



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE RENOVAR UN 30% DE TAXIS
COLECTIVOS URBANOS POR AUTOS ELÉCTRICOS EN CHILE**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

JORGE NICOLÁS VILLA CONTARDO

PROFESOR GUÍA:
PATRICIO VALENZUELA AROS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SEBASTIÁN MILLER ASTETE
ALESSANDRA PIZZO

SANTIAGO DE CHILE
2020

FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE RENOVAR UN 30 % DE TAXIS COLECTIVOS URBANOS POR AUTOS ELÉCTRICOS EN CHILE

En el presente trabajo de tesis se investigó sobre los mercados de electromovilidad y de taxis colectivos urbanos en Chile. En particular, se buscó determinar la factibilidad económica de renovar un 30 % de colectivos por autos eléctricos, para así disminuir el nivel de emisiones contaminantes generadas por el uso de combustibles fósiles.

La primera parte de la tesis estuvo enfocada en entender la organización industrial del mercado de taxis colectivos. Luego, se comprendieron los factores relevantes y los agentes clave que están relacionados con la electromovilidad en Chile.

Con esta información se definieron potenciales barreras de entrada que afectan a la decisión de comprar vehículos eléctricos, considerando aspectos que atañen a los dueños de taxis colectivos. En esta parte destacaron los precios de los automóviles, el nivel de infraestructura de carga en Chile, la cantidad de servicios técnicos presentes en regiones, entre otras. Después, se utilizaron estas barreras como input para construir una estructura de costos, sobre la cual fue posible optimizar aquellos componentes que más incentivos otorgaban al dueño del vehículo.

La optimización permitió proponer un programa de incentivos para 984 dueños de taxis colectivos, donde se otorgaría un subsidio al precio del auto eléctrico igual al 42.1 % (valor de referencia M\$27.990 CLP). Además, incluiría un subsidio de 82.3 % asociado al costo de instalación de puntos de carga en los hogares de los beneficiarios, con un valor de M\$1.400 CLP como base. Otras propuestas son ofrecer un apoyo económico de \$150.000 CLP en caso de falla del vehículo a máximo 79 dueños de taxis colectivos, e incluir un subsidio de 2.6 % al costo de recargar las baterías por 2 años.

Esto implicaría una inversión nacional de MM\$12.715 CLP en un plazo de 5 años, lo que equivale al 0.001 % del PIB (2019), muy por debajo de lo que han invertido otros países pioneros en electromovilidad. Los resultados muestran que no es factible renovar un 30 % de taxis colectivos, puesto que se necesitaría una inversión de MM\$201.931 CLP, equivalente al 0.017 % del PIB de 2019 (considerar un gasto en transporte de 1.85 % del PIB para ese año). Los beneficios sociales estimados con el programa corresponden a MM\$1.261 CLP (9.9 % de los costos totales), según los cálculos de emisiones de CO₂, NO_x y material particulado (MP).

A pesar de que el modelo puede no estar incorporando limitantes relacionadas con ambos mercados, aporta intuiciones sobre lo que se podría hacer para seguir la línea de lo planteado en la Estrategia Nacional de Electromovilidad para 2050, la cual considera como uno de sus focos centrales el desarrollo de movilidad eléctrica en el transporte público.

Disfrutar los pequeños momentos de la vida

Siempre alegre

Agradecimientos

Mamá, te agradezco por haber hecho el rol de madre y padre durante todos estos años de la mejor manera posible. Me has hecho crecer como una persona independiente, me has enseñado valores y me has ayudado a formarme como hombre frente a lo que nos ha entregado la vida. Eres la mejor mamá de todas, sin importar nuestras diferencias.

Hermano, gracias por estar ahí siempre. Eres una gran persona y agradezco haber crecido viéndote como una figura a seguir. He aprendido muchas cosas de ti y creo que has hecho una gran labor a nivel profesional, como padre y como hermano.

Tío, gracias por acompañarme en mi proceso de formación como la figura paterna de la familia. Ha tenido un rol fundamental en varios aspectos de mi vida como consejero, acompañante y guía. Pienso que, sin su presencia, hubiese notado el hecho de no haber conocido a mi padre, así que muchas muchas gracias por estar ahí.

Rafita, gracias por darme la alegría de ser tu tío y por siempre estar con una sonrisa cuando te veo. Y a ti Coni, gracias por ser la mejor mamá que pudo tener mi sobrino y por acompañar a mi hermano durante todos estos años.

