hacia un mismo destino, por un esquema de rutas jerarquizadas e integradas, estructuradas para atender los mismos patrones de origen-destino ya existentes, pero eliminando la superposición de recorridos donde no sea estrictamente necesaria. En el esquema tronco-alimentado se tienen fundamentalmente tres tipos de rutas: primarias (conocidas como troncales), secundarias (conocidas como alimentadoras) y distribuidoras.



Fuente: Tomado de MOPT (2018, p. 10).

De manera general, tomando en cuenta el presente esquema de troncalización por sector y subsector del AMSJ, el mapa A3 expresa la propuesta planteada. En el informe de "Plan de Implementación de la Primera Etapa del Proyecto Sectorización y Modernización del Transporte Público Masivo modalidad Autobús del AMSJ" se detalla por cada uno de los subsectores los nodos de integración, rutas troncales y secundarias.

**Mapa A3**  
Rutas troncales propuestas en el Área Metropolitana de San José según los diferentes informes técnicos por subsector y sector



Fuente: Tomado de MOPT (2018, p. 19).

### C. Alcances generales del proyecto

Dentro de la primera etapa del proyecto piloto se incluirán intervenciones y acciones en toda el Área Metropolitana de San José (AMSJ), con especial énfasis en sector Tibás-Santo Domingo, subsector San Francisco, subsector Moravia-Paracito, sector San Pedro-Curridabat-Tres Ríos, sector Escazú-Santa Ana, subsector Hatillo-Alajuelita, subsector Desamparados y sector Pavas.

Las acciones e intervenciones involucradas en la primera etapa del proyecto piloto, incluyen:

- Operación de rutas troncales dentro de los sectores y subsectores operativos.
- Operación de rutas secundarias nuevas dentro de los sectores y subsectores operativos.
- Acciones para la integración intermodal del transporte público: rutas urbanas por autobús-tren interurbano.
- Intervenciones para el mejoramiento del uso de la infraestructura vial por las rutas urbanas de transporte público.
- Acciones administrativas para priorizar, durante los períodos pico, el paso de autobuses de rutas troncales de transporte público.

Rutas involucradas

- Rutas troncales 1era etapa
  - San José-Tibás-Santo Domingo-Heredia.
  - Troncal San José-Moravia-San Antonio-Dulce Nombre.
  - Troncal San José-Zapote-Curridabat-Tres Ríos por pista-El Fierro.
  - Troncal San José-San Pedro-Pinares-Tres Ríos por Calle Vieja-El Fierro.
  - Troncal San José-Sabanilla-La Campiña.
  - Troncal San José-Hatillo-Alajuelita-La Cima.

- Rutas troncales 2da etapa
  - Troncal San José-San Francisco-Colina-Tirrasas.
  - Troncal San José-San Pedro-Curridabat-Tirrasas.
  - Troncal San José-Desamparados-San Rafael Arriba.
  - Troncal San José-Escazú-Santa Ana-Brasil.
  - Troncal San José por pista-Santa Ana-Piedades.
  - Troncal San José-Pavas-Lomas del Río.
- Rutas troncales 3era etapa
  - Troncal San José-El Bosque-San Antonio-Guatuso.
  - San José-Tibás-San Miguel-Los Ángeles.
  - San José -San Miguel-San Luis-Las Juntas.
  - Troncal San José-San Rafael-Santa Ana-Piedades-Brasil.
  - Troncal San José-Hatillo-Alajuelita-San Felipe-La Aurora.
- Rutas secundarias propuestas
  - San Antonio-San Francisco-El Bosque-Desamparados-San Antonio.
  - Guatuso-San Antonio-Desamparados.
  - Linda Vista-San Antonio-Desamparados.
  - Quebradas-San Diego-Tres Ríos-Yerbabuena-El Carmen.
  - Curridabat-José M<sup>a</sup> Zeledón-Zapote-San Pedro-Cipreses-Walmart-Curridabat.
  - Curridabat-Plaza del Sol-UCR-Lourdes-Guayabos-Cipreses-La Lía-Curridabat.
  - La Isla-San Blas-Jardines-Moravia-Plaza Lincoln-La Isla.
  - Santo Domingo-Santo Tomás-Barrio Lourdes-Quebrada-Los Ángeles-Santo Tomás-Santo Domingo.
  - Escazú-La Paco-Multiplaza-Cima-Bello-Horizonte-Escazú.
  - San José-San Rafael-Escazú Centro.
  - Hatillo 7-Hatillo 6-Hatillo2-Hatillo 1-Hatillo Centro-Hatillo 4-Hatillo 1-Hatillo 2-Hatillo6- Hatillo 7.
  - Hatillo 8-Hatillo 1-Hatillo Centro-Hatillo 4-Hatillo 3-Hatillo 2-Hatillo 8.
  - 15 de Setiembre-Hatillo Centro-Sagrada Familia-San Sebastián-15 de Setiembre.
  - El Llano-La Cima-Calle Cochea.
  - San Rafael-San Juan de Dios-San Rafael Abajo-Calle Fallas-Desamparados.

#### **D. Integración de servicios intermodal-intersectorial-intrasectorial**

Las troncales priorizadas tienen como característica, la capacidad de conectarse con las rutas intersectoriales y con el Tren interurbano, esta variable va integrando el sistema en sus diferentes modalidades:

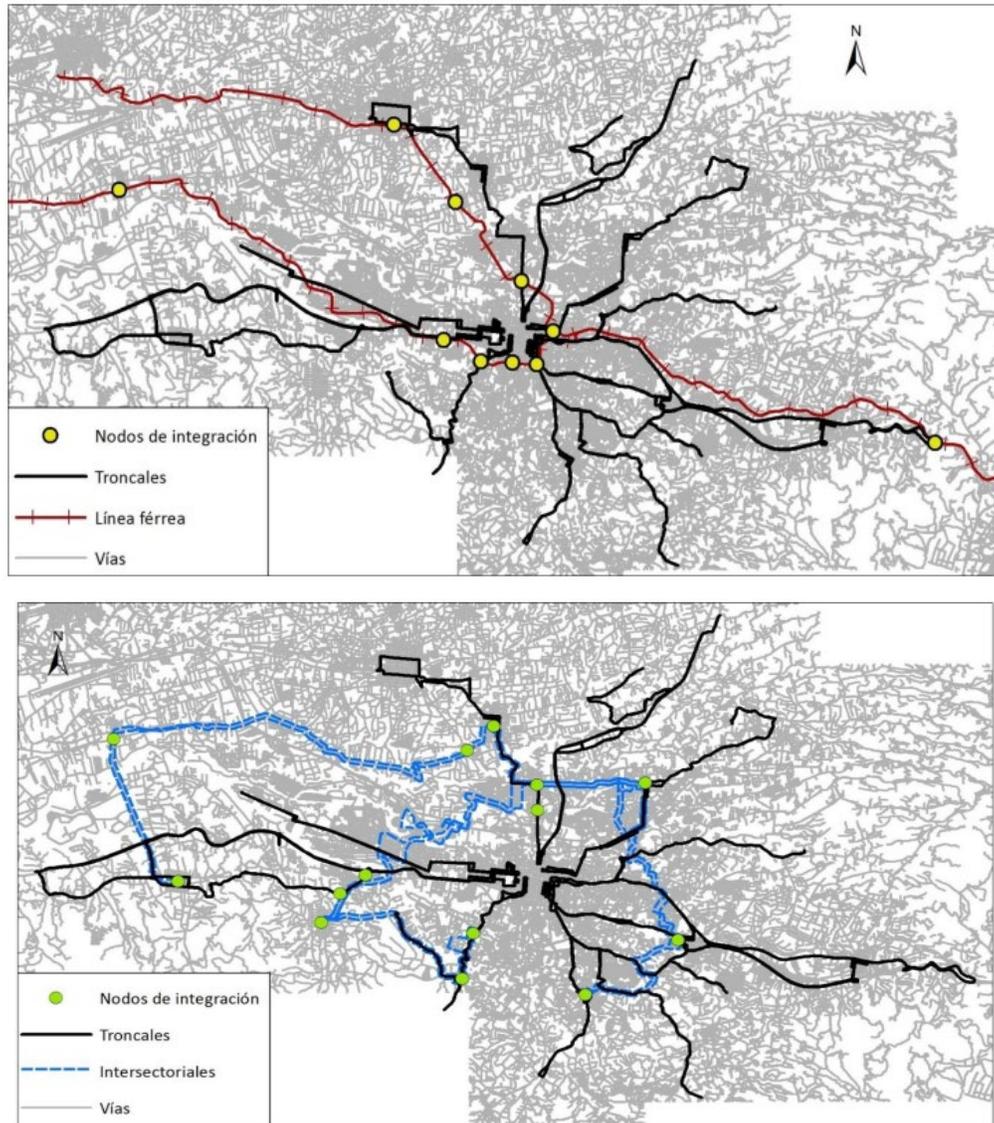
- Troncal – Secundaria
- Troncal – Intersectorial
- Troncal – Tren interurbano

Estos puntos de encuentro de pasajeros, de tiempos de viaje, de modos de transporte, requieren de emplazamientos urbanos y equipamiento complementario al transporte y la movilidad. Estos puntos se denominan **Nodos de Integración**.

Estos puntos estratégicos se encuentran definidos geográficamente de la siguiente manera:

## 1. Troncales – Rutas Intersectoriales Troncales-Tren

Mapa A4  
Troncales intersectoriales y nodos integración con el tren



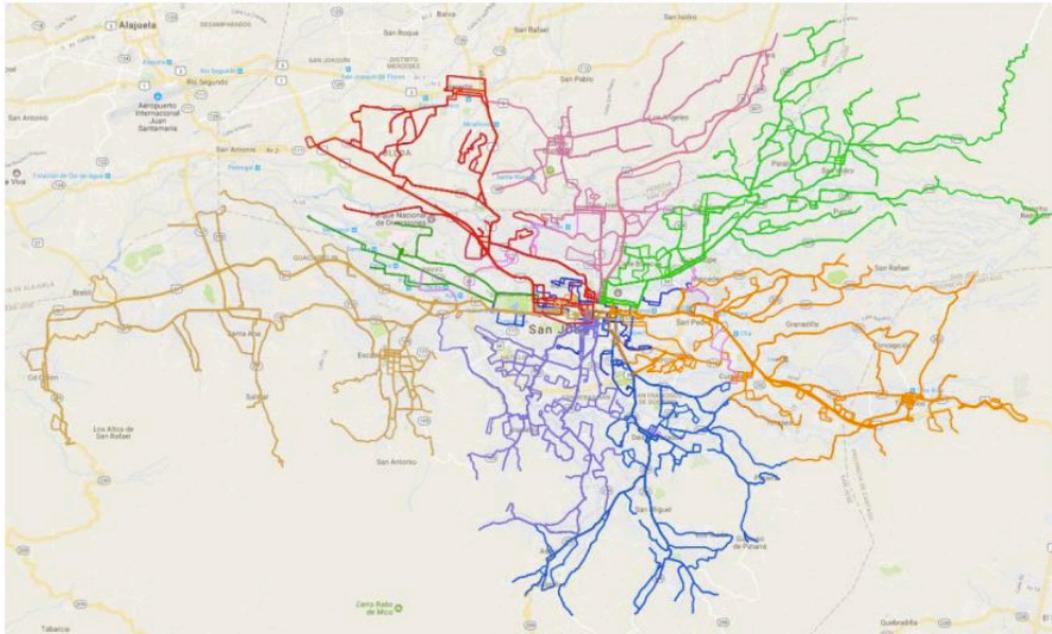
Fuente: Tomado de MOPT (2018, p. 32).

## 2. Transporte público en el Área Metropolitana de San José

### a) Contexto transporte público – oferta y demanda

El servicio de transporte público dentro del Área Metropolitana de San José (AMSJ) se divide en ocho sectores con la modalidad “periferia – centro” y un noveno sector con rutas intersectoriales de carácter circular, estas están configuradas de forma radial del centro a la periferia. En total, se tiene 256 rutas de autobús cuyo servicio es ofertado por empresas privadas contratadas a través de concesiones de servicios públicos, otorgadas por el MOPT y con una duración de siete años. En el mapa A5 se presenta la distribución espacial de las rutas y su cobertura a lo largo del AMSJ.

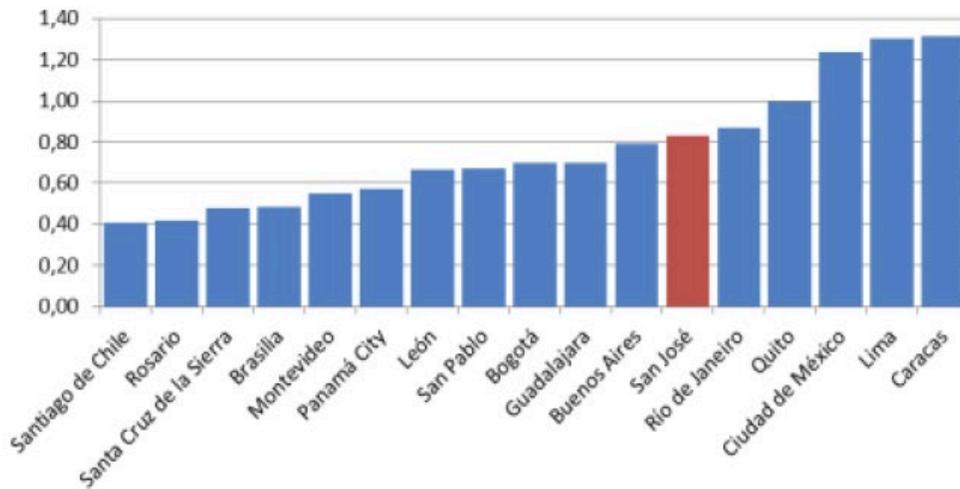
**Mapa A5**  
Rutas sectoriales de transporte público en el AMSJ



Fuente: Tomado de (AC&C y Gensler, 2017).

Para San José, utilizando datos recopilados por el Observatorio de Movilidad Urbana del banco de desarrollo de América Latina (OMU-CAF) se determina la cantidad de viajes que se realizan en transporte público de autobús por habitante y por día. Se identifica que en San José los habitantes realizan, en promedio, 0,83 viajes por día. Por lo que esta ciudad se encuentra encima de la media relativa de otras ciudades en Latinoamérica (véase el gráfico A2).

**Gráfico A2**  
Viajes en autobús por habitante por día



Fuente: Tomado de (AC&C y Gensler, 2017) con base en datos de OMU-CAF.

Como parte de la contextualización, es pertinente mencionar varias características del servicio de transporte público, que propicia o limita el análisis exhaustivo de su oferta y demanda. La regulación de este servicio es mediada por dos entes, el Consejo de Transporte Público (CTP) y la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP). Sin embargo, dada la inexistencia de un control continuo de pasajes vendidos, no se poseen datos actualizados ni históricos de la evolución de la demanda. Al mismo tiempo, no se monitorea las unidades vehiculares por lo que no se tienen datos continuos y completos para todas las rutas del AMSJ sobre la frecuencia de viajes, cumplimiento de recorridos o cantidad de unidades de transporte (AC&C y Gensler. 2017, p. 129).

Al analizar los datos proveídos por la ARESEP, junto con la información recopilada por el Observatorio de Movilidad Urbana del banco de desarrollo de América Latina (OMU-CAF), así como la revisión del "Apoyo al Modelo General de Sectorización de Transporte Público"; se logra identificar información sobre la cantidad de ascensos y descensos diarios, por hora y por ruta de las rutas de cada sector.

Dentro de las características observadas en el último estudio EPYPSA-SIGMA, está que alrededor de 1.161.994 pasajeros son transportados en los nueve sectores del AMSJ, también, como será presentado más adelante, se encuentra que durante un día hábil en el AMSJ se movilizan alrededor de 1.218.000 pasajeros por día. Para la recopilación de datos se consideran un total de 69 rutas de las 256, es decir no se incluye la totalidad de las rutas de cada sector, únicamente para los sectores Centrales y Pavas, para los demás se incluye solo ciertas rutas escogidas de acuerdo con la representatividad dentro del sector, es decir, la cantidad de despachos y la cobertura geográfica (EPYPSA y SIGMA, 2015).

Específicamente, los datos presentados en el estudio "Apoyo al Modelo de Sectorización de Transporte Público" se presentan resumidamente en el cuadro A11.

**Cuadro A11**  
**Pasajeros por día según sector dentro del AMSJ**

Sector	Rutas consideradas	Rutas totales	Ascensos (pasajeros/día)		Participación (en porcentajes)
			Rutas consideradas	Estimado ruta S.J.	
Pavas	5	5	73 593	73 593	6
Central	11	11	88 723	88 723	7
San Francisco - Desamparados	9	34	69 937	160 812	13
San Pedro - Curridabat	8	38	73 727	168 789	14
Guadalupe - Moravia	9	47	99 862	208 797	17
Hatillo - Alajuelita	6	39	51 032	190 842	16
Escazú - Santa Ana	4	35	40 403	100 583	8
Uruca - Heredia	6	19	82 542	118 399	10
Tibás - Santo Domingo	4	21	35 466	72 087	6
Intersectorial & Otras	7	7	35 671	35 671	3
Total	69	256	650 956	1 218 295	100

Fuente: Elaboración propia con datos de EPYPSA y SYGMA, 2015.

Es importante notar que este estudio analiza cada uno de los sectores del AMSJ, sin embargo, como se mencionó, no se desarrolla un trabajo de campo para la totalidad de las rutas de cada sector. Solo en los sectores de Pavas, Central y la denominación "rutas intersectoriales y otras" se consideran todas las rutas dentro del sector.

La estimación de los pasajeros por día para la restante totalidad de rutas dentro de cada sector se realiza con las estimaciones del Índice de Pasajeros por Kilómetro (IPK) promedio presentado en el cuadro A12. Se asume el mismo IPK promedio del sector para las restantes rutas del mismo y se determina una medida de los pasajeros al día por sector.

De los cuadros A12 y A13, se recalcan varias características observadas de la movilidad urbana en transporte público de autobuses. Primero, en el cuadro A12 se observa que en cuatro de los nueve sectores se moviliza más de la mitad de los usuarios en un día hábil. Es decir, en San Francisco – Desamparados, San Pedro – Curridabat, Guadalupe – Moravia y Hatillos – Alajuelita movilizan alrededor del 60% de los pasajeros dentro del AMSJ. Aunado a esto, se observa que los sectores de Pavas, Central, Tibás – Santo Domingo y rutas intersectoriales tienen una participación dentro de la movilidad de entre 3% y 7%. Luego, se estima que alrededor de 1.218.296 pasajeros se movilizan por día dentro del AMSJ (EPYPSA y SYGMA, 2015).

**Cuadro A12**  
**Viajes y kilómetros por día, IPK y velocidades promedio según sector dentro del AMSJ**

Sector	Viajes/día	Km/día	IPK promedio	Velocidad promedio (Km/h)
Pavas	1 503	26 384	2,79	15,99
Central	1 138	9 360	9,48	9,60
San Francisco - Desamparados	1 544	28 469	2,49	16,61
San Pedro - Curridabat	1 696	31 406	2,34	16,29
Guadalupe - Moravia	1 954	40 100	2,49	16,30
Hatillo - Alajuelita	1 108	13 901	3,67	16,69
Escazú - Santa Ana	628	22 863	1,77	22,66
Uruca - Heredia	1 597	38 404	2,15	18,34
Tibás - Santo Domingo	858	14 919	2,38	21,43
Intersectorial & Otras	702	17 562	2,03	16,53
<b>Total</b>	<b>12 728</b>	<b>243 368</b>		

Fuente: Elaboración propia con datos de EPYPSA y SYGMA, 2015.

En el cuadro A13 se observa el índice de pasajeros por kilómetro (IPK), que refleja los niveles de ocupación de las unidades. El IPK promedio de todas las rutas dentro del sistema de transporte público en el AMSJ es de 2,5. Sin embargo, se observan dos sectores, el Central y Hatillos – Alajuela, que difieren considerablemente respecto al promedio. Esto se debe a un mayor uso del transporte público a lo largo de estas rutas o refleja la existencia de rutas con menores distancias. Por ejemplo, el kilometraje recorrido al día en el sector Central es considerablemente menor relativo al resto de sectores mientras que los pasajeros por día transportados en este sector se encuentran entre los menores porcentajes con alrededor del 7% de participación. En el caso del sector Hatillos – Alajuelita este es el segundo sector con menor kilometraje por día recorrido.

Por otra parte, de los datos de Frecuencia y Ocupación Visual (FOV) y Conteos de Ascenso y Descenso presentados en el estudio de EPYPSA – SIGMA, en el informe de PIMUS (Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible) se determinan cuáles son los sectores y rutas entrando al centro de San José que presentan mayor oferta y demanda. En el cuadro A13, recuperado del informe sobre el PIMUS, se detallan el volumen de pasajeros y nivel de ocupación durante la hora pico AM hacia el centro y durante el día en ambos sentidos.

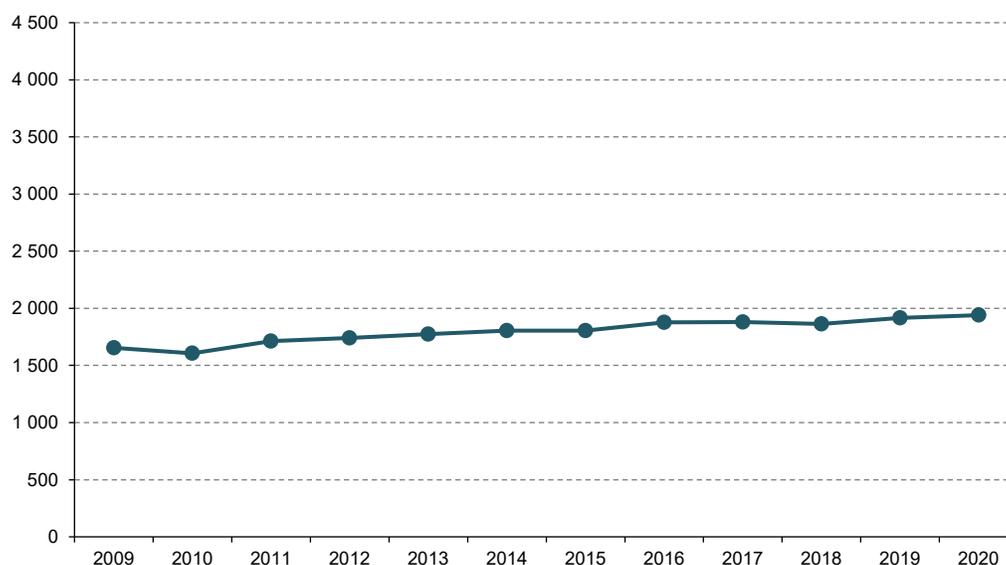
**Cuadro A13**  
Resumen de resultados FOV presentado en el informe del PIMUS

Sector	Hora pico AM-sentido centro		Día-ambos sentidos	
	Volumen pasajeros/hr	Nivel de ocupación (en porcentajes)	Volumen pasajeros/día	Participación (en porcentajes)
Pavas	3 500	116	49 278	7
Escazú - Santa Ana	3 000	75	61 931	9
Hatillo - Alajuelita	11 382	112	111 357	17
San Francisco - Desamparados	9 480	114	92 577	14
San Pedro - Curridabat	5 932	84	83 445	12
Guadalupe - Moravia	8 078	110	99 727	15
Tibás - Santo Domingo	3 024	84	76 872	11
Uruca - Heredia	5 466	94	93 848	14
Total			699 035	99

Fuente: AC&C y Gensler. 2017, con datos de EPYPSA y SIGMA, 2014.

De este cuadro se destacan ciertos aspectos de la utilización de transporte público durante las horas "pico" y durante el día, de las rutas hacia el centro de San José. En promedio, en la totalidad del sistema de transporte público del AMSJ, se tiene que durante las horas pico la ocupación de las unidades de transporte es de 99% de la capacidad. En algunos sectores se sobrepasa la capacidad donde se tiene una ocupación mayor al 100%, como en Pavas, Hatillos – Alajuelita, San Francisco – Desamparados y Guadalupe – Moravia. Los autobuses que componen la flota son de entre 9 y 12 metros de longitud con una capacidad de 80 espacios para usuarios incluyendo los pasajeros de pie (AC&C y Gensler. 2017). En el cuadro A14 y gráfico A3 se expone el tamaño de la flota calculado para el Área Metropolitana de San José con los datos disponibles de la ARESEP.

**Gráfico A3**  
Cantidad de buses para las rutas del AMSJ



Fuente: Elaboración propia con datos de la ARESEP.

**Cuadro A14**  
**Cantidad de autobuses para las rutas del AMSJ**

Año	Cantidad de buses	$\Delta\%$ (en porcentajes)
2009	1 655	-
2010	1 606	-3,0
2011	1 714	6,7
2012	1 740	1,5
2013	1 773	1,9
2014	1 806	1,9
2015	1 805	-0,1
2016	1 877	4,0
2017	1 880	0,2
2018	1 863	-0,9
2019	2 151	15,5

Fuente: Elaboración propia con datos de la ARESEP.

Es importante denotar que debido a las condiciones del monitoreo y la actualización de los datos estos presentan inconsistencias a la hora de generar una exploración estadística de los mismos. Por ejemplo, el caso más evidente es la variación porcentual en la cantidad de buses observada del 2018 al 2019. Esto se debe a que la ARESEP registra cortes transversales mensuales de la flota de buses. De esta manera, existen rutas que por alguna razón presentan información omitida en ciertos cortes transversales ya sea de manera mensual (se omite solo en un mes o corte) o de manera anual (se omite durante todos los cortes transversales de ese año).

Para el salto del 2018 a 2019 se tiene que para antes del 2019 la ruta 300 no presenta información y solo en esta ruta para el 2019 se contabilizan 200 autobuses, por lo que se puede considerar que ciertas inconsistencias inciden significativamente en la calidad de los datos. Sin embargo, es útil considerar que, en efecto, la cantidad de autobuses dentro de la flota del AMSJ se encuentra alrededor de las 1.800 y 1.900 unidades, lo cual concuerda con lo encontrado y expuesto en otros estudios como AC&C y Gensler (2017).

Este tipo de inconsistencias en los datos son la mayor limitante para el desarrollo de modelos econométricos. Estos problemas son también evidentes en el registro de pasajeros de cada ruta. Esto coincide con lo señalado en (AC&C y Gensler, 2017), donde se menciona que debido a que no existe un control continuo de los pasajes vendidos no existe información adecuada para la modelación de la oferta y demanda.

Para los datos de pasajeros brindados por ARESEP, no fue posible obtener una muestra completa en las rutas que operan dentro del AMSJ para un periodo considerable. Sin embargo, el estudio Sánchez (2018) en un "Diagnóstico sobre la situación del transporte y movilidad en Costa Rica", expone que el porcentaje de usuarios que utilizan el transporte público ha bajado significativamente durante los últimos años.

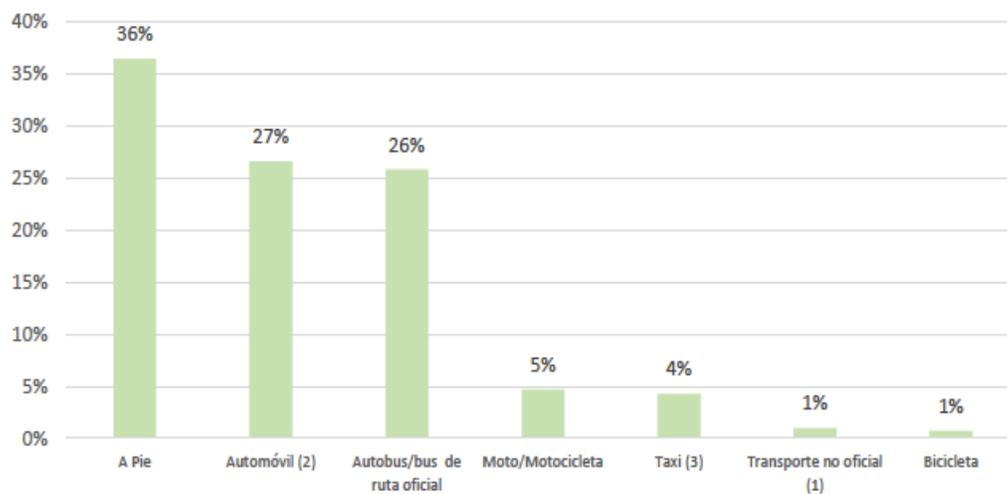
PruGAM (2008) encuentra que este medio de transporte es utilizado por el 54% de los habitantes. En Sánchez (2018) se describe que existen problemáticas que contribuyen a esa disminución de su utilización debido a que el usuario se enfrenta a una serie de desincentivos para tomar uso de este tipo de movilidad.

La configuración del transporte público en patrones radiales presenta una ineficiencia en tiempo al competir con el flujo vehicular particular y de carga, además no presenta una integración intermodal que le favorezca. También, el crecimiento expansivo de baja densidad de la GAM dificulta la rentabilización del transporte colectivo ya que la demanda se distribuye de una manera dispersa y así se desarrolla la necesidad de ampliar los recorridos.

Por otra parte, el transporte público presenta problemas de seguridad, calidad, cumplimiento de horarios y velocidades incomparables al transporte privado. Adicionalmente, en la zona céntrica, debido a que existe una gran cantidad de terminales centrales desintegradas, cada una correspondiendo a la cabecera de las rutas en funcionamiento de cada empresa, se generan otra serie de dificultades que contribuyen a la gama de desincentivos al usuario (AC&C y Gensler. 2017).

Al utilizar los datos de la Encuesta de Movilidad realizada en el estudio AC&C y Gensler (2017), se identifica varios aspectos adicionales de la demanda por transporte. Se encuentra que, de los 2.506.983 viajes realizados el día anterior por el total de los encuestados, un 26% de los viajes realizados son en "Autobús/Bus de ruta oficial" (véase el gráfico A4).

**Gráfico A4**  
**Preferencia de modos de viaje**



Fuente: Tomado de AC&C y Gensler. 2017, p.95.

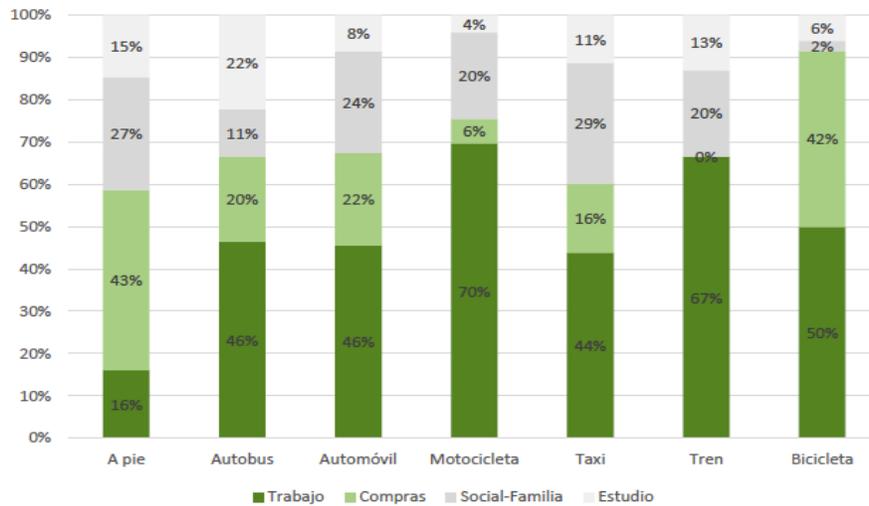
Otros resultados de la encuesta demuestran que, dentro del transporte público, el 80% de los viajes son realizados en autobús y de todos los modos motorizados de transporte públicos y privados el 41% son realizados en autobuses (AC&C y Gensler, 2017).

Se puede encontrar de manera desagregada los motivos de viaje según el modo de transporte público y privado (véase el gráfico A5) según la Encuesta de Movilidad Domiciliaria presentada en AC&C y Gensler (2017).

Dentro del modo de transporte de autobús se observa que el 46% de los usuarios viajan por trabajo, 22% por estudio y el restante 32% corresponde a motivos personales (Compras y Social-Familia). Visto desde otra perspectiva, según motivo de viaje, el gráfico A6 detalla la distribución modal acorde al motivo de viaje.

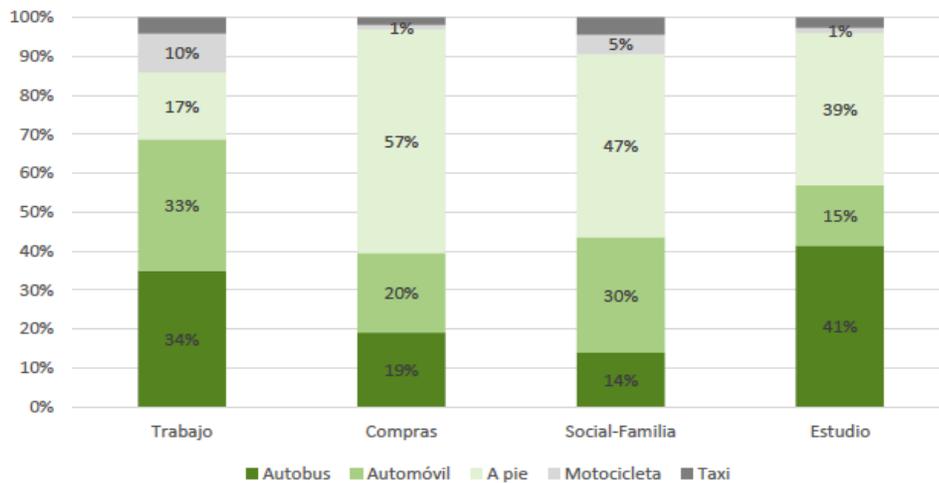
Para movilizarse hacia el trabajo se encuentra que el 34% de los viajes se realizan en autobús, y en comparación, una parecida proporción se moviliza en automóvil con el mismo motivo. Para el motivo de estudio, se ve una considerable menor proporción de personas que utilizan transporte privado mientras que la proporción de los estudiantes que utilizan el autobús es mayor que los trabajadores. De tal manera que el trabajo y el estudio son de los principales motivos del uso de transporte público en el AMSJ.

**Gráfico A5**  
Motivos de viaje según modo utilizado



Fuente: Tomado de AC&C y Gensler (2017, p. 97).

**Gráfico A6**  
Modo por motivo de viaje



Fuente: Tomado de AC&C y Gensler (2017, p. 98).

Dentro de la AMSJ la aglomeración del empleo incide en la eficiencia del transporte público y de manera indirecta en los incentivos o desincentivos de los usuarios para utilizarlo. La GAM genera el 60% de empleo en Costa Rica, y tres de cada cuatro empleos se generan en 8 de los 31 cantones de la GAM. Esto evidencia una concentración de las actividades económicas y por ende el empleo cuyo efecto es que se generen aumentos en los tiempos de viaje y los eventuales problemas de movilidad y congestión.

En esta misma área, el 50% de los trabajadores trabajan en un cantón diferente al que residen. Los principales destinos de viajes son San José, Alajuela, Heredia y Cartago lo cual provoca una concentración de tránsito en los centros de las cuatro Áreas Metropolitanas de la GAM (Sánchez, 2018).

## b) Análisis empírico de la sectorización

En el estudio EPYPSA-SIGMA (2015), se desarrolla un análisis multi-criterio para la evaluación de potenciales corredores de rutas para la implementación de la sectorización del transporte público, utilizando principalmente la información recopilada en el trabajo de campo y procesamiento de información.

Se desarrolla una herramienta que define una jerarquía de pesos a cada componente relevante dentro del análisis. Se considera que dentro de los componentes a considerar para la implementación de un plan piloto hay cuatro dimensiones: el componente Transporte, Urbano e Infraestructura, Socioambiental y Económico. Cada una de estas dimensiones tienen sub-criterios que serán descritos en el desarrollo de esta sección. El cuadro A15 detalla los pesos y sub-criterios de cada componente dentro de la herramienta.

**Cuadro A15**  
**Matriz multicriterio para la selección de corredor piloto**

Sector	Pesos	1	2	3	4	5	Calificación
		0%	25%	50%	75%	100%	
A. Transporte	400						-
i) Demanda atendida	250						-
ii) Simetría viajes	150						-
B. Urbano e Infraestructura	250						-
i) Perfil vial del sector	90						-
ii) Compatibilidad con planeación Área Metropolitana de San José (AMS)	60						-
iii) Consolidación urbana (vivienda/comercio/mixto)	50						-
iv) Afectación servicios públicos	20						-
v) Afectación predial	30						-
C. Socioeconómico	100						-
i) Empresas de transporte en el sector (mide la complejidad de asociación de empresas para el BRE)	30						-
ii) Impacto ambiental (positivo en el sector)	20						-
iii) Caracterización socioeconómico	50						-
D. Económico	250						-
i) Inversión	250						-
Calificación total	1 000						-

Fuente: Tomado de EPYPSA y SIGMA (2014).

En el primer componente, "Transporte", se tienen dos sub-criterios que se definen como Demanda Atendida y Simetría Viajes. La primera evalúa el número de pasajeros que utilizan cada corredor de rutas considerado, ésta utiliza los datos desarrollados en el trabajo de campo del mismo estudio. El sub-criterio Simetría Viajes evalúa la proporción entre los viajes realizados de un sentido y su opuesto, una mayor simetría incide en una disminución de los costos de operación ya que tiene una mayor ocupación de los viajes así los costos operacionales se distribuyen en mayores usuarios.

En el siguiente componente de “Urbano e Infraestructura” los sub-criterios son varios. El Perfil Vial del Sector analiza si se tienen las adecuadas características físicas para la implementación del plan piloto de un corredor sectorizado. La Compatibilidad con planeación AMSJ se refiere a si el corredor seleccionado para el plan piloto se acopla a la disposición del territorio en su Plan Nacional de Desarrollo Urbano para la Gran Área Metropolitana (Plan GAM 2013). La Consolidación Urbana evalúa que las intervenciones urbanas requeridas estén diseñadas acorde al Desarrollo Orientado al Transporte (DOT o TOD). Luego, la Afectación Servicios Públicos y Afectación Predial se refiere, el primero a la evaluación sobre si la implementación del plan piloto incide en los servicios públicos disponibles en el área y el segundo analiza la cantidad de predios o lotes que se deben comprar para implementar el corredor, donde menor cantidad es una mejor calificación.

Para el componente Socio-ambiental se considera el sub-criterio de Empresas de Transporte en el Sector, Impacto Ambiental y Caracterización Socioeconómica. En el primero de los sub-criterios se analiza el grado de complejidad del funcionamiento de las empresas en el sector, un mayor número de empresas autorizadas implica una mayor complejidad en su desarrollo. Luego, el Impacto Ambiental evalúa variables de efectos externos ambientales, emisiones contaminantes o disminución de ruido generado por los vehículos. Adicionalmente, de acuerdo con los indicadores socioeconómicos y asumiendo que la implementación de un corredor implica una mejora no solo en el servicio de transporte sino también en su costo, indicadores más bajos en términos socioeconómicos implica un mayor potencial de impacto por parte del plan piloto.

Finalmente, el componente Económico evalúa la inversión inicial estimada requerida para la adecuación y el desarrollo del plan piloto. Una menor inversión requerida implica un mayor puntaje.

El estudio EPYPSA y SIGMA (2014) utiliza el primer criterio de la herramienta para filtrar los corredores considerados en los siguientes sub-criterios y componentes del análisis. El cuadro A16 detalla cómo cuatro de los restantes sectores presentan condiciones óptimas de demanda de pasajeros para la implementación del plan piloto.

**Cuadro A16**  
**Calificación criterio demanda de pasajeros**

Sector	Pasajeros/día	Participación (en porcentajes)	Calificación
Guadalupe – Moravia	208 797	17	Alta
Hatillo – Alajuelita	190 842	16	Alta
San Pedro – Curridabat	168 789	14	Medio alta
San Francisco – Desamparados	160 812	13	Medio alta
Uruca – Heredia	118 399	10	Media
Escazú – Santa Ana	100 583	8	Media
Central	88 723	7	Media baja
Pavas	73 593	6	Media baja
Tibás – Santo Domingo	72 087	6	Media baja
Otros	20 019	2	Baja
Intersectorial	15 652	1	Baja
Total	1 218 295	100	

Fuente: Tomado de EPYPSA y SIGMA (2014).