Tía pili y tía Sandra, gracias a ambas por ser tan alegres siempre que tenemos nuestras juntas familiares. Es bueno saber que no han perdido ese entusiasmo que las caracteriza y han buscado mantener junta a la familia. Tía Rosa Luz, he notado desde niño su preocupación por mí, y es algo que le agradezco profundamente.

Javier, Denisse y Diego, les agradezco por entregarme la cuota de juventud en la familia. Las reuniones familiares no serían lo mismo sin ustedes. Y gracias, Javier, por ser motivado siempre con las salidas y viajes que hemos tenido.

Gracias a ustedes José, Nati, Angélica, Benja, Yerko, Pablo, Nicole, Lucas, Tere, Marco, Ani, Diego, Eybie, Agustín y Pipe, por ser un gran grupo de personas con quienes he podido viajar, reír, disfrutar, y, por qué no, vacilar. Tuve la suerte de poder ser parte de la serie y sentirme cómodo en todas las temporadas que he vivido con ustedes.

Agradezco a las personas que conocí en bachi, con quienes sigo teniendo una relación que ha sido muy grata durante todos estos años. Si no los hubiese conocido cuando empezó este proceso, quizás podría haber sido todo más difícil. Un especial agradecimiento a ustedes Arantza, Diegopin, Fran, Diegosil, Coni, Morín, Nacha, Gabo, Esteban, Flo, Mabel, Juanjo, Marce, China, por ser siempre naturales conmigo.

A mis más cercanos de industrias, Gabriel, Marya, Carlos, Javi, Felipe, Montse, Josefa, Maca, gracias por demostrarme que la universidad no fue sólo para sacar una carrera, sino que también para disfrutar de muy buenos momentos.

Les agradezco por su apoyo para la realización de la tesis y por el tiempo dedicado a ayudarme a Sebastián Miller (BID), Alessandra Pizzo (Universidad de Chile), Patricio Valenzuela (Universidad de Chile), Cristián Navas (BID), Richard Mix (BID), Maximiliano Rodríguez (Thunder Chile), Pablo Lastra (dueño de taxi colectivo en Traiguén) y Luis Clavel (Nissan).

Gracias CNV y San Borja City por darme la alegría de vivir la pasión del fútbol. Gracias Danilo y Franco por ser de esos amigos que se conocen de cabros chicos y no se separan. Gracias a esas personas que conocí en scout y con quienes sigo conversando hasta ahora.

Por esto y por mucho más, ¡gracias totales!

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos de tesis	2
1.2. Metodología	3
2. Emisiones contaminantes de vehículos convencionales	5
2.1. Impuestos verdes y emisiones de NOx	6
2.2. Efectos ambientales y en la salud por causa de las emisiones contaminantes	7
3. Taxis colectivos	8
3.1. Regulación del mercado	10
3.2. Organización industrial del mercado	10
3.3. Entrevista con conductor de colectivo en Región de La Araucanía	19
4. Electromovilidad	21
4.1. Estrategia Nacional de Electromovilidad para 2050	22
4.2. Autos eléctricos	25
4.2.1. Puntos clave para el posicionamiento de los autos eléctricos en el mercado	26
4.2.2. ¿En qué consiste un automóvil eléctrico?	27
4.2.3. Baterías	29
4.2.4. Mantenimiento	32
4.2.5. Ventas y otros datos relevantes del mercado de autos eléctricos	32
4.2.5.1. Desde la perspectiva latinoamericana y mundial	33
4.2.5.2. Desde la perspectiva chilena	36
4.2.6. Precio de los autos eléctricos	37
4.2.7. Actores que interactúan sobre el mercado de autos eléctricos	40
4.2.7.1. Transporte público	40
4.2.7.2. Consumidores	41
4.2.8. Chile productor de insumos para baterías de autos eléctricos	41
4.3. Iniciativas e instrumentos financieros usados para fomentar la electromovilidad	42
4.3.1. Países de Europa y Canadá	42
4.3.2. Latinoamérica	45
4.3.3. Chile	47
4.3.3.1. Taxis eléctricos	47
4.3.3.2. Renueva Tu Micro	48
4.3.3.3. Renueva Tu Colectivo	48
4.4. Puntos de carga	50
4.4.1. Diferentes tipos de puntos de recarga	51