Por consiguiente, cuatro de los sectores van a ser considerados para el restante análisis multicriterio, Guadalupe – Moravia, Hatillo – Alajuelita, San Pedro – Curridabat y San Francisco – Desamparados.

En el cuadro A17 se resumen los resultados de la herramienta de análisis obtenidos para cada sector seleccionado y evaluado:

**Cuadro A17**  
**Resumen evaluación multicriterio**

Resumen alternativas	Guadalupe – Moravia	Hatillos – Alajuelita	Desamparados	San Pedro - Curridabat
A. Transporte	325	287,5	300	337,5
i) Demanda atendida	250	250	187,5	187,5
ii) Simetría viajes	75	37,5	112,5	150
B. Urbano e Infraestructura	150	67,5	152,5	220
i) Perfil vial del sector	67,5	22,5	45	90
ii) Compatibilidad con planeación Área Metropolitana de San José (AMS)	30	15	45	60
iii) Consolidación urbana (vivienda/comercio/mixto)	25	12,5	37,5	37,5
iv) Afectación servicios públicos	5	10	10	10
v) Afectación predial	22,5	7,5	15	22,5
C. Socioeconómico	52,5	80,0	77,5	30,0
i) Empresas de transporte en el sector (Mide la complejidad de asociación de empresas para el BRE)	22,5	15	30	7,5
ii) Impacto ambiental (positivo en el sector)	5	15	10	10
iii) Caracterización socioeconómico	25	50	37,5	12,5
D. Económico	125	250	187,5	62,5
i) Inversión	125	250	187,5	62,5
Calificación total	652,5	685	717,5	650

Fuente: Tomado de EPYPSA y SIGMA (2014).

Los resultados del análisis multicriterio para cuatro de los sectores del AMSJ se resumen en varias calificaciones. Para el componente de Transporte, el sector de San Pedro – Curridabat presenta las mejores condiciones de demanda y simetría de viajes. En cuanto a Urbano e Infraestructura, este mismo sector presenta las mejores condiciones respecto a los restantes sectores. En términos socioambientales el sector de Hatillos – Alajuelita presenta un mayor potencial de efecto del plan piloto mientras que, en cuanto al componente económico, el mismo sector presenta una mejor puntuación en cuanto a las necesidades de inversión iniciales. Sin embargo, considerando la completitud de la herramienta de análisis la mejor puntuación se encontró en el sector de San Francisco – Desamparados.

De tal manera, el estudio realizado encuentra que dicho sector presenta las mejores condiciones para implementar un plan piloto de la sectorización. No obstante, EPYPSA y SIGMA (2014) sugiere que el corredor piloto se podría implementar para la conexión entre los sectores de San Francisco – Desamparados y Guadalupe – Moravia, San Francisco – Desamparados y San Pedro – Curridabat pasando por el sector Central.

## Anexo 4

### Supuestos considerados en el modelo financiero

**Cuadro A18**  
Supuestos considerados en el modelo financiero

Supuestos	Tecnología eléctrica	Tecnología diésel
Kilometraje anual	45.000 + 10% improductivo	
Autobús (USD)	400 000	127 000
Estación de carga (USD)	19 000	-
Costo medio de repuesto de batería (USD/kWh)	110	-
Costo de electricidad (USD/kWh)	0,106	-
Costo de diésel (USD/l)	-	0,9694
Seguro de accidentes (USD)	3 896	3 542
Revisión técnica (USD)	30	30
Costos de mantenimiento (USD/km)	0,049	0,098
Marchamo (USD)	2 210	5 681
Valor residual (en porcentajes)	10	10
Tasa de descuento	13,01%	
Precios de externalidades		
CO <sub>2</sub>	-	-
CH <sub>4</sub>	-	-
SO <sub>2</sub>	-	-
NO <sub>x</sub>	-	-
PM 2.5	-	-
Ruido	-	-

Fuente: elaboración propia mediante recolección propia de información y datos de análisis por parte de ARESEP, RECOPE (2020), MIDEPLAN (2019), Monitor Deloitte (2019) y Creara (2019).

## Anexo 5

### Costos de mantenimiento para autobuses

**Cuadro A19**  
Costos de mantenimiento para autobuses

Mantenimiento	Costo (USD)	VCI		VE	
		Intervalo (km)	Costo (USD/km)	Intervalo (km)	Costo (USD/km)
Aceite del motor	160	20 000	0,0080	-	-
Batería de plomo y ácido	869	100 000	0,0087	-	-
Bombillas de faros	175	35 000	0,0050	35 000	0,0050
Bujías de encendido	-	-	-	-	-
Catalizador	-	-	-	-	-
Correa de distribución (incluye bomba de agua)	1 222	150 000	0,0081	-	-
Discos de freno	989	90 000	0,0110	135 000	0,0073
Embrague (clutch)	524	150 000	0,0035	-	-
Escaneo OBD-2	44	20 000	0,0022	20 000	0,0022
Filtro de aceite	20	20 000	0,0010	-	-
Filtro de aceite del motor	127	20 000	0,0064	-	-
Filtro de aire del habitáculo	52	20 000	0,0026	20 000	0,0026
Filtro de gasolina	50	20 000	0,0025	-	-
Limpieza de inyectores (mediante aditivos)	80	45 000	0,0018	-	-
Líquido de frenos	147	45 000	0,0033	67 500	0,0022
Líquido de la dirección	119	25 000	0,0047	25 000	0,0047
Líquido refrigerante	87	45 000	0,0019	45 000	0,0019
Pastillas de freno	322	45 000	0,0072	67 500	0,0048
Reemplazo de neumáticos	1 830	100 000	0,0183	100 000	0,0183
Rotación de neumáticos	-	50 000	0,0000	50 000	0,0000
Sistema de transmisión (aceite caja de cambio)	95	40 000	0,0024	-	-

Fuente: Creara, Energy Experts. (2019, p. 140). *Factibilidad Técnico-Financiera para inversiones en Tecnología de Electromovilidad en Costa Rica*. Informe Final.

## Anexo 6

### Información y datos disponibles para la modelación

En cuanto a los datos sobre la movilidad en transporte público de autobuses, se tiene la información recopilada y monitoreada por la ARESEP, de la flota de autobuses y los pasajeros para ciertas rutas.

Para la flota, se utiliza las bases de datos de los autobuses autorizados. Se dispone de cortes transversales por empresa concesionada desde el año 2009 hasta el 2019. Los datos del 2009 al 2013 son cortes transversales anuales y a partir del 2013 hasta el 2019 se tienen cortes transversales mensuales. Luego, para los datos de la demanda y utilización del servicio se obtiene las bases de los sistemas de monitoreo y registro de la información utilizado por la ARESEP.

La base de datos que detalla los pasajeros tiene una cobertura temporal que va desde el 2017 hasta el 2019, durante el periodo de interés se tiene dos sistemas de monitoreo en funcionamiento el Intran y el SIR. El sistema Intran entró en funcionamiento desde finales del 2017 y se utilizó hasta setiembre del 2019. A partir de ese momento el sistema SIR sustituyó al Intran. Por lo tanto, se tienen una serie de bases de datos para la información de la flota de autobuses y otra serie de bases de datos para la información de pasajeros.

Esto propicia una serie de características que condicionan el procesamiento de la información que serán exploradas a lo largo de esta sección. Con el propósito de establecer algún tipo de modelo econométrico. Además de otros análisis relevantes, se considera explorar al detalle por ruta, la flota de autobuses y los pasajeros de un periodo de tiempo que va desde diciembre del 2017 hasta agosto del 2019 por la continuidad y mayor disponibilidad de datos.

#### A. Flota de autobuses

La temporalidad de la base de datos de flota de autobuses va desde el 2009 hasta el 2019. Se tiene datos mensuales y se cuenta con datos históricos desde enero del 2016 hasta agosto del 2019. Para los años 2014 y 2015 se tiene datos solo para ciertos meses. Además, los datos del 2009 al 2013 son anuales.

Cada base de datos mensual o anual está compuesta por filas para cada autobús autorizado. Es decir, la base detalla la placa de la unidad, la ruta a la que pertenece, la cédula jurídica del propietario, el año del modelo, la capacidad de personas por transportar, tenencia de rampa para el ingreso y si se encuentra en un contrato de arrendamiento.

Con esta información, se filtra la base acorde a las rutas que se encuentran en el AMSJ para obtener una base de autobuses específicos por región. Este proceso de filtrado se realizó para cada una de las bases mensuales y anuales proveídas por el ARESEP. Permitiendo generar una serie de tiempo del total de autobuses para el AMSJ.

Durante la generación de la serie se encontraron diversas incongruencias entre las bases. Lo anterior se debe a que, en el tiempo, el formato de las bases que registran los autobuses autorizados se modificó en diversos aspectos, los cuales se han sistematizado en dos grupos, que se presentan a continuación:

**Códigos:** el código de ruta en ciertos casos varió. Lo anterior ya sea porque el código de dos rutas se fusiona para ser una misma ruta en algún punto en el tiempo. o porque los datos de dicha ruta han sido registrados con un nombre similar pero distinto. Asimismo, existen bases que presentan información omitida acerca de algunas rutas por lo que se generan ciertas discontinuidades y variaciones en la cuenta del total de autobuses. Por otro lado, algunas rutas presentaban información dividida por ramal, es decir, registraba los autobuses para cada ramal de la misma ruta, y en otros casos de rutas con ramales se presentaba la información agregada para toda la ruta y sus ramales.

**“No tiene flota”.** Aunado a lo anterior, dentro de algunas de las bases existía una clasificación de “no tiene flota” dentro de la variable que registraba las placas que genera cierta variabilidad en algunas de las rutas. Ya que es ambiguo si esta observación clasifica algunas de las operaciones de autobuses que están pendiente de incorporarse a la flota o si corresponden a algún otro trámite.

**Agregaciones o desagregaciones.** En diversos casos los datos de autobuses se presentan consolidados y engloban diversas rutas. En el siguiente cuadro se detalla el número de las rutas del AMSJ con información disponible y continua a través de *todos* los cortes transversales de datos y a lo *largo* del periodo considerado.

**Cuadro A2o**  
**Número de las rutas dentro del AMSJ con información disponible**

Rutas disponibles			
3	40	66	217
6	41	70	246
7	42	72	301
9	43	74	303
13	44	75	304
14	45	76	306
16	47	80	316
20	50	81	336
25	51	83	340
30	53	93	400
31	58	94	402
32	59	120	421
33	61	127	436
34	64	142	
35	65	203	

Fuente: Elaboración propia, con datos de la ARESEP.

Del cuadro anterior (A2o) es importante recalcar particularidades de los números de rutas dentro de las bases. En algunos casos como por ejemplo las rutas 7, 13, 44, 45, 47, 59 y 61, entre otras, se tiene que la operación de estas se *registra de manera agregada o consolidada*. Es decir, en las bases de datos se registra la información de ciertos autobuses bajo una denominación unificada para distintas rutas.

A la hora de realizar el procedimiento de cuenta de autobuses, para contabilizar la cantidad dentro de cada ruta, se recurre a contar la cantidad de placas registradas en cada corte transversal según la clasificación de ruta. De tal manera que en ciertos casos debido a que la clasificación utilizada engloba a varias rutas, se contabiliza las placas de las rutas consideradas dentro de dicha clasificación. Es decir, la clasificación de las rutas 7 y 13 está unificada como “07-13. Lo anterior implica que la cuenta de ambas rutas no se puede desagregar.

Aunado a esto, ciertas clasificaciones agregadas o singulares varían a lo largo de los distintos cortes transversales anuales y mensuales, volviéndose complejo unir o desagregar de los datos.

En el anexo 3 se presentan los datos por ruta de la cantidad de autobuses autorizados por la ARESEP para las 59 rutas, consideradas en el procesamiento de la información del total de 256 rutas dentro del AMSJ. De estos datos se obtiene que la flota de autobuses del AMSJ se encuentra alrededor de **1.900 unidades durante todo el periodo considerado**.

### B. Flota de buses del AMSJ altamente invariable

Otro hallazgo relevante es que el comportamiento de esa flota es constante en el tiempo. Es decir, las cantidades de autobuses por rutas, independientemente de la ruta, no presenta una significativa variabilidad. Esto se asocia a que los incentivos o motivaciones de la utilización del transporte público de autobuses (condicionantes de la demanda por transporte público de autobuses) son relativamente rígidos y establecidos en el espacio.

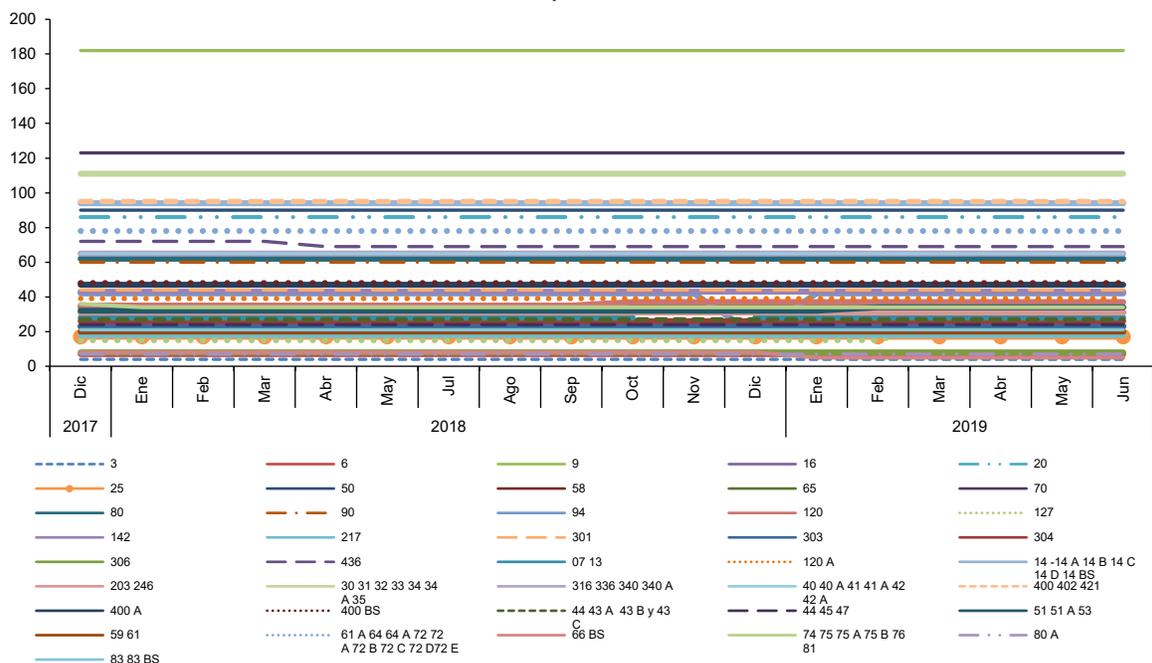
Como se señaló anteriormente, los principales demandantes de transporte público son trabajadores y estudiantes. Por lo tanto, dado que en el desarrollo de los espacios urbanos la ubicación de los puntos de trabajo y estudio son rígidos en el tiempo, la demanda no migra ni se distribuye en términos de su destino o inicio del viaje, es decir, es espacialmente altamente concentrada.

Acorde a esta lógica, la cantidad de autobuses para suplir la demanda de pasajeros en un punto del espacio urbano es poco variante, ya que el segmento o subsegmento de la población interesada en satisfacer sus necesidades privadas o laborales no varía lo suficiente para estar incorporando o desincorporando, de la flota autorizada, las unidades de transporte.

La invariancia de la cantidad de unidades de transporte autorizadas para cada ruta es de las principales complicaciones en la modelación econométrica. Debido a que se observa una rigidez en la cantidad de autobuses por ruta, no parece existir un factor exógeno a las empresas que efectivamente determinen la decisión de estas a escoger cierta cantidad de autobuses.

Por otra parte, debido a que los datos de pasajeros con la mayor cantidad de información presenta una temporalidad limitada (diciembre 2017 hasta agosto 2019), la complicación es aún mayor debido a la dificultad encontrar una considerable variabilidad de los autobuses por ruta al observar dicho periodo que esté determinada por otro componente exógeno.

Gráfico A7  
Cantidad de buses por ruta dentro del AMSJ



Fuente: Elaboración propia con datos de la ARESEP.

Con el anterior se demuestra que en la mayoría de las rutas —en el periodo en el cual existen provistos por ARESEP— una vez sistematizado y realizadas las revisiones previamente explicadas, se evidencia un comportamiento relativamente constante. Las líneas horizontales a lo largo del gráfico se originan por esa rigidez en los cambios del tamaño de flota para estas rutas.

### C. Pasajeros

Para el caso de la base de pasajeros se tienen datos diarios, para la mayoría de las rutas del AMSJ, desde diciembre del 2017 hasta junio del 2019. Estas bases de datos presentan dos formatos: un formato corresponde al periodo de tiempo de diciembre del 2017 hasta setiembre del 2018 denominado "Intran". El otro formato SIR, corresponde al periodo de tiempo de octubre del 2018 a junio del 2019. Al interior de ambos formatos se presentan las mismas incongruencias observadas que en la base de datos de autobuses. Y entre formatos existen una inconsistencia en las rutas con información disponible.

Esta base reporta el total de pasajeros que son transportados en un día por placa. La manera en que las empresas reportan la cantidad de pasajeros es a través de una medida definida como "pasajero equivalente". Esta medida utiliza el ingreso bruto (en colones) generado por la unidad de transporte y la tarifa de cada ruta operando. Luego, se calcula un cociente entre el ingreso total y la tarifa para obtener una estimación del total de pasajeros que ese día utilizaron el servicio de transporte en esa unidad, exceptuando los adultos de tercera edad los cuales son contados a la hora de la utilización del servicio. Por lo tanto, al igual que la anterior, esta base está conformada por filas que representan cada autobús operando dentro de su respectiva ruta. Se reporta, para cada unidad los pasajeros totales, los pasajeros adultos mayores (los cuales no pagan la tarifa por el servicio), el número de carreras, los ingresos de la unidad, su placa y la fecha de la información. Seguidamente se filtra por ruta la base de pasajeros para obtener información sobre los pasajeros específicos en el AMSJ.

Posteriormente, se decidió generar una agregación mensual de los pasajeros registrados diarios, para así poder crear una serie mensual de los pasajeros transportados en las distintas rutas seleccionadas.

La omisión de información sobre pasajeros es una de las principales limitantes en la modelación de la actividad sobre el transporte público. Debido a la estructura del registro y procesamiento de datos, y a la difusa sistematización de la información no es posible obtener un dato continuo y consistente de pasajeros para una cantidad suficiente de rutas dentro del AMSJ. En los siguientes cuadros se expone las rutas con información disponible sobre pasajeros para cada sistema el Intran y SIR.

**Cuadro A21**  
**Rutas dentro del AMSJ con información disponible en el sistema Intran y SIR**

Rutas disponibles Intran			
14	83	53	306
25	94	61	316
40	120	64	400
41	127	65	402
42	142	70	421
43	301	72	
50	303	80	
51	304	436	

Rutas disponibles SIR			
6	45	72	301
7	47	74	306
9	50	75	316
13	51	76	400
14	53	80	402
20	58	81	421
40	59	90	
41	61	120	
42	64	142	
43	65	203	
44	66	217	

Fuente: Elaboración propia con datos de ARESEP.

**Cuadro A22**  
Rutas dentro del AMSJ con información disponible en ambos sistemas (Intran y SIR)

Rutas disponibles		
14	51	142
40	53	120
41	61	301
42	64	316
43	65	400
50	72	

Fuente: Elaboración propia con datos de la RESEP.

Es decir, para la exploración de los datos de pasajeros se tiene la mayor completitud posible de información para 17 rutas del total de 256 rutas. Aun así, se tiene cierta información omitida para algunos de los meses del 2018 y 2019.

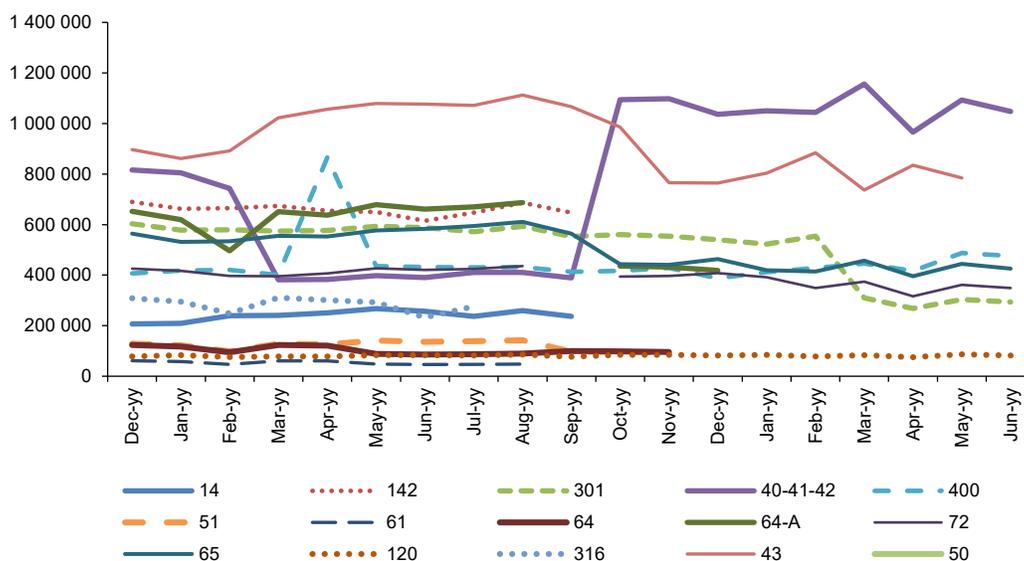
Por lo expuesto en esta sección, se concluye que la utilización de datos de pasajeros para fines de modelaje econométrico y su pronóstico es muy limitado.

Las variaciones observadas en el gráfico A8 corresponden a distintos posibles escenarios. Dada la naturaleza de la medición de pasajeros, es posible que la cantidad varíe de acuerdo con variaciones en las tarifas cobradas para las rutas. Esto se debe a que, en ciertos casos al variar la tarifa, pero los ingresos de las unidades mantenerse estable, puede aparentar que aumenta o se reduce la cantidad de pasajeros.

También, se puede deber a ingresos extraordinarios reportados. Personeros de la ARESEP mencionan que frecuentemente empresas reportan ingresos de actividades fuera del transporte público, elemento que inciden en la medición de "pasajeros equivalentes".

Luego, existe cierta variabilidad inexplicada a la hora de pasar del sistema Intran al SIR, como por ejemplo el caso de la ruta 40-41-42 que presenta un aumento pronunciado en el número de pasajeros.

**Gráfico A8**  
**Pasajeros totales por ruta dentro del AMSJ mensuales**



Fuente: Elaboración propia con datos de la ARESEP.

Finalmente, en el gráfico anterior se observa como varias de las series presentan valores faltantes. Como se mencionó, a pesar de que ciertas rutas efectivamente tienen información en ambos sistemas, algunas también presentan información faltante. En general, en el gráfico se evidencia que cuando exista una serie con un segmento inexistente es porque los datos no aparecen en ningún sistema.

Seguidamente, se procede a analizar las tasas de variación anuales para los autobuses y pasajeros. Esto propicia la identificación de alguna inconsistencia en los datos y además de observar la evolución por ruta.

**Cuadro A23**  
**Variación anual mínima, promedio y máxima de pasajeros según ruta**  
*(En porcentajes)*

Ruta	Variación porcentaje flota buses 2009-2015			Ruta	Variación porcentaje flota buses 2016-2019		
	Mínimo	Promedio	Máximo		Mínimo	Promedio	Máximo
1	0,0	15,3	91,7	3	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	6	0,0	0,0	0,0
4	0,0	13,3	80,0	9	0,0	5,3	15,9
05 y 05 A	0,0	15,3	91,7	16	0,0	0,0	0,0
6	0,0	3,7	22,2	20	0,0	0,0	0,0
9	0,0	5,3	31,9	25	0,0	7,1	21,4
120	0,0	3,4	20,7	50	0,0	3,9	11,8
20	0,0	9,1	50,9	58	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	65	0,0	0,0	0,0
30, 31, 32, 33, 34, 34-A, 35	0,0	0,3	1,8	70	0,0	0,0	0,0
301	0,0	0,0	0,0	80	0,0	2,0	6,0
303	0,0	0,0	0,0	90	0,0	0,0	0,0

Ruta	Variación porcentaje flota buses 2009-2015			Ruta	Variación porcentaje flota buses 2016-2019		
	Mínimo	Promedio	Máximo		Mínimo	Promedio	Máximo
40, 41, 42	0,0	3,0	18,2	94	0,0	0,0	0,0
400 BS	0,0	0,0	0,0	120	0,0	0,0	5,7
400 MB, 400 BS	0,0	0,0	0,0	127	0,0	1,9	0,0
400 402, 421	0,0	0,2	1,1	142	0,0	0,0	7,5
43, 43-A, 43-B, 43-C	0,0	0,0	0,0	217	0,0	2,5	0,0
44, 45, 47	0,0	0,0	0,0	301	0,0	0,0	0,0
50	0,0	7,5	37,7	303	0,0	0,0	0,0
51, 53	0,0	2,4	14,3	304	0,0	0,0	0,0
59, 61	0,0	5,6	33,3	306	0,0	0,0	0,0
61 A, 64, 64 A, 72, 72-A-B-C-D-E	0,0	0,5	1,6	436	0,0	38,6	111,8
65	0,0	13,2	78,9	07 13	0,0	0,0	0,0
7, 13, 13MB	0,0	0,0	0,0	120 A	0,0	2,8	8,3
70	0,0	9,5	56,8	14 -14 A 14 B 14 C 14 D 14 BS	0,0	0,0	0,0
74, 75, 75A, 75B, 76, 81	0,0	1,5	9,1	203 246	0,0	0,0	0,0
80	0,0	3,4	1 180,0	30 31 32 33 34 34 A 35	0,0	0,0	0,0
80-A	0,0	31,7	133,3	316 336 340 340 A	0,0	0,0	0,0
83, 83 BS	0,0	0,0	0,0	40 40 A 41 41 A 42 42 A	0,0	0,0	0,0
94	0,0	0,0	0,0	400 402 421	0,0	0,0	0,0
Total	0,1	6,6	16,9	400 A	0,0	0,0	0,0
				400 BS	0,0	0,0	0,0
				44 43 A 43 B y 43 C	0,0	10,7	17,4
				44 45 47	0,0	0,0	0,0
				61 A 64 64 A 72 72 A 72 B 72 C 72 D72 E	0,0	6,7	20,0
				66 BS	0,0	12,5	37,5
				80 A	0,0	0,0	0,0
				Total	0,2	5,5	15,5

Fuente: Elaboración propia con datos de la ARESEP.

**Cuadro A24**  
**Variación anual mínima, promedio y máxima de pasajeros según ruta**  
*(En porcentajes)*

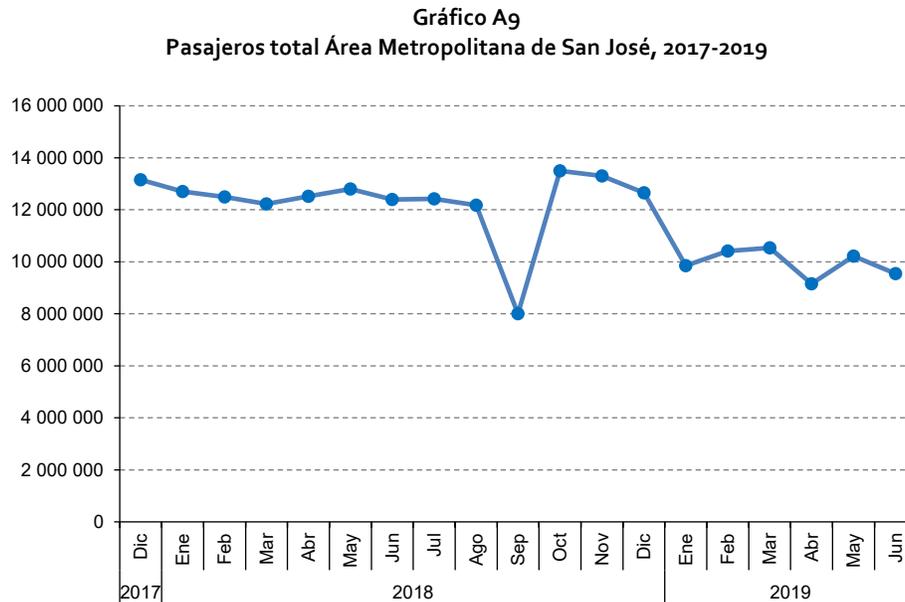
Variación porcentaje pasajeros 12/2017-09/2018			Variación porcentaje pasajeros 10/2018-06/2019				
Rutas	Mínimo	Promedio	Máximo	Rutas	Mínimo	Promedio	Máximo
120A	0,5	3,2	7,6	6	1,2	10,2	20,2
127	1,5	21,7	107,1	7	2,4	24,0	100,0
14	0,0	2,1	10,9	9	2,1	35,8	100,0
142-1	3,6	12,4	32,2	13	1,5	30,5	100,0
142-10	2,4	12,1	43,8	14	0,0	0,9	3,7
142-11	0,2	7,4	16,9	20	0,8	6,7	16,1
142-12	0,1	13,3	30,6	43	0,4	5,1	10,1
142-2	0,7	3,9	10,0	50	0,2	10,2	22,3
142-3	0,9	6,3	13,5	58	0,1	20,3	100,0
142-4	0,6	7,4	17,4	59	1,0	9,6	17,4
142-5	1,5	7,1	15,6	61	1,7	6,2	11,4

Variación porcentaje pasajeros 12/2017-09/2018				Variación porcentaje pasajeros 10/2018-06/2019			
Rutas	Mínimo	Promedio	Máximo	Rutas	Mínimo	Promedio	Máximo
142-6	3,6	10,6	15,7	64	1,0	34,6	100,0
142-7	0,1	7,3	14,0	65	0,7	7,3	15,4
142-8	0,6	6,0	15,5	74	100,0	100,0	100,0
142-9	1,7	4,2	7,1	75	0,9	40,6	282,2
25	1,5	3,8	7,9	76	100,0	100,0	100,0
301	0,5	3,5	6,1	81	100,0	100,0	100,0
303	1,9	4,4	7,6	90	1,0	5,8	12,7
304	0,0	3,2	13,3	120	0,7	7,1	13,4
306	0,6	1,7	3,5	142	0,6	8,3	17,5
316	0,5	4,7	10,8	203	2,2	24,7	100,0
40 A	0,0	3,4	8,9	217	0,2	13,9	32,9
400	0,0	8,3	48,6	301	1,5	8,7	15,1
402-421	0,4	8,3	50,0	316	0,1	6,6	15,2
41	0,3	7,9	17,4	400	1,0	5,5	10,4
41-A	1,4	9,7	35,0	14 A	0,0	0,9	3,7
42	0,5	9,6	29,9	14 B	0,0	1,8	4,3
42 A	1,5	80,0	609,5	14 C	0,0	3,4	11,1
42-A	0,9	3,5	7,0	14 D	0,0	1,1	3,7
43	2,8	13,0	25,3	400 A	0,7	9,5	24,8
436	0,4	3,6	6,2	400BS	1,1	8,6	11,8
50	0,2	3,6	14,7	40-41-42	1,1	10,9	44,1
51	0,2	22,4	127,0	44-45-47	1,0	23,0	100,0
51-A	5,2	23,4	110,9	51-51A-53	2,1	6,4	16,7
53	0,1	19,4	101,7	61 A	1,0	34,6	100,0
61-A	1,5	9,5	30,9	64 A	1,0	34,6	100,0
64	1,5	10,5	30,8	66 BS	0,0	19,4	100,0
64-A	1,3	11,5	31,5	72 A	1,0	34,6	100,0
65	0,3	2,5	4,9	72 B	1,0	34,6	100,0
70	0,0	2,6	7,0	72 C	1,0	34,6	100,0
72	1,2	9,5	31,1	72 D	1,0	34,6	100,0
72-A	1,6	10,8	31,2	72 E	1,0	34,6	100,0
72-B	1,8	12,2	33,1	72 F	100,0	100,0	100,0
72-C	1,1	12,7	37,5	80 A	0,1	120,0	953,0
72-D	1,3	11,5	31,2	Total	1,2	8,3	22,1
72-E	0,9	8,4	31,0				
83	0,2	3,5	8,8				
94	0,2	2,8	7,4				
80 BS	0,2	1,8	6,7				
Total	0,2	6,8	43,9				

Fuente: Elaboración propia con datos de la ARESEP.

En estos cuadros se resume la información de las rutas con una continuidad de datos durante el periodo considerado. Se encontró que, entre distintas temporalidades que corresponden a diferentes formatos de las bases de datos, hay información para ciertas rutas sea las bases de pasajeros y de flota de buses.

Considerando las limitaciones que presentan los datos de pasajeros equivalentes, a continuación se presenta el consolidado de éstos.



Fuente: Elaboración propia con datos de la ARESEP.

Por otra parte, dentro de las mismas bases se observa como en algunos casos las rutas vienen detalladas por ramales o en otros casos viene agregadas como ruta total, un ejemplo de esto es en los cuadros de pasajeros la ruta 14 viene detallada por ramales para la base del 10/2018 al 06/2019 mientras que en la base del 12/2017 al 09/2018 viene agregada.

Al analizar las tasas de variación se denota diversas características de la muestra de pasajeros y autobuses. Primero, para la base de flota de autobuses, las variaciones presentadas corresponden a variaciones anuales. En el caso de los datos de pasajeros las variaciones son mensuales. Para algunos de los máximos que se observan en las variaciones que sobrepasan el 100% se verifica en el procesamiento de los datos si existe algún error. En los casos presentados los aumentos efectivamente se observan como una adquisición de placas autorizadas bajo esa ruta como por ejemplo la ruta 436 o la ruta 80 - A.

Para pasajeros los saltos en las variaciones que son relativamente ambiguas, dado que la base de datos existe algunas inconsistencias que no se pueden explicar por la misma estructura de los datos. En la mayoría de los casos el reporte de pasajeros se refiere a una medida utilizada por la ARESEP llamada "pasajero equivalente" que corresponde a una medida del total de ingresos reportados por esas unidades, dividido entre la tarifa de la ruta.

Asimismo, en ciertos casos donde se observan tasas de variaciones considerables, adquisiciones o reducciones de autobuses, se podría considerar también la posibilidad de una dinámica en el mercado de empresas autobuseras. Es posible que se esté observando un comportamiento predatorio donde empresas grandes adquieren rutas y así autobuses que generen diferentes movimientos en las flotas registradas.

Es debido a lo anterior, en este trabajo el diseño de escenarios no será a través de pronósticos econométricos. Se fundamentarán, con base en lo anterior, en la justificación de posibles escenarios (optimista y pesimista sobre la línea base encontrada).

## Anexo 7

### Supuestos considerados en el análisis con precios, costos y tasas sociales

**Cuadro A25**  
Supuestos considerados en el análisis realizado con precios sociales, costo social del carbono de CEPAL, 2019  
y tasa social de descuento de MIDEPLAN

Supuestos	Tecnología eléctrica	Tecnología diésel
Kilometraje anual	45.000 + 10% improductivo	
Autobús (USD)	400 000	125 000
Estación de carga (USD)	18 000	-
Costo medio de repuesto de batería (USD/kWh)	110	-
Costo de electricidad (USD/kWh)	0,167	-
Costo de diésel (USD/l)	-	0,518
Seguro de accidentes (USD)	3 896	3 542
Revisión Técnica (USD)	30	30
Costos de mantenimiento (USD/km)	0,049	0,098
Marchamo (USD)	2 210	5 681
Valor residual (en porcentajes)	10	10
Tasa de descuento	8,31%	
Precios de externalidades		
CO <sub>2</sub> (USD/ton)	25	
CH <sub>4</sub> (USD/ton)	525	
SO <sub>2</sub>	28 000	
NO <sub>x</sub> (USD/ton)	12 000	
PM 2.5 (USD/ton)	70 000	
Ruido (USD/km)	0,026	0,044

Fuente: Elaboración propia con datos de análisis de ARESEP, CEPAL (2019), EEA (2018), RECOPE (2020), MIDEPLAN (2019), Monitor Deloitte (2019) y Creara (2019).

Nota: A los supuestos mencionados se aplican los factores de conversión a precios sociales. Costo del carbono según CEPAL (2019).

## Anexo 8

### Obtención de coeficientes de ajuste para precios sociales

Para dichas ecuaciones se utiliza la nomenclatura explicada a continuación:

- $VM$ : valor de mercado.
- $\rho^S$ : tipo de cambio social.
- $\rho^M$ : tipo de cambio de mercado.
- $to$ : otros impuestos (excluyendo el IVA e impuestos a la importación).
- $IVA$ : Impuesto al valor agregado.
- $tx$ : impuestos a la exportación.
- $ts$ : tasa de subvenciones (porcentaje negativo por ser un subsidio).
- $tm$ : impuesto a la importación.
- $Margen_M$ : margen de comercialización y transporte (importables)  $(\phi_{C.I.F.(\$)} \cdot \phi_M \cdot \rho^M)$ .
- $Margen_X$ : margen de comercialización y transporte (exportables)  $(\phi_{F.O.B.(\$)} \cdot \phi_X \cdot \rho^M)$ .
- $Margen_L$ : margen de comercialización y transporte (local) (*Valor del bien*  $\cdot \phi_L$ ).
- $\phi_M$ : factor de comercialización y transporte (porcentaje) para importables.
- $\phi_X$ : factor de comercialización y transporte (porcentaje) para exportables.
- $\phi_L$ : factor de comercialización y transporte (porcentaje) local.
- $p_{tc}$ : premio sobre el tipo de cambio.
- $FOB$ : valor "Free-On-Board".
- $CIF$ : valor incluidos "Cost, Insurance and Freight".

Para obtener el precio social a partir de los valores de mercado, se deben clasificar los bienes en importables o exportables según sea su proporción de la oferta nacional neta. Los criterios de esta clasificación son mostrados por parte de MIDEPLAN en las publicaciones realizadas sobre precios económicos.