4.4.2.	Costos de instalación de un punto de recarga	52
4.4.3.	Cantidad de puntos de carga disponibles	54
4.4.4.	Uso de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y electromovilidad .	56
4.4.5.	Penetración de electromovilidad en la matriz energética	57
5.	Discusión de la información recopilada	58
5.1.	Comentarios generales	58
5.2.	Actores principales de los mercados de taxis colectivos y autos eléctricos	61
5.3.	Potenciales barreras de entrada	62
5.3.1.	Inversión inicial	63
5.3.2.	Infraestructura de carga en el país	63
5.3.3.	Servicio técnico en regiones	63
5.3.4.	Problemas con Sistema Eléctrico Nacional (SEN)	64
5.3.5.	Demora en la entrega del subsidio	64
5.3.6.	Cultura social sobre vehículos eléctricos	64
5.3.7.	Trabajo en conjunto entre entidades públicas y automotoras y concesionarias	65
5.3.8.	Estallido social y COVID-19 en Chile	65
5.4.	Estructura de costos	66
5.4.1.	Definición del modelo de costos para el programa	67
5.4.1.1.	Subsidio al precio del vehículo eléctrico	68
5.4.1.2.	Apoyo económico en caso de falla	68
5.4.1.3.	Subsidio a los costos para cargar vehículo eléctrico	68
5.4.1.4.	Subsidio a la instalación de puntos de recarga	69
5.4.1.5.	Parámetros basales del modelo	69
5.4.2.	Flujos de caja sin subsidio	70
5.4.2.1.	Estimación de ganancias anuales	70
5.4.2.2.	Taxi colectivo convencional sin subsidio	71
5.4.2.3.	Taxi colectivo eléctrico sin subsidio	72
5.4.3.	Restricciones el modelo	73
5.4.4.	Taxis colectivos eléctricos con subsidio	75
5.4.5.	Resultados de la optimización por región	76
5.4.6.	Análisis de sensibilidad	79
5.5.	Estructura de beneficios sociales	81
5.5.1.	Beneficios sociales por disminución de emisiones de CO2	81
5.5.2.	Beneficios sociales por disminución de emisiones de NOx	82
5.5.3.	Beneficios sociales por disminución de emisiones de MP	82
5.5.4.	Beneficios sociales totales	83
5.6.	Breve análisis macroeconómico	84
6.	Propuestas y recomendaciones	86
6.1.	Propuestas generales	86
6.2.	Propuestas sobre la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos	87
7.	Conclusiones	90
	Bibliografía	92
	Anexo A. Información adicional	97

Índice de Tablas

2.1.	Resumen de emisiones contaminantes generadas en un auto convencional.	6
3.1.	Taxis y colectivos en Chile según servicio (marzo 2020).	9
3.2.	Parque de colectivos, parque de buses urbanos, antigüedad promedio y relación entre ambos sectores para cada región de Chile.	11
3.3.	Regiones y comunas donde se presentan las 10 líneas con más flotas de taxis colectivos en Chile (marzo 2020).	13
3.4.	Cantidad de colectivos con 9 o más años de antigüedad en regiones (marzo 2020).	14
3.5.	Ofertas de modelos (#M) para las diferentes marcas usadas como taxis colectivos en Chile (marzo 2020).	17
3.6.	Modelos vendidos como taxis colectivos entre 2018 y 2020 (CLP).	18
4.1.	Comparación entre vehículo convencional y vehículo eléctrico.	29
4.2.	Stock de vehículos eléctricos e híbridos entre 2013 y 2017 (en miles). Más información en Anexo A.2.	33
4.3.	Los 10 países con más ventas de BEV en el primer semestre del 2019.	34
4.4.	Participación de mercado (%) de BEV y HEV entre 2013 y 2017.	35
4.5.	Participación de vehículos eléctricos en el mercado automotriz chileno entre 2012 y 2019.	37
4.6.	Montos (en miles de CLP) de Renueva Tu Colectivo en Chile.	49
4.7.	Montos promedios (CLP) entregados para renovar taxis colectivos con más de 8 años de antigüedad por Renueva Tu Colectivo en Chile.	50
4.8.	Ofertas de recarga de electrolinería manejada por Copec Voltex.	52
4.9.	Costos de instalación (en miles CLP) de puntos de carga en Chile.	53
4.10.	Infraestructura de carga por país, según la cantidad de cargadores (lentos y rápidos) de acceso público entre 2013 y 2017.	54
4.11.	Puntos de carga públicos de Enel X y Copec Voltex en Chile (2020).	55
5.1.	Variables incluidas la estructura y valores para Arica y Parinacota.	67
5.2.	Ingresos promedios (CLP) de los conductores de colectivos contando 26 días de trabajo mensuales.	70
5.3.	Valores del mercado de taxis colectivos con combustión interna.	71
5.4.	FC para el negocio de taxis colectivos con combustión interna (MM\$CLP).	72
5.5.	Valores del mercado de taxis colectivos eléctricos sin subsidio.	72
5.6.	FC para el negocio de taxis colectivos eléctricos sin subsidio (MM\$CLP).	73
5.7.	Valores del mercado de taxis colectivos eléctricos con subsidio. Ejemplo de resultados para Arica y Parinacota.	75
5.8.	FC para el negocio de taxis colectivos eléctricos con subsidio (MM\$CLP). Ejemplo para Arica y Parinacota.	76
5.9.	Resultados optimización del modelo. Subsidio al precio del vehículo eléctrico (M\$CLP).	77

5.10.	Resultados optimización del modelo. Subsidio a la instalación de puntos de carga, a costos de recargar y apoyo en caso de falla (M\$CLP).	78
5.11.	Montos óptimos (CLP) en Chile. Más información en Anexo A.6.	79
5.12.	Análisis de sensibilidad para Arica y Parinacota.	79
5.13.	Análisis de sensibilidad respecto al VAN para Arica y Parinacota.	80
5.14.	Variables relacionadas con los beneficios sociales de CO2.	81
5.15.	Variables relacionadas con los beneficios sociales de MP.	82
5.16.	Beneficios sociales totales por región (M\$CLP).	83
5.17.	Indicadores macroeconómicos de países 2019 (USD).	84
5.18.	Comparación de inversión en electromovilidad.	85
A.1.	Cantidad de líneas de taxis colectivos con N cantidad de vehículos en su flota para marzo del 2020, desagregado por regiones.	97
A.2.	Stock (miles) de BEV y HEV entre 2013 y 2017.	97
A.3.	Montos asociados al subsidio del Programa Renueva Tu Colectivo (en pesos chilenos), con enfoque en vehículos a gasolina.	98
A.4.	Montos asociados al subsidio del Programa Renueva Tu Colectivo (en pesos chilenos), con enfoque en vehículos a diésel.	98
A.5.	Montos asociados al subsidio del Programa Renueva Tu Colectivo (en pesos chilenos), con enfoque en vehículos híbridos.	98
A.6.	Montos óptimos (M\$CLP) para el total de las regiones.	99
A.7.	Análisis de sensibilidad de resultados en la Región Metropolitana, respecto a las variaciones del monto total del programa.	99

Índice de Ilustraciones

3.1.	Cantidad de líneas de taxis colectivos por región (marzo 2020) [EP]	12
3.2.	Líneas de taxis colectivos con N cantidad de vehículos en su flota (marzo 2020). Ejemplo: En Chile existen 14 líneas que tienen 1 o 2 autos [EP].	12
3.3.	Número de taxis colectivos según años de antigüedad (marzo 2020) [EP].	14
3.4.	Marcas posicionadas como taxi colectivo en Chile (marzo 2020)[EP].	15
3.5.	Marcas más usadas en regiones I, II, III, IV [EP].	15
3.6.	Marcas más usadas en regiones V, VI, VII, VIII [EP].	16
3.7.	Marcas más usadas en regiones IV, X, XI, XII [EP].	16
3.8.	Marcas más usadas en RM, XIV, XV, XVI [EP].	17
3.9.	Modelos usados como taxis colectivos en Chile (marzo 2020) [EP].	18
4.1.	Emisiones de CO2 del transporte en la Unión Europea (2016) [21].	21
4.2.	Meta de la Estrategia Nacional de Electromovilidad para el 2050 [6].	23
4.3.	Resumen de las partes del vehículo eléctrico [14]..	27
4.4.	Evolución del precio de las baterías (USD) entre 2010 y 2020 [26]..	30
4.5.	Tendencias de cantidad de automóviles eléctricos (en todas sus variedades) y de costos de baterías [24].	31
4.6.	Proyección de los costos de las baterías [30].	31
4.7.	Ventas totales de vehículos eléctricos en el mundo (miles) desde el 2010 hasta finales del primer semestre de 2019 [4].	34
4.8.	Matrículas registradas para autos eléctricos en Latinoamérica durante 2019 [2].	35
4.9.	Los 10 mayores fabricantes de autos eléctricos durante el primer semestre del 2019 (en miles) [4].	36
4.10.	Venta anual de BEV entre 2012 y 2019 en el mundo [2].	37
4.11.	Vehículos eléctricos más vendidos en Chile para 2018 (CLP) [33].	38
4.12.	Comparación entre precios de Chile respecto a Europa (2020). Valores europeos calculados con un valor del Euro igual a \$887.61 CLP [EP].	39
4.13.	Resumen de incentivos en países latinoamericano hasta 2018 [26].	45
4.14.	Lugares donde se puede recargar el vehículo eléctrico [54].	51
4.15.	Costo de infraestructura de carga (dólares) para USA en 2018 [26].	53
4.16.	Mapa de electrolíneas en Chile para el 2020 [57].	56
5.1.	Mapa de actores principales asociados a la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos [EP].	61