Para el caso de los **bienes importables**, se tiene que el valor de mercado ( $VM$ , el cual es el precio al que se ofrece al consumidor) es igual al valor CIF más los márgenes de transporte y comercialización, impuestos de importación y suma de impuestos de venta. Matemáticamente la relación se expresa como

$$CIF(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA) = VM$$

La expresión anterior se encuentra en colones de mercado, para expresar en colones sociales se debe despejar el valor CIF, dividir por el tipo de cambio de mercado y multiplicar por el tipo de cambio social. A ese punto tenemos la valoración social del importable en el puerto de entrada (CIF), por lo que se debe sumar el margen de comercialización y transporte, ya que es un costo en el que incurren los consumidores del mercado interno. Al sumarlos se obtiene una expresión como la siguiente

$$CIF + Margen_M = \frac{VM \cdot \rho^S}{(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA) \cdot \rho^M}$$

$$+ \frac{VM \cdot \phi_M}{(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA)(1 + p_{tc})}$$

Al simplificar la ecuación se obtiene:

$$CIF + Margen_M = \frac{VM \cdot \rho^S}{(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} + \frac{\phi_M}{(1 + p_{tc})} \right)$$

De la ecuación anterior se obtiene el precio o costo social del importable (*Precio social* = *CIF* + *Margen<sub>M</sub>*), y al despejar el término de valor de mercado (VM) se obtiene el precio social como una proporción del valor de mercado del bien. **Esta proporción corresponde al factor de conversión por el que se ajustarían los precios de mercado.**

$$FC_{\phi_{NT}}^M = \frac{1}{(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} + \frac{\phi_M}{(1 + p_{tc})} \right)$$

Se debe considerar si el margen de comercialización es tratado como un transable, ya que en ese caso no debe ser ajustado por el FEC sino por el precio social de la divisa, por ejemplo:

$$FC_{\phi_T}^M = \frac{1}{(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} + \frac{\phi_M \cdot \rho^S}{\rho^M} \right)$$

En el caso de valorar un bien como un sustituto de importación, el precio social estimado es el beneficio social de la producción de la mercancía. Por lo tanto, se debe restar el margen de comercialización y transporte, por lo que los beneficios son iguales al precio social que se paga por el bien importado, menos el costo en el que se incurrió para comercializarlo internamente. Matemáticamente se observa en:

$$FC_{\phi_{NT}}^{Sust.M} = \frac{1}{(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} + \frac{\phi_M - \phi_L}{(1 + p_{tc})} \right)$$

Para este mismo caso, si el margen fuese considerado como transable, la expresión resultante sería:

$$FC_{\phi_T}^{Sust.M} = \frac{1}{(1 + \phi_M)(1 + tm + ts)(1 + to + IVA)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} + \frac{(\phi_M - \phi_L) \cdot \rho^S}{\rho^M} \right)$$

Para el caso de los **bienes exportables**, se tiene que el valor de mercado que recibe un exportador es igual al valor FOB de la mercancía menos los márgenes de transporte y comercialización hasta el puerto de salida y los impuestos de exportación. Matemáticamente se podría expresar como

$$CIF(1 - \phi_X)(1 - tx - ts) = VM$$

Para expresar la ecuación en colones sociales multiplica por la relación del tipo de cambio social entre tipo de cambio de mercado. A lo obtenido se tendría que restar el margen de comercialización y transporte ya que es un costo en el que incurre el exportador. De manera similar al caso de los importables se obtiene una expresión como la siguiente:

$$CIF - Margen_x = \frac{VM \cdot \rho^S}{(1 - \phi_X)(1 - tx - ts) \cdot \rho^M} - \frac{VM \cdot \phi_X}{(1 - \phi_X)(1 - tx - ts)(1 + p_{tc})}$$

De igual manera, se simplifica la ecuación y se obtiene el precio o beneficio social del exportable ( $CIF - Margen_x$ ) como una proporción del valor del mercado (que se obtiene al pasar el VM a dividir), esta proporción corresponde al factor de conversión.

$$FC_{\phi NT}^X = \frac{1}{(1 - \phi_x)(1 - tx - ts)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} - \frac{\phi_x}{(1 + p_{tc})} \right)$$

En el caso de que el margen de comercialización del exportable sea considerado como un transable, se debe ajustar entonces por el precio social de la divisa y no por el FEC:

$$FC_{\phi T}^X = \frac{1}{(1 - \phi_x)(1 - tx - ts)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} - \frac{\phi_x \cdot \rho^S}{\rho^M} \right)$$

En el caso que se quiera valorar un bien exportable para la venta en el mercado interno (es decir, un **desvío de exportación**), el precio estimado es el costo social de la producción de la mercancía. A estos costos se le debe sumar el margen de comercialización y transporte local, lo que resulta en costos de oportunidad del bien iguales al precio social que se paga por el mismo cuando este es exportado, exceptuando los costos de comercialización y transporte al puerto (ya que no se incurren en ellos) pero sí considerando los de comercialización y transporte local.

Para este caso entonces se obtiene el factor de conversión dado por:

$$FC_{\phi NT}^{Desv.X} = \frac{1}{(1 - \phi_x)(1 - tx - ts)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} - \frac{\phi_x - \phi_L}{(1 + p_{tc})} \right)$$

Para el caso que los márgenes sean considerados como transables, la expresión equivalente es dada por:

$$FC_{\phi T}^{Desv.X} = \frac{1}{(1 - \phi_x)(1 - tx - ts)} \cdot \left( \frac{\rho^S}{\rho^M} - \frac{(\phi_x - \phi_L) \cdot \rho^S}{\rho^M} \right)$$

Para los bienes catalogados como **no transables**, el valor observado en el mercado es igual al que cobraría la empresa vendedora si no existiesen distorsiones, dicho valor es conocido como precio básico. A este precio se le agregan los impuestos correspondientes, el margen de comercialización y el de transporte local. Dicha expresión resulta en la siguiente ecuación:

$$VM = P^{básico} (1 + to + IVA + ts)(1 + \phi_L)$$

Para obtener el factor de conversión, se deriva como una fracción entre el precio básico y el valor de mercado. Dicho factor puede ser aplicado al valor observado en el mercado para los no transables, y como resultado se obtiene el valor económico. La fórmula del factor resulta en:

$$FC^{NT} = \frac{1}{(1 + to + IVA + ts)(1 + \phi_L)}$$

Para los casos en los que se realice la derivación del valor económico mediante **su valor CIF o FOB**, se debe realizar según la clasificación del bien.

Para los **bienes importables**, al igual que en el caso a partir de valores de mercado, el precio social del importable es igual a:

$$CIF + Margen_M$$

La ventaja de partir desde el valor CIF consiste en no tener que derivar este valor a partir de los valores de mercado y la eliminación de distorsiones. Sin embargo, el precio social del importable (mostrado en la expresión anterior) se encuentra en dólares, por lo que se debe pasar a colones sociales

mediante el método del precio social de la divisa (el valor del bien es convertido a colones utilizando  $\rho^S$  (permitiendo una prima) y el margen es valorado sin esta prima). Otra posibilidad es valorar mediante el FEC, se valora el bien al tipo de cambio de mercado  $\rho^M$ , pero el margen es multiplicado por el FEC, permitiendo considerar la divisa empleada en pago de márgenes con una valoración relativamente menor a la del bien (MIDEPLAN, 2019).

En los cuadros A26 y A27 se muestran las ecuaciones para la estimación de los valores económicos. Cabe destacar que al igual que el método de los VM, cuando se trata de un sustituto de importación la ecuación incluye el diferencial entre márgenes externos e internos.

**Cuadro A26**  
**Ecuaciones para la estimación de valores económicos (factores de conversión) a partir de valores CIF y FOB (Importables). Los valores CIF y FOB están normalizados a 1**

Utilizando PS de la divisa	Utilizando FEC
<b>Importable</b> Valor: $CIF \cdot \rho^S + Margen_M$ $FC^M = \rho^S + \phi_M \cdot \rho^M$	<b>Importable</b> Valor: $CIF \cdot \rho^M + Margen_M \cdot FEC$ $FC^M = \rho^M + \phi_M \cdot \rho^M \cdot FEC$
<b>Sustituto de importaciones</b> Valor: $CIF \cdot \rho^S + Margen_M - Margen_L$ $FC^{Sust.M} = \rho^S + (\phi_M - \phi_L) \cdot \rho^M$	<b>Sustituto de importaciones</b> Valor: $CIF \cdot \rho^M + (Margen_M - Margen_L) \cdot FEC$ $FC^{Sust.M} = \rho^M + (\phi_M - \phi_L) \cdot \rho^M \cdot FEC$

Fuente: MIDEPLAN (2019). *Precios sociales en Costa Rica*.

La obtención de valores sociales mediante este método, pero para bienes catalogados como **exportables** se realiza mediante las ecuaciones presentadas en el siguiente cuadro:

**Cuadro A27**  
**Ecuaciones para la estimación de valores económicos (factores de conversión) a partir de valores CIF y FOB (Exportables). Los valores CIF y FOB están normalizados a 1**

Utilizando PS de la divisa	Utilizando FEC
<b>Exportable</b> Valor: $FOB \cdot \rho^S - Margen_X$ $FCX = \rho^S - \phi_X \cdot \rho^M$	<b>Exportable</b> Valor: $FOB \cdot \rho^M - Margen_X \cdot FEC$ $FCX = \rho^M + \phi_X \cdot \rho^M \cdot FEC$
<b>Desvío de exportaciones</b> Valor: $FOB \cdot \rho^S - Margen_X + Margen_L$ $FC^{Desv.X} = \rho^S - (\phi_X - \phi_L) \cdot \rho^M$	<b>Desvío de exportaciones</b> Valor: $FOB \cdot \rho^M - (Margen_X - Margen_L) \cdot FEC$ $FC^{Desv.X} = \rho^M - (\phi_X - \phi_L) \cdot \rho^M \cdot FEC$

Fuente: MIDEPLAN (2019). *Precios sociales en Costa Rica*.

Para explicar la manera en la que se obtienen los factores de ajuste para los precios sociales, se procede a indicar la lista de bienes que se consideran dentro de las clases o rubros que brinda el MIDEPLAN. Para ilustrar la manera en la que se ajustan los precios o valores de mercado, se realiza una operación como la siguiente para cada uno de los bienes (i) con su respectivo factor de conversión:

$$\text{Precio económico}(i) = \text{Precio de mercado}(i) * \text{Factor de conversión}(i)$$

Donde:

$$\text{Factor de conversión}(i) = \frac{\text{Precio económico}(i)}{\text{Precio financiero}(i)}$$

## Anexo 9

### Análisis tarifario: estructuras de costos y otros componentes (depreciación y rentabilidad) aprobadas por ARESEP en rutas de buses concesionados

Inicialmente, la metodología considera como rubro principal los costos totales de la operación de la empresa autobusera (véase el cuadro A28). Dichos costos totales se dividen en tres rubros: costos fijos mensuales, costos variables mensuales y la rentabilidad mensual del capital que hace uso la empresa.

**Cuadro A28**  
**Costos totales mensuales**

	Detalle
$CT_r$	Costos totales mensuales
	$CT_r = CF_r + CV_r + RT_r$
$CF_r$	Costos fijos mensuales
$CV_r$	Costos variables mensuales
$RT_r$	Rentabilidad mensual del capital

Fuente: Elaboración propia según metodología tarifaria de la ARESEP.

El primer rubro de los costos totales son los costos fijos, los cuales consideran la suma de los costos por depreciación de los activos, el costo de operación y mantenimiento de flota y planteles, costos por personal y otros gastos administrativos, costos por sistemas automatizados de pago, por estudios de calidad y costos por infraestructura de apoyo.

**Cuadro A29**  
**Costos fijos mensuales**

$CF_r$	Costos fijos mensuales
	$CF_r = CDAF_r + CPOM_r + CPA_r + GA_r + CRA_r + CSPE_r + CECS_r + CIAS_r + OG_r + CLL_r$
$CDAF_r$	Costo mensual de depreciación de los activos fijos
$CPOM_r$	Costo mensual de personal de operación y mantenimiento
$CPA_r$	Costo mensual de personal administrativo
$GA_r$	Gastos administrativos mensuales
$CRA_r$	Costo mensual en repuestos y accesorios
$CSPE_r$	Costo mensual del sistema automatizado de pago electrónico y seguridad
$CECS_r$	Costo mensual de los estudios de calidad del servicio
$CIAS_r$	Costo mensual de infraestructura de apoyo al servicio
$OG_r$	Costo mensual por otros gastos
$CLL_r$	Costo mensual por limpieza y lavado de las unidades

Fuente: Elaboración propia según metodología tarifaria de la ARESEP.

Los costos de depreciación de los activos contienen la depreciación de la flota, es decir, el valor que pierde mensualmente la flota de autobuses con la que dispone la empresa. Además, se considera la depreciación de la maquinaria, equipo, instalaciones y planteles, así como de las barras de conteo de pasajeros y en este rubro podría incluirse la depreciación de la inversión necesaria para la adquisición de batería y estaciones de carga debido a la electrificación.

**Cuadro A30**  
**Costos por depreciación de activos fijos**

	<b>Detalle</b>
<b><math>CDAF_r</math></b>	<b>Costo mensual de depreciación de los activos fijos</b>
	$CDAF_r = CDF_r + CDMEI_r + CDSCP_r$
<b><math>CDF_r</math></b>	Costo mensual de depreciación de la flota
<b><math>CDMEI_r</math></b>	Costo mensual de depreciación de la maquinaria, el equipo y las instalaciones
<b><math>CDSCP_r</math></b>	Costo mensual de depreciación del sistema automatizado de conteo de pasajeros
<b><math>CDB_r</math></b>	Costo mensual de depreciación de las baterías (no contemplado actualmente)
<b><math>CDE_r</math></b>	Costo mensual de depreciación de las estaciones de carga (no contemplado actualmente)

Fuente: Elaboración propia según metodología tarifaria de la ARESEP.

### 1. Depreciación de la flota

Dado que se toma una vida útil del autobús eléctrico igual a la considerada para las unidades diésel (periodo de 15 años), se considera para ambas tecnologías un pago de la depreciación acelerado durante los primeros 7 años de vida de la unidad y con los factores de depreciación brindados desde los modelos tarifarios de la ARESEP.

El costo por depreciación mensual de la flota (CDF) se obtiene al estimar el monto total de depreciación anual de la flota según el tamaño y el factor de depreciación para cada tipo de regla, para dividirlo entre los 12 meses del año. Los montos de depreciación obtenidos reconocen un 80% del valor total de la unidad durante los primeros 7 años y el restante 20% lo reconoce en tramos iguales hasta el final de su vida útil —al alcanzar los 15 años.

La manera en la que se calcula el costo mensual de depreciación de la flota coincide con:

	<b>Detalle</b>
<b><math>CDF_r</math></b>	<b>Costo mensual de depreciación de la flota</b>
	$CDF_r = CDF_r^{\alpha} + CDF_r^{\gamma}$ $CDF_r = \frac{1}{12} \times \left[ \sum_{b=0}^{15} fdf_b^{\alpha} \times VTAN_{br}^{\alpha} \times F_{br}^{\alpha} \right] + \frac{1}{12} \times \sum_{b=0}^{15} (fdf_b^{\gamma} \times VTAN_{br}^{\gamma})$

Donde:

**$CDF_r$**  = costo mensual de depreciación de la flota autorizada para la ruta "r".

**$VTAN_{br}^{\gamma}$**  = Valor tarifario de la flota sin llantas para los buses de la flota autorizada para la ruta "r" y de edad "b".

**$fdf_b$**  = representa el factor de depreciación anual de las unidades de la flota autorizada según la edad "b" del bus.

La división entre la flota que aplique para los factores de depreciación según regla tipo 1 y regla tipo 2 depende de la edad o año de fabricación del vehículo, para este caso, dado que los autobuses eléctricos serían adquiridos preliminarmente como nuevos, se utilizaría los factores de regla tipo 2.

Los factores de depreciación se expresan en el cuadro A31. Se observa cómo se deprecia el 80% del valor del vehículo, de manera lineal, durante los primeros 7 años; es decir, que el concesionario recibiría este porcentaje del valor del vehículo en depreciación durante el contrato de concesión.

**Cuadro A31**  
**Factores anuales de depreciación para flotas en regla tipo 2**

Edad de la unidad de transporte público en años (b)	Factor anual de depreciación ( <i>fdff</i> )-Reglas tipo 2-
0	0,11429
1	0,11429
2	0,11429
3	0,11429
4	0,11429
5	0,11429
6	0,11429
7	0,02222
8	0,02222
9	0,02222
10	0,02222
11	0,02222
12	0,02222
13	0,02222
14	0,02222
15	0,02222

Fuente: Elaborado mediante coeficientes brindados por ARESEP.

## 2. Depreciación de la maquinaria, equipo e instalaciones

La depreciación mensual de la maquinaria se calcula mediante un coeficiente de depreciación y los valores tarifarios de la flota, este rubro se ve bastante afectado dado el incremento del valor tarifario de la flota gracias a la implementación de autobuses eléctricos.

La fórmula utilizada para calcular el costo en depreciación de la maquinaria y equipo coincide con:

Detalle	
<b><i>CDMEI<sub>r</sub></i></b>	<b>Costo mensual de depreciación de la maquinaria, el equipo y las instalaciones</b>
	$CDMEI_r = cdmei \times (VTAF_r^\alpha + VTAF_r^\gamma)$
<i>cdmei</i>	Coeficiente de depreciación de la maquinaria, equipo e instalaciones
<i>VTAF<sub>r</sub><sup>α</sup></i>	Valor tarifario total de la flota para las unidades con reglas tipo 1
<i>VTAF<sub>r</sub><sup>γ</sup></i>	Valor tarifario total de la flota para las unidades con reglas tipo 2

## 3. Depreciación del sistema automatizado de conteo de pasajeros

Se calcula según el costo del sistema y la cantidad de buses total del que dispone la empresa. Este rubro no es afectado por la diferencia de precios entre los autobuses. La fórmula utilizada es:

Detalle	
<b><i>CDSCP<sub>r</sub></i></b>	<b>Costo mensual del sistema automatizado de conteo de pasajeros</b>
	$CDSCP_r = \frac{1}{12} \times [fdscp \times VNSCP \times F_r]$
<i>fdscp</i>	Factor de depreciación anual para el sistema automatizado de conteo de pasajeros
<i>F<sub>r</sub></i>	Cantidad total de unidades de la flota autorizada
<i>VNSCP</i>	Valor del sistema automatizado de conteo de pasajeros

#### 4. Costos en personal de operación y mantenimiento

Se calcula mediante los costos mensuales en salarios al personal para operación y mantenimiento. Los costos son calculados mediante los salarios establecidos por el Ministerio de Trabajo y coeficientes de necesidad de personal, los cuales dependen del tamaño de flota, recorrido y/o esquema operativo de la empresa. Los cálculos son detallados en la resolución RJD-035-2016 y no dependen del valor tarifario de la flota, por lo que no se verían afectados por la implementación de autobuses eléctricos.

Los rubros a considerar son:

	Detalle
<b><math>CPOM_r</math></b>	<b>Costos en personal de operación y mantenimiento</b> $CPOM_r = CSCH_r + CSD_r + CSMA_r$
<b><math>CSCH_r</math></b>	Costo mensual por salarios de los choferes
<b><math>CSD_r</math></b>	Costo mensual por salario de despachadores o chequeadores
<b><math>CSMA_r</math></b>	Costo mensual por salario de mecánicos

#### 5. Costos en personal administrativo

Dicho rubro se calcula mediante la multiplicación del costo en personal (rubro anterior) y un coeficiente de personal administrativo brindado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Ninguno de ambos rubros depende del valor tarifario de la flota, por lo que no se vería afectado por la implementación de autobuses eléctricos.

	Detalle
<b><math>CPA_r</math></b>	<b>Costos mensuales de personal administrativo</b> $CPA_r = cpa \times CPOM_r$
<b><math>cpa</math></b>	Coefficiente de personal administrativo
<b><math>CPOM_r</math></b>	Costo mensual de personal de operación y mantenimiento

#### 6. Gastos administrativos mensuales

Se refiere principalmente a los costos en los que incurre el operador con tal de cumplir con las normativas y requisitos formales para brindar el servicio. Algunos de estos gastos se actualizan conforme la tarifa oficial vigente al día de la audiencia pública.

Dichos gastos administrativos se calculan de igual manera para todos los buses, y dependen principalmente del tamaño de la flota y los recorridos realizados, por lo que no se afectan por el aumento del valor tarifario de la flota.

Los gastos administrativos están conformados por:

	Detalle
<b><math>GA_r</math></b>	<b>Gastos administrativos mensuales</b> $GA_r = GDC_r + GSV_r + GRTV_r + GAR_r + GCTP_r + GP_r$
<b><math>GDC_r</math></b>	Gasto mensual de derecho de circulación
<b><math>GSV_r</math></b>	Gasto mensual del seguro voluntario
<b><math>GRTV_r</math></b>	Gasto mensual de inspección técnica vehicular
<b><math>GAR_r</math></b>	Gasto del canon mensual de Aresep
<b><math>GCTP_r</math></b>	Gasto del canon mensual del CTP
<b><math>GP_r</math></b>	Gasto mensual de los peajes y/o transbordadores

## 7. Costos en repuestos y accesorios

A pesar de que gran parte de los beneficios de los autobuses eléctricos radican en sus ahorros de mantenimiento y combustible, las metodologías tarifarias actuales hacen uso de un coeficiente de consumo de repuestos y el valor tarifario de la flota para calcular dicho rubro. Por lo tanto, habría que modificar dicho rubro para no inflar los costos en repuestos por el sobre precio de los autobuses eléctricos.

	Detalle
$CRA_r$	<b>Costo mensual en repuestos y accesorios</b>
	$CRA_r = \frac{1}{12} \times ccra_r \times (VTAF_r^\alpha + VTAF_r^\gamma)$
$ccra$	Coefficiente de consumo de repuestos y accesorios
$VTAF_r^\alpha$	Valor tarifario total de la flota para las unidades con reglas tipo 1
$VTAF_r^\gamma$	Valor tarifario total de la flota para las unidades con reglas tipo 2

## 8. Costo del sistema automatizado de pago electrónico y seguridad

Se determina según los componentes, características y cantidad necesaria por ruta. Dichos elementos serán establecidos según la resolución que ARESEP emita al respecto considerando la audiencia pública y la Ley 7593.

### 9. Costo del estudio de calidad del servicio

Se considera según lo dictado en el Decreto Ejecutivo No. 28833-MOPT o la norma que el Consejo de Transporte Público establezca.

	Detalle
$CECS_r$	<b>Costo mensual de los estudios de calidad del servicio</b>
	$CECS_r = \frac{1}{12} \times VECS$
$VECS$	Valor del estudio anual de la calidad del servicio

### 10. Costo de la infraestructura de apoyo

Los elementos para considerar son indicados en la resolución que la ARESEP brinde al respecto, considerando la participación ciudadana y la Ley 7593.

### 11. Otros gastos

Atribuido para cubrir otros gastos como útiles de oficina, servicios básicos y algunos impuestos. Su fórmula depende del valor tarifario de la flota, por lo que habría que ajustar el coeficiente de manera que no se sobre estime debido a la implementación de autobuses eléctricos.

Los rubros a considerar son:

	Detalle
$OG_r$	<b>Costo mensual por otros gastos</b>
	$OG_r = \frac{1}{12} \times cog \times (VTAF_r^\alpha + VTAF_r^\gamma)$
$cog$	Coefficiente anual de otros gastos administrativos
$VTAF_r^\alpha$	Valor tarifario total de la flota para las unidades con reglas tipo 1
$VTAF_r^\gamma$	Valor tarifario total de la flota para las unidades con reglas tipo 2

## 12. Costos por limpieza y lavado de vehículos y motor

Se calcula mediante el costo unitario y la frecuencia mensual de cada uno de los servicios. La actualización de estos valores se realizaría al menos cada 5 años y deberán someterse al artículo 361 de la Ley General de la Administración Pública. Sin embargo, dicho costo no se vería afectado por el aumento en el valor tarifario de la flota debido a la inclusión de autobuses eléctricos.

	Detalle
$CLL_r$	<b>Costo mensual por limpieza y lavado de las unidades de la flota autorizada de la ruta "r"</b>
	$CLL_r = (fli_r \times CLI_r + fle_r \times CLE_r + flmch_r \times CLMCH_r) \times F_r$
$fli_r$	Frecuencia mensual del servicio de limpieza interna
$CLI_r$	Precio del servicio de limpieza interna
$fle_r$	Frecuencia mensual del servicio de limpieza externa
$CLE_r$	Precio del servicio de lavado externo
$flmch_r$	Frecuencia mensual del lavado de motor y chasis

## 13. Costos variables

Los costos variables están compuestos por los distintos costos de mantenimiento e insumos necesarios para la operación del autobús. Además, se relacionan con los coeficientes de consumo específicos para cada insumo, el respectivo precio y el kilometraje de la ruta. Muchos de estos costos difieren entre tecnologías (las tecnologías eléctricas no hacen uso de gran parte de aceites y partes que utilizan los autobuses de diésel), por lo que habría que reconsiderar algunos coeficientes en caso de implementación de tecnologías eléctricas.

Los costos variables están conformados por:

	Detalle
$CV_r$	<b>Costos variables mensuales</b>
	$CV_r = CCC_r + CCLL_r + CCAM_r + CCACC_r + CCAD_r + CCLF_r + CCG_r + CCFC_r + CCAH_r + CCB_r$
$CCC_r$	Costo mensual en consumo de combustible
$CCLL_r$	Costo mensual en consumo de llantas
$CCAM_r$	Costo mensual en consumo de aceite de motor
$CCACC_r$	Costo mensual en consumo de aceite de caja de cambios
$CCAD_r$	Costo mensual en consumo de aceite para diferencial
$CCLF_r$	Costo mensual en consumo de líquido para frenos
$CCG_r$	Costo mensual en consumo de grasa
$CCFC_r$	Costo mensual en consumo de filtros de combustible
$CAAH_r$	Costo mensual en consumo de aceite hidráulico
$CCB_r$	Costo mensual en consumo de baterías

## 14. Rentabilidad del capital invertido

La rentabilidad total mensual del capital se obtiene de la suma de la rentabilidad sobre activos fijos y la rentabilidad del capital en proveeduría. La determinación de la tasa de rentabilidad se realiza según el tipo de regla de la flota, para la regla tipo 1 se utiliza la tasa activa promedio del sistema financiero nacional calculada por el BCCR, y para las reglas tipo 2 se utiliza la obtenida mediante la metodología del Costo Promedio Ponderado de Capital.

El rubro de rentabilidad representa el costo de oportunidad del capital invertido e incluye el capital de flotas de buses (según regla tarifaria), en maquinaria, equipo, instalaciones, sistemas automatizados de conteo y proveeduría.

Dado que se considera la rentabilidad del capital invertido en la flota, un aumento de la inversión necesaria para la adquisición de autobuses eléctricos se reflejaría en un incremento sobre los rubros de rentabilidad. Por lo tanto, este componente es uno de los que más aporta al incremento de la tarifa dada la electrificación de la flota.

	Detalle
$RT_r$	<b>Rentabilidad mensual del capital</b>
	$RT_r = RAF_r + RCP_r$
$RAF_r$	Rentabilidad mensual del capital invertido en activos fijos
$RCP_r$	Rentabilidad mensual del capital invertido en proveeduría

Para calcular la rentabilidad mensual del capital invertido en activos fijos (donde se incluye la rentabilidad de la inversión en flota), se multiplica el valor tarifario (restante de la depreciación) por el factor de rentabilidad, correspondiente a la edad del bus y por último por la respectiva tasa de rentabilidad.

**Cuadro A32**  
**Factores anuales de rentabilidad para flotas de regla tipo 2**

Edad de la unidad de transporte público en años (b)	Factor anual de rentabilidad ( $fdf'$ )-Reglas Tipo 2-
0	1,00000
1	0,88571
2	0,77143
3	0,65714
4	0,54286
5	0,42857
6	0,31429
7	0,20000
8	0,17778
9	0,15556
10	0,13333
11	0,11111
12	0,08889
13	0,06667
14	0,04444
15	0,02222

Fuente: Elaboración propia mediante coeficientes de ARESEP.

## 15. Composición de la tarifa

Dada la estructura de costos de la empresa y el kilometraje mensual de la ruta, se obtiene los costos totales por kilómetro, el cual es dividido por la cantidad de pasajeros por kilómetro. Dicha cantidad se define según estudios realizados o contratados por la ARESEP, estudios presentados por los prestadores de servicio o por organizaciones u órganos públicos con la atribución legal para ello.

**Cuadro A33**  
**Tarifa por pasajeros para el conjunto de rutas y ramales**

Detalle	
<b>T'</b>	<b>Tarifa por pasajero para el conjunto de rutas y/o ramales</b>
	$T' = \frac{CTK'}{IPK'}$
<b>CTK'</b>	Costo total por kilómetro
<b>IPK'</b>	Índice de pasajeros por kilómetro

Fuente: Elaboración propia según metodología tarifaria de la ARESEP.

El índice de pasajeros por kilómetros no debería ser modificado a causa de la inclusión de buses eléctricos, a menos que se compruebe alteración de la demanda debido a la inclusión de la tecnología o deterioro por aumentos tarifarios. De igual manera, se ha aprobado una normativa en el año 2018 que permite a la ARESEP recibir los datos de las barras electrónicas para conteo de pasajeros, lo cual permitiría un mejor monitoreo del número de pasajeros usuarios del servicio.

**Cuadro A34**  
**Índice de pasajeros por kilómetro de rutas y ramales**

Detalle	
<b>IPK'</b>	<b>Índice de pasajeros por kilómetro</b>
	$IPK' = \frac{PVM'}{RPM'} \quad PVM' = \frac{P'}{F'}$
<b>P'</b>	Volumen mensual de pasajeros movilizados
<b>F'</b>	Cantidad total de unidades de la flota autorizada
<b>PVM'</b>	Cantidad promedio mensual de pasajeros por vehículo
<b>RPM'</b>	Recorrido promedio mensual por vehículo

Fuente: Elaboración propia según metodología tarifaria de la ARESEP.

**Cuadro A35**  
**Costo total por kilómetro del conjunto de rutas y ramales**

Detalle	
<b>CTK'</b>	<b>Costo total por kilómetro</b>
	$CTK' = \frac{CF'}{F' \times RPM'} + \frac{CV'}{F' \times RPM'} + \frac{RT'}{F' \times RPM'}$
<b>CF'</b>	Costos fijos mensuales
<b>CV'</b>	Costos variables mensuales
<b>RT'</b>	Rentabilidad mensual del capital
<b>F'</b>	Cantidad total de unidades de la flota autorizada
<b>RPM'</b>	Recorrido promedio mensual por vehículo

Fuente: Elaboración propia según metodología tarifaria de la ARESEP.

Por lo que las rutas que presenten fraccionamiento o se encuentren dentro de un conjunto de rutas, la metodología tarifaria se realiza según la resolución RJD-035-2016.

El esfuerzo por fijar una tarifa para el servicio de autobuses eléctricos por parte de la ARESEP se ve reflejado también en la fijación de una tarifa eléctrica preferencial en los medidores de carga de alta tensión. Mediante la propuesta de fijación de oficio de la tarifa promocional para el suministro de energía eléctrica asociado y dedicado al centro de recarga en plantel para autobuses eléctricos, de

acuerdo con lo establecido en la Ley 7593 en los artículos 36 y del 44 al 61. La propuesta consiste en la fijación de una tarifa fija promocional (es decir, que no depende de las demandas horarias ni otras variaciones, sino solo del consumo en kWh) de 60,25 colones por cada kWh, lo cual, dado el precio del diésel y los factores de eficiencia de las tecnologías representaría un costo por kilómetro de aproximadamente un 25% del total del costo por uso de diésel. Dicho ahorro sería considerado mediante la metodología tarifaria, lo que permitiría disminuir el aumento de la brecha debido al aumento en algunos de los rubros de costos.

El ejercicio de crear una herramienta metodológica mediante la actualización, consideración adicional y modificación de algunos de los coeficientes y equipos necesarios para el uso de tecnologías eléctricas brinda resultados preliminares de, a un cambio del 100% de la flota de diésel a tecnología eléctrica, la tarifa resultante sería aproximadamente un 60% mayor al escenario sin la electrificación de la flota. Resultado similar fue obtenido por Deloitte Consulting (2019) en su ejercicio paralelo de replicar una metodología tarifaria con electrificación de la flota.

Dado que el supuesto de que las empresas concesionarias logren la electrificación del 100% de la flota se mantiene poco probable en el corto y mediano plazo, se decide realizar una estimación del impacto conforme avance la implementación parcial de buses eléctricos. Además, la consideración de flotas en su totalidad eléctricas requiere de ajustes a coeficientes que prácticamente resultarían en metodologías totalmente distintas a las existentes.

## Anexo 10

### Definición y estructura general del Modelo Insumo-Producto

Los cuadros de insumo-producto se definen como un conjunto integrado de matrices que muestran el equilibrio entre la oferta y utilización de bienes y servicios (productos). Estas matrices proporcionan un detalle del proceso de producción y la utilización de los bienes y servicios que se originan en un país (o región) o que se importan del resto del mundo, y del ingreso generado en dicha producción por las diversas actividades económicas. Para su construcción se requiere un conjunto de actividades, como la de centralizar, analizar y procesar información básica de múltiples fuentes como pueden ser: censos económicos, agropecuarios, censos de población y vivienda, encuestas de gastos e ingresos de los hogares, registros administrativos y, fundamentalmente, los sistemas de cuentas nacionales (Schuschny, 2005).

Los cuadros de insumo-producto permiten apreciar los componentes de las matrices de oferta, demanda intermedia, demanda final y el cuadro de valor agregado; configurándose en un cuadro de cuatro submatrices, que nos permiten obtener en forma directa el PIB por el método de producción, tipo de gasto y tipo de ingreso (véase el cuadro A36).

**Cuadro A36**  
**Estructura general del Modelo de Insumo-Producto**

Matriz de oferta total	Matriz de demanda intermedia	Matriz de demanda final
Matriz de valor agregado		

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 8).

La matriz de oferta total muestra la disponibilidad de bienes y servicios, tanto de origen doméstico como importando que serán utilizados en la demanda intermedia y la final (véase el cuadro A37):

**Cuadro A37**  
**Matriz de oferta total**

Productos	VBP	M	DM	T <sub>M</sub>	MC	Oferta total
1						
.						
.						
n						

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 8).

donde  $VBP$ , es el valor bruto de la producción,  $M$ , las importaciones,  $DM$ , los derechos de importaciones,  $T_M$ , otros impuestos a las importaciones y la producción,  $MC$ , los márgenes comerciales, siendo la Oferta total =  $VBP + M + DM + T_M + MC$ .

La matriz de demanda intermedia registra los flujos de circulación intersectorial de productos entre las distintas actividades, mostrando la utilización intermedia de los bienes y servicios en el sistema productivo. La relación entre los distintos componentes de esta matriz con la producción total de cada actividad da lugar a la matriz de coeficientes técnicos (véase el cuadro A38).

**Cuadro A38**  
**Matriz de demanda intermedia**

Productos/actividad	1 ... n'	Demanda intermedia
1		
.		
.		
n		
Consumo intermedio		

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 8).

La matriz de demanda final registra las transacciones referentes a la utilización final de los productos, es decir, su consumo por parte de los hogares *C*, el sector público *G*, la formación bruta de capital fijo (inversión), *I*, la variación de las existencias, *Z* y las exportaciones, *E*, respectivamente (véase el cuadro A39).

**Cuadro A39**  
**Matriz de demanda final**

Productos	C	G	I	Z	E	Demanda final
1						
.						
.						
n						
Total						

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 9).

Por último, la matriz de valor agregado describe las formas de pago a los factores productivos por su participación en el proceso de transformación. En sus columnas se muestra el aporte de cada actividad económica al valor agregado (véase el cuadro A40).

**Cuadro A40**  
**Matriz de valor agregado**

Actividad	1 ... n'	Total
Salarios y remuneraciones		
Beneficios y excedentes de explotación		
Amortizaciones y consumo de capital fijo		
Otros impuestos menos subsidios a la producción		
Valor agregado bruto		
Valor bruto de la producción		

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 9).

El uso de matrices de insumo-producto, no se circunscribe únicamente a la determinación de los coeficientes técnicos, necesarios para el diseño de sistemas de cuentas nacionales. Su utilidad reside en que posibilita el estudio de la estructura productiva, sus tendencias y sus cambios a lo largo del tiempo, permitiendo conocer la importancia relativa de los sectores, los grados de articulación y sus interrelaciones, a través de la identificación de los principales flujos de producción e intercambio y los requerimientos de bienes para su uso intermedio y final.

## A. Presentación de la información

Las filas en la matriz de insumo-producto muestran la demanda de bienes y servicios (productos) que, a su vez, es consumida por las ramas de actividad, representadas en cada columna.

El problema de esta representación es que, en la práctica, las distintas actividades no sólo producen los bienes y servicios que las caracterizan (producción principal), sino también ciertas cantidades (aunque menores) de bienes y servicios correspondientes a otras ramas de actividad (producción secundaria). La producción secundaria es muy normal en las distintas ramas de actividad de cualquier economía, esto hace que el esquema asimétrico (productos en filas y sectores en columnas) sea inadecuado, porque la matriz de consumo intermedio contendría en las filas insumos correspondientes a producción principal y/o secundaria de las distintas ramas de actividad. Esto da lugar a coeficientes técnicos híbridos y haría que el cálculo de los requerimientos directos e indirectos, sean inexactos ya que los aumentos de la demanda final corresponden a los productos y no a producciones de ramas de actividad (Schuschny, 2005, pp. 8-9).

El sistema de cuentas nacionales promovido por las Naciones Unidas (SCN2008) establece dos tipos de matrices, matrices de oferta o producción y matrices de utilización. Con ellas se establece una distinción entre la producción bruta a nivel de productos y las actividades. Para obtener una representación "cuadrada" en la que tanto filas como columnas estén constituidas por productos, o en su defecto, actividades, se deben establecer ciertas hipótesis acerca de la tecnología de producción (Naciones Unidas, 2000.)

- La hipótesis de tecnología de productos: que supone que la estructura de costos que permite obtener una producción de un determinado tipo de bien o servicio es la misma sea cual sea la rama de actividad donde se produzca. Se trate de producción principal o secundaria, la estructura de costos no presenta modificaciones.
- La hipótesis de tecnología de industria: supone que la producción de un determinado tipo de bien es el mismo que la industria que la genera, sin importar que sea producción principal o secundaria. De esta manera, la estructura de producción de cada producto, será distinta según la industria que la produzca.

Estas hipótesis llevan a diferentes representaciones de la matriz de insumo- producto, como un cuadro simétrico producto por producto o una de ramas de actividad por ramas. En el primer caso, basta con multiplicar la matriz de consumo intermedio y la matriz de valor agregado, por la matriz de participación de las ramas de actividad en la producción, obtenida de la matriz de oferta. Se obtiene así una representación "cuadrada" de producto por producto. En el segundo caso, tanto la matriz de consumo intermedio, como la matriz de demanda final deben pre-multiplicarse por esta matriz de participación, obteniéndose una representación de ramas por ramas (Schuschny, 2005, p. 10).

Al suponer  $n$  sectores económicos interrelacionados entre sí, la producción de cada sector puede venderse en el mercado de productos intermedios (a los otros sectores) o como producto final. Así, el destino de la producción del sector  $i$ -ésimo puede representarse como:

$$X_i = X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{in} + C_i + I_i + G_i + Z_i + E_i \text{ con:} \quad (1)$$

- $X_i$  es el valor de la producción doméstica del sector  $i$ -ésimo;
- $X_{ij}$  es el valor de la producción doméstica que el sector  $i$ -ésimo le vende al sector  $j$ -ésimo;
- $C_i$  es el valor de la producción doméstica del sector  $i$ -ésimo vendida como bien de consumo a los residentes;

- $I_i$  es el valor de la producción doméstica del sector  $i$ -ésimo vendida como bien de inversión a los empresarios residentes (formación bruta de capital fijo);
- $G_i$  es el valor de la producción doméstica del sector  $i$ -ésimo vendida al sector público;
- $Z_i$  es el valor (neto) de la producción doméstica del sector  $i$ -ésimo destinado a los inventarios.
- $E_i$  es el valor de la producción doméstica del sector  $i$ -ésimo exportada al resto del mundo.

Además, se puede establecerse un conjunto de relaciones similares para los bienes y servicios de origen importado (Matriz M).

En la ecuación (1) se pueden diferenciar dos tipos de venta: (i) como producto intermedio de todo el proceso o (ii) como demanda final:

$$X_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + Y_i \quad \text{con} \quad Y_i = C_i + I_i + G_i + G_i + Z_i + E_i \quad 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

En cuanto a la aplicación (o empleo) del valor de lo producido, cada sector utilizará este para comprar productos intermedios (a otros sectores) como insumos de su propio proceso productivo y para pagar los otros gastos originados de tal proceso, es decir el pago a los factores productivos. Por lo tanto, el uso que el sector  $j$ -ésimo haga de su valor de producción es:

$$X_j = X_{1j} + X_{2j} + \dots + X_{nj} + M_{nj} + S_j + B_j + A_j + (T_j - Sb_j) \quad 1 \leq j \leq n \quad (3)$$

Donde,

- $X_j$  es el valor de la producción del sector  $j$ -ésimo;
- $X_{ij}$  es el valor de la producción que el sector  $j$ -ésimo compra al sector  $i$ -ésimo (o que el  $i$ -ésimo le vende a este);
- $M_{ij}$  es el valor de las importaciones de insumos intermedios de  $i$ , que compra a  $j$ ;
- $S_j$  son los costos en salarios, remuneraciones y seguridad social pagados por el sector  $j$ -ésimo;
- $B_j$  son los beneficios y excedentes de explotación del sector  $j$ -ésimo;
- $A_j$  son las amortizaciones y el consumo de capital fijo del sector  $j$ -ésimo;
- $T_j$  son los impuestos pagados por el sector  $j$ -ésimo;
- $Sb_j$  las subvenciones y subsidios especiales recibidos por el sector  $j$ -ésimo.