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad se está viviendo un proceso de cambios a nivel mundial en materias de energías renovables. Muchos países han puesto en su agenda política este asunto pensando en los efectos que se han originado por el calentamiento global. Teniendo en consideración que el nivel productivo actual está siendo un principal impulsor para el cambio climático al generar mayor contaminación desde los procesos industriales, **se hace necesario tomar medidas que permitan disminuir los niveles de emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera**, para que en el mediano y largo plazo se pueda controlar el daño ambiental (ONU, 2017)[1]. Los gases de efecto invernadero son componentes que se liberan a la atmósfera, los cuales absorben y emiten radiación, y alteran el equilibrio térmico del planeta al no permitir que la radiación se refleje en la Tierra y vuelva al espacio, lo que explica parte del calentamiento global (AVEC, 2019)[2].

Es por esto que algunos países han decidido tomar la iniciativa sobre cómo disminuir estas emisiones mediante lo que actualmente se conoce como electromovilidad. *“En diversos países los vehículos a combustibles fósiles tienen los días contados. Francia ha anunciado que prohibirá la venta de autos a combustión en 2040, mientras que Dinamarca, Irlanda, Alemania y Holanda quieren lograrlo el 2030 y Noruega el 2035 a más tardar”* (Revista EI, 2018)[3]. **Todos estos países han fomentado el uso de autos eléctricos para sus residentes y para el transporte público.**

Según datos de Granda (2019)[4], China, Estados Unidos, Noruega y Alemania se posicionan entre los 10 países con mayor cantidad de ventas de autos eléctricos hasta el primer semestre del 2019. En el caso de China se habían vendido 430.700 unidades hasta ese periodo, en Estados Unidos 116.200 unidades, y en Noruega y Alemania 36.300 y 33.000 unidades, respectivamente. En ese mismo sentido, ha existido un **aumento progresivo en las ventas mundiales de vehículos eléctricos**: en 2017 se vendieron 200.000 unidades, en 2018 fueron 397.000 unidades y para 2019 se lograron vender 765.000 unidades, lo que demuestra la tendencia del mercado.

Chile no se ha quedado atrás y hace algunos años ha empezado a incorporar electromovilidad al sistema de transporte público. Por ejemplo, lo hizo el 2019 en la Región Metropolitana cuando adquirió 100 nuevos buses eléctricos que reemplazarían algunos vehículos del sistema RED (ex Transantiago). *“Este nuevo hito para la movilidad eléctrica se enmarca en el contexto de la transición energética que Enel (Empresa Nacional de Electricidad) está liderando en el país, de la mano del compromiso con la descarbonización y el desarrollo de centrales renovables”* (Agenda País, 2019)[5].

A comienzos del 2018 el Ministerio de Energía elaboró la nueva Estrategia Nacional de Electromovilidad que busca mejorar la eficiencia energética en Chile, además de intentar disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). En este programa se definen algunos lineamientos para **lograr que un 40 % de vehículos particulares y el 100 % del transporte público sean completamente eléctricos en el 2050** (Ministerio de Energía, 2017)[6].

Dado lo anterior, en este documento se ha propuesto estudiar la factibilidad económica de incluir autos eléctricos en el mercado de taxis colectivos urbanos a nivel país, para así disminuir el uso de vehículos convencionales. **El parque de colectivos urbanos en marzo del 2020 era de 51.749 vehículos en todo el país** (MTT, 2020)[7], por lo que un cambio de mentalidad en los conductores hacia una mirada sustentable, al decidir comprar autos eléctricos por sobre vehículos que funcionan con combustible, puede disminuir la cantidad de emisiones totales del país. Esta perspectiva sustentable podría verse favorecida con la implementación de incentivos fiscales focalizados hacia la compra de vehículos menos contaminantes.