También puede verse que, en la ecuación (3), se pueden diferenciar dos partes: (i) la adquisición de insumos intermedios y (ii) el uso de los insumos primarios:

$$X_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} + \sum_{i=1}^n M_{ij} + VAB_j \quad \text{con} \quad VAB_j = S_j + B_j + A_j + T_j - Sb_j \quad 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

El  $VAB$  es la parte del valor de la producción del sector  $j$ -ésimo menos las compras de insumos intermedios:

$$VAB_j = X_j - \sum_{i=1}^n X_{ij} - \sum_{i=1}^n M_{ij} \quad (5)$$

El diagrama A2 expresa la representación matricial de las anteriores relaciones:

**Diagrama A2**  
**Representación de la información contenida en la Matriz Insumo-Producto**

	Prod. 1	Prod. j	Prod. n	Cons.	Invest.	C.Publ.	Δ Exist.	Expo.	VBP		
Prod. 1	$X_{11}$	...	$X_{1j}$	...	$X_{1n}$	$C_1$	$I_1$	$G_1$	$Z_1$	$E_1$	$X_1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prod. i	$X_{i1}$	...	$X_{ij}$	...	$X_{in}$	$C_i$	$I_i$	$G_i$	$Z_i$	$E_i$	$X_i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prod. n	$X_{n1}$	...	$X_{nj}$	...	$X_{nn}$	$C_n$	$I_n$	$G_n$	$Z_n$	$E_n$	$X_n$
Prod. 1	$M_{11}$	...	$M_{1j}$	...	$M_{1n}$	$C_1^M$	$I_1^M$	$G_1^M$	$Z_1^M$	$E_1^M$	$M_1^{Total}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prod. i	$M_{i1}$	...	$M_{ij}$	...	$M_{in}$	$C_i^M$	$I_i^M$	$G_i^M$	$Z_i^M$	$E_i^M$	$M_i^{Total}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prod. n	$M_{n1}$	...	$M_{nj}$	...	$M_{nn}$	$C_n^M$	$I_n^M$	$G_n^M$	$Z_n^M$	$E_n^M$	$M_n^{Total}$
Salarios	$S_1$	...	$S_j$	...	$S_n$						$\sum S_i$
Beneficios	$B_1$	...	$B_j$	...	$B_n$						$\sum B_i$
Amortizac.	$A_1$	...	$A_j$	...	$A_n$						$\sum A_i$
Tax-Subvenc.	$T_1 - Sb_1$	...	$T_j - Sb_j$	...	$T_n - Sb_n$						$\sum (T_i - Sb_i)$
VBP (insumos)	$X_1$	...	$X_j$	...	$X_n$						

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 9).

Donde VBP es el valor bruto de la producción, el sector *j* (columna) es considerado productor (demanda insumo) mientras que el *i* (fila), vendedor.

Al haber separado las matrices de bienes y servicios domésticos de la de bienes de origen importado, la parte de productos importados que abastecen a la demanda final queda excluida. Si los elementos de la demanda final incluyeran a las importaciones, se debería restar las importaciones destinadas a abastecer ese consumo final:

$$\sum_{i=1}^n (C_i^M + I_i^M + G_i^M + Z_i^M + E_i^M) \tag{6}$$

### B. Criterios de valoración

Los cuadros de insumo-producto pueden valorarse de distintas maneras:

- **Precios de comprador:** es la cantidad pagada por el comprador (excluido el IVA); incluye los gastos de transporte (que se supone paga por separado) y los márgenes del comercio.
- **Precios de productor:** es el monto a cobrar por el productor excluyendo el IVA, transporte y márgenes.
- **Precios básicos:** es el monto a cobrar por el productor, exceptuando cualquier impuesto y sumándoles las subvenciones a los productos; no incluye los costos de transporte y márgenes.

Estos precios se relacionan de la siguiente manera:

Precio de productor = Precio de comprador – Márgenes comerciales – Transporte y fletes
Precio básico = Precio de productor – Impuestos indirectos a la ventas o IVA no deducible + subvenciones a los productos

Si la matriz está valorada a precios del comprador, los productos contendrán parte del “producto comercio”, es decir, que los márgenes de comercialización estarán incluidos en cada uno de los bienes ofrecidos. Esto implica la inexistencia de una mercancía específica que represente el comercio, lo que se traduce en que una fila de la matriz no registre valor alguno. En cambio, si la oferta está valorada a precios de productor, el “producto” comercio es registrado como cualquier otro servicio y en la oferta aparece su producción (los márgenes), la misma que puede ser utilizada como insumo de otras ramas de actividad.

Generalmente se trabaja con matrices valoradas a precios básicos, debido a que presentan los coeficientes técnicos más puros, exentos de márgenes de distribución e impuestos indirectos. La idea de obtener coeficientes lo más depurados posibles, ayuda a la obtención de resultados más representativos para el análisis económico.

### C. Modelo teórico

Las relaciones (1) y (3) son identidades contables que resumen el funcionamiento *ex post* de la economía, pero no constituyen un modelo explicativo. Para lograr este fin, es necesario asumir ciertos supuestos tecnológicos (qué tipo de función de producción está en juego) y cuáles son las variables exógenas y endógenas.

Debe tenerse en cuenta que, el modelo de insumo-producto está totalmente destemporalizado, ya que no considera ninguna dinámica de ajuste endógeno. Al ser “macro-ejercicio” de estática comparativa; tampoco incorpora funciones de comportamiento de los agentes institucionales, ni mecanismos de incentivos o interacciones de mercado vía precios, esto significa que el modelo, si bien da cuenta de la estructura intersectorial de la malla productiva, resulta ser una representación sumamente simple para analizar el comportamiento dinámico de la economía como un todo.

Este modelo contempla los siguientes supuestos:

- i) Cada insumo es suministrado por un sólo sector de producción (hipótesis de homogeneidad sectorial). Esto implica que se emplea un sólo método de producción, por lo tanto, no es posible la sustitución entre insumos intermedios, a la vez que cada sector tiene una sola producción primaria; es decir que no hay producción conjunta.
- ii) Para homogeneizar la medición de los agregados, se introduce la hipótesis de invarianza de precios relativos.
- iii) Los insumos comprados por cada sector son solamente una función del nivel de producción de ese sector, por lo que la cantidad de insumos varía en la misma proporción que la producción. Es decir, que se asume una hipótesis de proporcionalidad estricta: la composición de los productos dentro de cada sector es fija.

Esto significa que la función de producción que el modelo de Leontief considera es lineal y, por lo tanto, los coeficientes técnicos se supondrán constantes durante el período de análisis, dado que se supone que el nivel de producción que el sector *i*-ésimo vende al *j*-ésimo, es una proporción constante del nivel de producción del sector *j*, es decir:

$$X_{ij} = a_{ij} \cdot X_j \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n \quad (7)$$

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n \quad (\forall a_{ij} \neq 0) \quad (8)$$

donde  $a_{ij}$  es denominado *coeficiente técnico* y constante por hipótesis, esto significa que la función de producción es tal, que la productividad marginal de cada factor es constante e igual a su productividad media. Con ello la “función de producción” (de coeficientes constantes) tiene los rendimientos constantes a escala.

- iv) Se supone que el efecto total de la producción en varios sectores, será igual a la sumatoria de los diferentes efectos (*hipótesis de aditividad*); con esto se excluye toda interdependencia externa de los sectores, excepto la especificada en el propio modelo.
- v) Cuando se utiliza el modelo para realizar proyecciones de precios, debe tenerse en cuenta que se mantiene la relación de precios relativos presente en el año en que se elabora la matriz.

- vi) Se supone, en el modelo estándar, que las  $X_i$  y  $X_{ij}$ , ( $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$ ) son las  $n + n^2$  variables endógenas mientras que las componentes de la demanda final (neta de importaciones),  $C_i, I_i, G_i, Z_i, E_i$ , ( $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$ ) las  $5n$  variables exógenas.

A partir estos supuestos es posible representar el modelo en forma matricial considerando los coeficientes técnicos (véase el diagrama A3).

**Diagrama A3**  
Representación de la Matriz I-P empleando la Matriz de Coeficientes Técnicos

Recurso	Prod. 1	Prod. j	Prod. n		Cons.	Invest.	C.Publ.	Δ Exist.	Expo.	VBP
Prod. 1	$a_{11}$	... $a_{1j}$	... $a_{1n}$	$X_1$	$+C_1$	$+I_1$	$+G_1$	$+Z_1$	$+E_1$	$= X_1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prod. i	$a_{i1}$	... $a_{ij}$	... $a_{in}$	$X_i$	$+C_i$	$+I_i$	$+G_i$	$+Z_i$	$+E_i$	$= X_i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prod. n	$a_{n1}$	... $a_{nj}$	... $a_{nn}$	$X_n$	$+C_n$	$+I_n$	$+G_n$	$+Z_n$	$+E_n$	$= X_n$
Prod. 1	$m_{11}$	... $m_{1j}$	... $m_{1n}$							
...	...	...	...							
Prod. i	$m_{i1}$	... $m_{ij}$	... $m_{in}$							
...	...	...	...							
Prod. n	$m_{n1}$	... $m_{nj}$	... $m_{nn}$							
Salarios	$s_1$	... $s_j$	... $s_n$							
Beneficios	$b_1$	... $b_j$	... $b_n$							
Amortizac.	$\alpha_1$	... $\alpha_j$	... $\alpha_n$							
Tax-Subvenc.	$t_1 - sb_1$	... $t_j - sb_j$	... $t_n - sb_n$							
Coef. VBP	1	... 1	... 1							

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 16).

$$x = A \cdot x + y \quad x \in \mathbb{R}^{nx1} \quad A \in \mathbb{R}^{nxn} \quad y \in \mathbb{R}^{nx1} \tag{9}$$

Cuyos componentes son:

$$x \equiv \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}; \quad A \equiv \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}; \quad y \equiv \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 + I_1 + G_1 + Z_1 + E_1 \\ \vdots \\ C_n + I_n + G_n + Z_n + E_n \end{pmatrix} \tag{10}$$

donde  $A$  se denomina *matriz de requerimientos directos*, pues sus elementos de matriz indican la proporción en la que un insumo es demandado para generar una unidad de producto. A partir de la expresión canónica del modelo de Leontief se obtiene:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot y = B \cdot y \tag{11}$$

donde la matriz  $B \equiv (b_{ij}) = (I - A)^{-1}$  es la *matriz de Leontief o de requerimientos totales* (directos e indirectos) y relaciona la producción de cada sector  $X_i$  con la demanda final neta de importaciones, variable esta, considerada como exógena.

Cada elemento  $b_{ij}$  de la matriz de Leontief, representa la cantidad de producción que debería realizar el sector  $i$ , para satisfacer, *ceteris paribus*, una unidad de demanda final neta de importaciones del producto  $j$ -ésimo y, como es constante, da cuenta de la variación en el valor de la producción del sector  $i$ -ésimo como consecuencia de la variación de la demanda final neta de importaciones del sector  $j$ -ésimo. Esto se puede expresar como:

$$b_{ij} = \frac{\partial X_i}{\partial Y_j} = \frac{dX_i}{dY_j}, \quad (12)$$

los elementos  $b_{ij}$  de la matriz inversa cuantifican el impacto sobre la industria  $i$ -ésima de un cambio en la demanda final neta de importaciones del sector  $j$ -ésimo. Estos coeficientes capturan en un sólo número efectos multiplicativos directos e indirectos, ya que el producto de cada sector afectado deberá impactar no sólo sobre sí, sino también sobre los demás sectores que lo utilizan como insumo.

La matriz de Leontief, que describe el total de necesidades de insumos directos e indirectos, es tal que sus elementos diagonales deben ser mayores o iguales a 1 ( $b_{ii} \geq 1 \forall 1 \leq i \leq n$ ), lo que significa que, para producir una unidad adicional para satisfacer la demanda final neta de importaciones, es necesario aumentar la producción al menos en una unidad.

Las principales causas que producen la alteración de los coeficientes técnicos en el tiempo son:

- El cambio tecnológico.
- El incremento de los beneficios surgidos de las economías de escala.
- Las variaciones del mix de productos (nuevos insumos sustitutos o complementarios).
- Los cambios en los precios relativos (dado que los coeficientes de Leontief surgen de una valoración monetaria).
- Los cambios en los patrones de intercambio (exportaciones, sustitución de importaciones, etc.).

#### D. Representación de Gosh desde el punto de vista de la oferta

El modelo de Leontief puede expresarse desde el punto de vista de la oferta considerando, en lugar de la demanda total, la provisión de insumos primarios, es decir, el valor agregado (y sus componentes). Esta versión del modelo fue propuesta por Gosh, A. (1958), como una variante natural a la representación estándar de insumo-producto.

Este modelo "del lado de la oferta", como contrapartida del modelo "del lado de la demanda" que sería el modelo de insumo producto original, surge del mismo cuadro de datos, pero organizado de forma diferente.

Si se define la matriz  $D$  cuyos elementos son:  $d_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i}$ , recordando que  $d_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i} \neq a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$ . Al expresarlo de forma matricial se tiene:

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{11}X_1 & \cdots & d_{1n}X_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1}X_1 & \cdots & d_{nn}X_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & \cdots & d_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$x = (1 - D')^{-1} \cdot v \quad \vee \quad x' = v' \cdot (1 - D)^{-1} = v' \cdot G \quad (14)$$

donde  $v$  representa un vector de oferta que se asume como el diferencial entre el VBP o producción final menos la suma de los valores de cada columna utilizados como insumos (usos de origen nacional).

La matriz  $G \equiv (g_{ij}) = (I - D)^{-1}$  se le denomina inversa del producto (por contrapartida con la matriz  $B$ , inversa del insumo). Los elementos de  $G$  se interpretan como el valor total de la producción que surge en el sector  $j$  por unidad de insumo primario en el sector  $i$ .

Existen variadas críticas a la utilización del modelo de Leontief como de Gosh como sus limitaciones, las cuales se pueden consultar en Schuschny (2005, p. 18) para un detalle más amplio.

### E. Encadenamientos directos

Al considerar la ecuación 11 que representa el modelo de Leontief, la matriz  $B$  tiene características muy similares a las del multiplicador keynesiano. La producción total además de satisfacer la demanda final debe cubrir las necesidades de los demás sectores productivos. Dada la interdependencia existente entre éstos, un aumento de la producción en uno de ellos implica una mayor demanda de insumos, los que deben, a su vez, al aumentar su producción con los consiguientes efectos circulares sobre el sistema, incluyendo la producción del sector en el que se inició el proceso. Por ello, cuando la demanda final de un bien aumenta, la producción total de dicho sector debe aumentar en una proporción mayor, ya que debe satisfacer el incremento de la demanda final y cubrir, simultáneamente, el aumento de las demandas intermedias Schuschny (2005, p. 35).

Siguiendo este razonamiento, el modelo de insumo- producto permite identificar los sectores de mayor importancia relativa en tales interdependencias es de significación. La idea central de este tipo de enfoque es que no todas las actividades económicas, tienen la misma capacidad de inducir impactos multiplicadores sobre otras.

Autores como Rasmussen, P. N. (1963) y Hirschman, A. O. (1961) y Chenery, H. B. & Watanabe, T. (1958), entre otros, utilizan los denominados encadenamientos o eslabonamientos sectoriales como método para analizar los efectos de cambios en la demanda final en situaciones diversas e identificar sectores que pudieran ser relevantes para el funcionamiento de la economía. Es posible distinguir entre dos tipos de encadenamientos: hacia atrás (*backward linkages*), que miden la capacidad de una actividad de provocar o arrastrar al desarrollo de otras, dado que utiliza insumos procedentes de éstas, y hacia delante (*forward linkages*), que se producen cuando una actividad ofrece determinado producto, que resulta ser el insumo de otro sector, que a su vez opera como estímulo para un tercer sector, que es un insumo del primer sector en consideración.

Es importante destacar, que estar en presencia de multiplicadores de gran magnitud, no es lo mismo que grandes impactos multiplicadores, ya que los impactos dependen tanto del valor de los multiplicadores, como de la magnitud de los estímulos externos, que originan el potencial efecto multiplicador. Es por esta razón se critica la utilización de multiplicadores y encadenamientos, ya que su uso no toma en consideración, los volúmenes de producción de cada sector. Para obtener un indicador de arrastre efectivo es necesario valorar el peso que el sector posee, respecto de toda la actividad económica. Así, los encadenamientos permiten señalar aquellos sectores con mayor potencial de arrastre.

### F. Multiplicadores Directos de Chenery y Watanabe

Chenery, H. B. & Watanabe, T. (1958) calculan los encadenamientos, con el fin de cuantificar el impacto directo, de una rama sobre el resto de la economía, seleccionando aquellas actividades cuyos efectos eran superiores a la media combinando dos criterios:

- i) *Encadenamientos directos hacia atrás*: miden la capacidad de un sector de arrastrar directamente a otros ligados a él, por su demanda de bienes de consumo intermedio y, estimulando, a su vez, la actividad de tales sectores. Se puede calcular como la proporción de las compras intermedias de un sector, en relación a su producción efectiva:

$$DBL_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{X_j} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (15)$$

- ii) *Encadenamientos directos hacia delante*: miden la capacidad de un sector de estimular a otros, en virtud de tener su capacidad de oferta. Este indicador se mide como la fracción de sus ventas para consumo intermedio, sobre sus ventas totales.

$$DFL_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{X_i} = \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (16)$$

Dependiendo de los valores de  $DBL$  y  $DFL$ , Chenery, H. B. & Watanabe, T. (1958) clasifican a los sectores cuatro grupos (véase el cuadro A41).

**Cuadro A41**  
Tipología sectorial según multiplicadores directos

	$DBL_j < \sum_{j=1}^n \frac{DBL_j}{n}$	$DBL_j \geq \sum_{j=1}^n \frac{DBL_j}{n}$
$DFL_i < \sum_{i=1}^n \frac{DFL_i}{n}$	No manufacturera/destino final	Manufacturera/destino final
$DFL_i \geq \sum_{i=1}^n \frac{DFL_i}{n}$	No manufacturera/destino intermedio	Manufacturera/destino intermedio

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 37).

- i) **No manufactureras/destino intermedio:** son sectores que venden a otros, cantidades sustantivas de su producción, y por eso poseen altos encadenamientos hacia delante y bajos hacia atrás; corresponden a sectores de producción primaria intermedia.
- ii) **Manufactureras/destino intermedio:** son sectores que compran cantidades sustantivas de insumos, y venden su producción a otros sectores. Por esta razón, poseen altos encadenamientos hacia atrás y adelante. Desde el punto de vista de la articulación interna de la malla productiva, son los sectores más interesantes, ya que son responsables propagar cualquier aumento de la demanda final.
- iii) **Manufactureras/destino final:** se trata de sectores que compran a otras cantidades sustantivas de insumos, pero que la mayor parte de su producción se dirige a la demanda final. Poseen altos encadenamientos hacia atrás y bajos hacia adelante.
- iv) **No manufactureras/destino final:** no compran significativamente a los demás sectores, por eso son considerados producción primaria, ni les venden sus insumos. Su producción se dirige, primordialmente, a abastecer la demanda final. Son sectores de bajos encadenamientos directos tanto hacia atrás como adelante.

Esta clasificación sectorial pone en evidencia las diferentes fases del proceso productivo. Los multiplicadores definidos por Chenery, H. B. & Watanabe, T. (1958) se denominaron directos, ya que sólo recogen las relaciones de producción y distribución entre las ramas, en una primera instancia, sin tener en cuenta las sucesivas rondas de compras intermedias que debían producirse para abastecer los estímulos exógenos de la demanda final.

### G. Encadenamientos totales

Laumas, P. S. (1976) propone promediar pesadamente los índices de encadenamiento considerando la importancia relativa de cada sector, en la demanda final neta de importaciones o en los insumos primarios, respectivamente:

$$BL_{total} = \sum_{j=1}^n \alpha_j BL_j \quad (17)$$

$$FL_{total} = \sum_{i=1}^n \beta_i FL_i \quad (18)$$

donde  $\alpha_j = \frac{Y_j}{\sum_{i=1}^n Y_i}$ , es decir, participación del sector  $j$  en la demanda total final neta de importaciones y  $\beta_i = \frac{VAB_i}{\sum_{j=1}^n VAB_j}$ , la participación del sector  $i$  en los insumos primarios totales.

## H. Medidas de dispersión

Tanto los encadenamientos hacia atrás como adelante, constituyen una herramienta importante para la toma de decisiones; su comparación permite rankear y encontrar los sectores industriales, que más impactan sobre la economía, orientando la inversión pública, las facilidades fiscales y, por ejemplo, la instauración de programas de asistencia hacia esos sectores.

Muchas veces es también importante conocer cómo los impactos de un sector dado, se distribuyen (o dispersan) a través de toda la economía. Por ejemplo, puede suceder que un sector tenga un multiplicador alto, sin que se vean afectados la mayoría de los sectores, frente a un incremento de la demanda final del mismo; en este caso el efecto multiplicador está muy concentrado. También puede ocurrir que un sector de bajo impacto tenga efectos que se dispersan sobre todos los demás.

## I. Poder de dispersión

Rasmussen, P. N. (1963) define el poder de dispersión de sector, como el encadenamiento normalizado, es decir la medida del estímulo promedio de un sector hacia el resto, resultante de un incremento unitario de la demanda final neta de importaciones de ese sector, sobre la medida promedio de los estímulos sobre toda la economía, resultante de un incremento unitario de la demanda final de todos los sectores. Matemáticamente esto significa calcular:

$$\pi_j = \frac{\left( \frac{BL_j}{n} \right)}{\left( \frac{\sum_{j=1}^n BL_j}{n^2} \right)} = \frac{BL_j}{\left( \frac{\sum_{j=1}^n BL_j}{n} \right)} = \frac{BL_j}{\overline{BL}} \equiv \frac{n \sum_{i=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}, \quad (19)$$

que mide en términos relativos el estímulo potencial sobre toda la economía de un incremento unitario en la demanda final neta de importaciones del sector  $j$ . Si  $\pi_j > 1$  el estímulo es superior al promedio e inferior si  $\pi_j < 1$ . Esto nos permite comparar con la misma base a todos los sectores.

La desventaja de este indicador es que no da información sobre cómo los impactos se dispersan sobre toda la economía más allá de comparaciones promedio y además, supone que los impactos se dispersan uniformemente a través de ella. Para evaluar dicha dispersión en la economía, se pueden utilizar los coeficientes de variación. Así el impacto del sector  $j$ -ésimo puede definirse como:

$$\psi_j = \frac{n}{BL_j} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( b_{ij} - \frac{BL_j}{n} \right)^2} \quad (20)$$

Este indicador, muestra cómo el impacto de un incremento unitario, en la demanda final neta de importaciones del sector  $j$ -ésimo, se dispersa a través de la economía. El índice es útil para realizar comparaciones inter-industriales. Un valor grande de  $\psi_j$  indica que el sector  $j$  compra insumos de unos

pocos sectores de la economía y viceversa. Cuanto más bajo es su valor, mayor será el impacto de la variación en la producción, dado que se dispersa entre muchos sectores y la concentración se ve reducida. El indicador muestra qué tanto pesa sobre el sistema productivo la industria  $j$ .

### J. Sensibilidad de la dispersión

Considerando el indicador de encadenamiento hacia delante, se puede definir la sensibilidad de la dispersión como:

$$\tau_i = \frac{FL_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n FL_i}{n}\right)} = \frac{FL_i}{\overline{FL_i}} = \frac{n \sum_{j=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}, \quad (21)$$

que mide, en términos relativos, el estímulo potencial de un crecimiento unitario de toda la economía, sobre la demanda final neta de importaciones del sector  $i$ . Si  $\tau_i > 1$ , el estímulo es superior al promedio e inferior si  $\tau_i < 1$ .

La sensibilidad se estima a través de un índice que mide cuán sensible es un sector, a cambios generales de la demanda y provee información útil, para saber cuál sector es más sensible a cambios dados por *shocks* en términos de producción, empleo e ingresos, por ejemplo.

Igualmente es posible calcular también el coeficiente de variación para el encadenamiento hacia delante:

$$\vartheta_i = \frac{n}{FL_i} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left(b_{ij} - \frac{FL_i}{n}\right)^2}. \quad (22)$$

Un valor grande de  $\vartheta_i$  implica que el sector  $i$ , vende insumos a unas pocas industrias en la economía y viceversa. El indicador muestra en qué medida el sistema productivo, influye sobre la industria  $i$ .

### K. Identificación de sectores clave

Existe un acuerdo general de que los procesos de cambio estructural pueden ser estimulados, en un inicio por un número relativamente reducido de sectores a través de mecanismos de transmisión, que interpenetran el complejo entramado de intercambios que caracteriza a los sectores productivos de la economía. La búsqueda de "sectores clave" se basa en la suposición, de que ciertas actividades económicas tienen el potencial de "apalancar" al resto, a través del encadenamiento (hacia atrás y adelante), ya que recogen gran parte de los flujos interindustriales.

Rasmussen, P. N. (1963) sugiere que el crecimiento puede ser acelerado, mediante la inversión en proyectos de fuertes interdependencias con otros sectores productivos. El mismo autor señala que las decisiones de inversión son función de la rentabilidad esperada de los proyectos y los efectos de encadenamiento pueden inducir a la inversión, al incidir directa e indirectamente en la rentabilidad de éstos. Esta incidencia actúa principalmente, por la vía de asegurar mercados para colocar la producción, por la eliminación de cuellos de botella de oferta y la disminución de los costos de los insumos.

Por lo que los sectores clave suelen ser actividades manufactureras, que poseen una mayor capacidad para estimular a otras actividades económicas. Muchos autores vinculan la dirección de los encadenamientos, con el crecimiento y el grado de industrialización, por eso, cuando se refieren a la actividad agropecuaria, usualmente se afirma que los encadenamientos hacia delante, suelen ser relativamente débiles en las economías poco desarrolladas, debido a la falta de industrialización (Dirven, M., 2001).

Como se ha visto, un valor relativamente grande del *poder de dispersión*  $\pi_j$  indica que dicho sector pesa sobre el resto en un grado considerable. Por lo que es de esperar que un sector de este tipo dependerá, en gran medida del resto de los sectores. Esto al menos es cierto cuando el coeficiente de variación  $\psi_j$  sea relativamente pequeño. En este sentido, un "sector clave" con un valor de  $\pi_j$  grande y  $\psi_j$  pequeño conduciría, a un aumento de la demanda final de sus productos y a un incremento relativamente grande de la demanda final de los demás sectores (*sectores clave Tipo A*) (véase el cuadro A4.2). Otra metodología que se suele emplear para identificar sectores clave, consiste en discriminar aquellos sectores, cuyos valores de  $\pi_j$  y  $\tau_i$  son ambos mayores a 1 (*sectores clave Tipo B*) (véase el cuadro A4.3).

**Cuadro A4.2**  
**Identificación de sectores clave tipo A**

	$\pi_j < 1$	$\pi_j \geq 1$
$\psi_j \approx \psi_j^{min}$	Sectores de bajo arrastre disperso	Sectores clave
$\psi_j \gg \psi_j^{min}$	Sectores de bajo arrastre concentrado	Sectores con arrastre concentrado

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 41).

**Cuadro A4.3**  
**Identificación de sectores clave tipo B**

	$\pi_j < 1$	$\pi_j \geq 1$
$\tau_i \geq 1$	Sectores estratégicos (o receptores)	Sectores clave
$\tau_i < 1$	Sectores independientes	Sectores impulsores

Fuente: Tomado de Schuschny (2005, p. 41).

Los sectores con altos encadenamientos hacia atrás y adelante, son considerados también como sectores clave (Tipo B), pues al ser fuertes demandantes y oferentes son sectores de paso obligado de los flujos intersectoriales. Los sectores estratégicos poseen baja demanda de insumos, pero abastecen sustantivamente de insumos a otros sectores. Son sectores que pueden constituir posibles cuellos de botella productivos, frente a shocks de demanda.

Los *sectores impulsores* o de *fuerte arrastre*, poseen bajos encadenamientos hacia delante y altos hacia atrás; impulsan a la economía, pues suelen poseer consumo intermedio elevado y una oferta de productos que mayoritariamente, abastece la demanda final. Por ello, pertenecen a la última fase del proceso productivo.

Los sectores considerados como *independientes* consumen una cantidad poco significativa de insumos intermedios y dedican la producción a satisfacer principalmente a la demanda final. Se trata de sectores aislados, que no provocan efectos de arrastre significativos en el sistema económico, ni reaccionan en forma relevante ante el efecto de arrastre, provocado por las variaciones de la demanda intermedia de otros sectores.

Bien podría considerarse como sector clave, uno que maximiza el incremento del empleo y minimiza la dependencia a las importaciones competitivas. La multiplicidad de objetivos que caracteriza el fenómeno del desarrollo económico impide que en un número reducido de sectores satisfaga todos los objetivos simultáneamente. De ahí que las metodologías descritas para identificar sectores clave constituyen una aproximación al problema y deberían ser complementadas con estudios de casos. A pesar de ello, no se debe desmerecer las posibilidades que nos brindan estas dos clasificaciones, como una guía para identificar sectores relevantes, más aún, cuando dicha detección puede hacerse a través de una representación gráfica bidimensional, a partir de matrices de insumo-producto con altos niveles de desagregación.

## **Anexo 11**

### **Diferentes escenarios de ingresos tarifarios y sus repercusiones sobre los periodos de recuperación**

Los ingresos tarifarios por rubros relacionados a la depreciación y rentabilidad de las unidades presentan una gran mejora para las decisiones de inversión de los concesionarios, pero puede reflejarse en efectos distributivos desde los estratos de población con menores ingresos a los concesionarios.

A diferencia de otros mercados, la actividad de transporte público mediante autobuses se lleva a cabo lejos de un mercado de competencia perfecta. El servicio se realiza mediante concesiones que permiten al operador el monopolio sobre la ruta, pero acorde a la regulación de la tarifa según la estructura de costos autorizada por la ARESEP (ente regulador).

Como se mostró en la sección 5.7, los ingresos por depreciación y rentabilidad presentan diferenciales entre tecnologías de hasta los USD 70.000 y desplazan los resultados obtenidos desde la metodología del TCO (VAN de USD 134.100 a favor de la tecnología diésel) a cifras mucho más alentadoras en escenarios con resultados de USD 147.300 a favor de las tecnologías eléctricas.

A pesar de que las metodologías tarifarias señalan el porcentaje específico de retribución anual, los concesionarios no realizan obligatoriamente cambios tarifarios de manera anual -ni de manera que permitan la continua actualización de la tarifa-. Esto genera que se mantengan los altos costos de rentabilidad y depreciación de años iniciales durante los años posteriores; generando mayores ganancias para los concesionarios y mayores tarifas para los usuarios.

Para evidenciar cómo cambian los ingresos anuales por la tardía actualización tarifaria se confecciona el siguiente cuadro, en el que se observa que los montos de rentabilidad inicial se mantienen y son mayores durante varios años, y así igualmente para años posteriores.

De manera alternativa, ARESEP considera realizar las retribuciones de depreciación acorde a una metodología lineal (es decir, el mismo porcentaje durante los 15 años). Este cambio generaría diferencias en la manera de remunerar la depreciación de la unidad, principalmente porque disminuye monto a pagar durante los primeros años posteriores al pago del bus, y los pagos recibidos durante la segunda mitad son mayores.

Este hecho puede causar distintos efectos: por una parte, puede beneficiar al usuario ya que los aumentos tarifarios serían más uniformes —ya que se reducen los costos de los años iniciales y se trasladan a años posteriores—; sin embargo, los concesionarios generalmente enfrentan las obligaciones de financiamiento durante los primeros 8 años de vida útil del bus, por lo que este método de remuneración puede afectar su capacidad de pago durante años iniciales.

Para cuantificar las diferencias en los ingresos debido a la aplicación de una depreciación lineal se confecciona el siguiente cuadro.

Dado que se deprecia el 100% del valor del bus, y además de brinda una rentabilidad del 13% del valor residual de la inversión, el concesionario se asegura mediante la metodología tarifa la retribución del total del gasto realizado.

Para analizar el periodo de tiempo en el que estos ingresos tarifarios permiten al concesionario recuperar la inversión realizada, se modelan los flujos relacionados y se traen a valor presente acorde a distintas tasas de descuento (3%, 8% y 12%). Los ingresos tarifarios, así como los ingresos descontados y la relación ingresos/precio (la cual indica la razón entre el VAN de los ingresos tarifarios sobre los USD 420.000 considerados para un bus eléctrico nuevo) se presentan en el cuadro A45.

**Cuadro A4.4**  
**Ingresos al operador de concesión por rentabilidad y depreciación de un bus eléctrico, acorde a ajustes atrasados**  
*(Miles de dólares)*

Miles de dólares	Unidad	Precio/valor	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ingresos por depreciación		Coeficientes	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
Eléctricos	1	419,0	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
Diésel	1	127,0	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Diferencial de ingresos por depreciación			33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Ingresos por rentabilidad del capital		Coeficientes	1,000	1,000	1,000	1,000	0,543	0,543	0,543	0,543	0,178	0,178	0,178	0,178	0,089	0,089	0,089	0,089
Tasa de rentabilidad	13,01%																	
Eléctricos	1	419,0	54,5	54,5	54,5	54,5	29,6	29,6	29,6	29,6	9,7	9,7	9,7	9,7	4,8	4,8	4,8	4,8
Diésel	1	127,0	16,5	16,5	16,5	16,5	9,0	9,0	9,0	9,0	2,9	2,9	2,9	2,9	1,5	1,5	1,5	1,5
Diferencial de ingresos por rentabilidad			38,0	38,0	38,0	38,0	20,6	20,6	20,6	20,6	6,8	6,8	6,8	6,8	3,4	3,4	3,4	3,4
Diferencias en ingresos totales			71,4	71,4	71,4	71,4	54,0	54,0	54,0	27,1	13,2	13,2	13,2	13,2	9,9	9,9	9,9	9,9

Fuente: Elaboración propia con base en información de ARESEP.

**Cuadro A4.5**  
**Ingresos descontados del operador por un bus eléctrico la relación ingresos/precio, acorde a la metodología tarifaria**  
*(Miles de dólares)*

	Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ingresos por depreciación		47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
Ingresos por rentabilidad		54,5	48,3	42,1	35,8	29,6	23,4	17,1	10,9	9,7	8,5	7,3	6,1	4,8	3,6	2,4	1,2
Ingresos tarifarios totales		102,4	96,2	89,9	83,7	77,5	71,2	65,0	20,2	19,0	17,8	16,6	15,4	14,2	12,9	11,7	10,5
Tasa de descuento:	12%	102,40	85,87	71,70	59,58	49,24	40,43	32,94	9,14	7,67	6,42	5,34	4,42	3,63	2,97	2,40	1,92
Relación ingresos/precio		24%	45%	62%	76%	88%	98%	106%	108%	110%	111%	112%	113%	114%	115%	116%	116%
Tasa de descuento:	8%	102,40	89,05	77,11	66,45	56,95	48,49	40,97	11,79	10,27	8,90	7,68	6,59	5,62	4,76	3,99	3,32
Relación ingresos/precio		24%	46%	64%	80%	94%	105%	115%	118%	120%	122%	124%	126%	127%	128%	129%	130%
Tasa de descuento:	3%	102,40	93,37	84,78	76,61	68,84	61,46	54,45	16,43	15,00	13,63	12,34	11,10	9,93	8,81	7,76	6,75
Relación ingresos/precio		24%	47%	67%	85%	102%	116%	129%	133%	137%	140%	143%	146%	148%	150%	152%	154%

Fuente: Elaboración propia con base en información de ARESEP.

Nota: la relación ingresos/precio se realiza considerando un precio de USD 420.000.

**Cuadro A4.6**  
**Ingresos descontados del operador por un bus eléctrico y la relación ingresos/precio, acorde a ajustes atrasados**  
*(Miles de dólares)*

	Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ingresos por depreciación		47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
Ingresos por rentabilidad		54,5	54,5	54,5	54,5	29,6	29,6	29,6	29,6	9,7	9,7	9,7	9,7	4,8	4,8	4,8	4,8
Ingresos tarifarios totales		102,4	102,4	102,4	102,4	77,5	77,5	77,5	38,9	19,0	19,0	19,0	19,0	14,2	14,2	14,2	14,2
Tasa de descuento:	12%	102,40	102,40	102,40	102,40	77,48	77,48	77,48	38,90	19,00	19,00	19,00	19,00	14,16	14,16	14,16	14,16
Relación ingresos/precio		24%	46%	66%	83%	95%	105%	115%	119%	121%	122%	124%	125%	126%	127%	128%	128%
Tasa de descuento:	8%	102,40	102,40	102,40	102,40	77,48	77,48	77,48	38,90	19,00	19,00	19,00	19,00	14,16	14,16	14,16	14,16
Relación ingresos/precio		24%	47%	68%	87%	101%	114%	125%	131%	133%	135%	137%	139%	141%	142%	143%	144%
Tasa de descuento:	3%	102,40	102,40	102,40	102,40	77,48	77,48	77,48	38,90	19,00	19,00	19,00	19,00	14,16	14,16	14,16	14,16
Relación ingresos/precio		24%	48%	71%	94%	110%	126%	141%	149%	153%	156%	159%	163%	165%	167%	170%	172%

Fuente: Elaboración propia con base en información de ARESEP.

Nota: La relación ingresos/precio se realiza considerando un precio de USD 420.000.

Acorde a los pagos definidos por la metodología tarifaria (cuadro adjunto), la cantidad de ingresos captados mediante depreciación y rentabilidad de la inversión son suficientes para hacer que la relación ingresos/precio sea recuperada entre el año 5 y 7, dependiendo de la tasa de descuento utilizada.

Se evidencia que los ingresos tarifarios por depreciación y rentabilidad de una unidad permiten recuperar entre un 173% - 113% de la inversión al final de los 15 años, con tasas de descuento entre 0% - 13,01% respectivamente.

Por su parte, en un escenario en el que los ingresos por rentabilidad puedan mantenerse durante algunos años gracias a ajustes tarifarios tardíos, los ingresos tarifarios son mayores y permiten al concesionario recuperar la inversión entre el año 4 y el año 5 del periodo de inversión, dependiendo de la tasa de descuento.

Esto evidencia la importancia de que la fijación de tarifas pueda realizarse de manera automática, con aumentos/disminuciones programadas según la edad de la flota o acorde a una fijación fija anual o semestralmente. De manera que los costos por ingresos y rentabilidad se atribuyan acorde a la edad real del bus.

Es importante recalcar que, dado que estos ingresos se calculan de manera porcentual acorde a coeficientes de depreciación y rentabilidad, los periodos de recuperación son similares en las unidades diésel, por lo que esta problemática de ajustes de tarifas sucede indiferentemente de la tecnología del bus. Sin embargo, si se consideran los ahorros adicionales en mantenimiento, combustible y repuestos de los autobuses eléctricos, el periodo de recuperación de las tecnologías eléctricas puede ser menor al de las tecnologías convencionales.



En este estudio de impacto económico, social, ambiental y financiero de la incorporación de autobuses eléctricos en Costa Rica se incluyen simulaciones que muestran el comportamiento futuro de la flota de autobuses ante el avance de la electrificación en diferentes escenarios, así como una evaluación de su rentabilidad financiera y económica mediante el análisis convencional de rentabilidad —con el costo total de la propiedad— y una innovadora modelización que incorpora la variable regulatoria —que suele quedar fuera de las metodologías usualmente aplicadas en estudios económicos sobre la materia— para precisar las particularidades del caso de Costa Rica. El modelo de análisis conformado arroja uno de los hallazgos más trascendentes de este estudio: para Costa Rica resulta positiva la viabilidad financiera “regulada” de la incorporación de autobuses eléctricos. Esos resultados aportan una perspectiva de oportunidades que justifican las inversiones y el financiamiento para viabilizar el recambio de la flota de buses sostenibles en el país. El estudio simula y muestra los niveles resultantes respecto de indicadores económicos de rentabilidad para varias alternativas, y ofrece diferentes instrumentos de política que podrían establecerse como mecanismos de internalización para potenciar la rentabilidad financiera privada y con ello mitigar el impacto tarifario sobre los usuarios, sin comprometer el estado de las finanzas públicas.