La presente tesis de postgrado se puede resumir en la siguiente pregunta de investigación: **¿Es viable económicamente renovar un 30 % de autos eléctricos en el mercado de taxis colectivos urbanos en Chile?**, donde la factibilidad tiene relación con el costo monetario de entregar incentivos suficientes comparado con lo que ha invertido hasta la fecha. El porcentaje tiene relación con la cantidad de vehículos con más de 8 años de antigüedad que existen en el parque de colectivos (MTT, 2020)[7]. Así mismo, como al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) le interesa estudiar temas de electromovilidad en la región, ha manifestado su intención de avanzar en movilidad eléctrica en el transporte público a nivel nacional. Entonces, existen sinergias entre este estudio y sus motivaciones, por lo que ha entregado apoyo en el análisis presentado.

Cabe señalar que, en este análisis no se consideran detalles de los efectos económicos causados por el estallido social chileno ni los posibles cambios macroeconómicos generados por la pandemia del COVID-19. Esto se debe a que los datos utilizados son anteriores a ambas situaciones y sus efectos son desconocidos hasta la fecha, situación que no permite generar proyecciones a largo plazo por solo tratarse de estimaciones. Aun así, en el apartado de recomendaciones se enumeran algunos puntos que pueden ser relevantes al momento de tomar decisiones sobre electromovilidad dadas las nuevas condiciones económicas.

1.1. Objetivos de tesis

Este estudio busca analizar aquellos factores más relevantes en relación con el mercado de autos eléctricos, el sistema de transporte público de cada región y los aspectos financieros que pueden estar involucrados en la idea de potenciar la electromovilidad a nivel nacional. Por tanto, el **objetivo general** es determinar la factibilidad económica de renovar un 30 % de taxis colectivos por autos eléctricos en el sistema de transporte público nacional. Ahora bien, los **objetivos específicos** son:

1. Identificar cómo se comporta el sistema de transporte público en cada región del país, enfocado en los colectivos urbanos de cada zona. Esto permitirá entender la organización industrial del mercado, sus agentes clave y sus características principales. Además, es parte del objetivo el determinar cuáles son los factores relevantes al momento de decidir comprar un auto eléctrico por sobre uno que funciona con combustión interna. Incluyen temas técnicos, como la factibilidad de instalar puntos de recarga en ciertos lugares, la autonomía de los vehículos,

las distancias que recorren por tiempo de carga de las baterías, entre otros. Este objetivo será esencial para visualizar toda la información asociada a la electromovilidad.

2. Estudiar cuáles son las potenciales barreras de entrada que pueden limitar el ingreso de vehículos eléctricos al parque automotriz nacional y analizar cómo estas barreras desincentivan la renovación de taxis colectivos por automóviles con propulsión eléctrica.
3. Estructurar los costos óptimos de generar incentivos económicos involucrando las barreras de entrada definidas, para así construir un programa nacional que entregue beneficios para aquellos dueños de taxis colectivos que decidan renovar por autos eléctricos.
4. Generar propuestas y recomendaciones desde la optimización de costos, considerando cada aspecto relevante estudiado en la tesis y las proyecciones económicas del mercado.

1.2. Metodología

La tesis está dividida en diferentes capítulos que permiten recopilar la mayor información que sea posible, de manera que las conclusiones que se entreguen estén lo suficientemente fundamentadas.

1. En primera instancia se realizará un análisis de la información y los datos que estén disponibles en internet, la cual debe estar relacionada con los objetivos específicos que fueron mencionados en la sección anterior. Se revisarán investigaciones sobre proyectos implementados a nivel nacional e internacional, con foco en países que han invertido en electromovilidad en todo el globo, buscando aquellos lugares que tengan un mayor parecido a lo que ocurre actualmente en el país.

Luego, se podrán comparar los puntos más importantes de estas zonas con lo que podría llegar a suceder en Chile si se implementaran proyectos similares a lo investigado. Para esto se revisarán noticias, papers, proyectos de tesis, sitios web de electromovilidad, y otros documentos similares para crear un marco conceptual que permita generar la base del estudio.

En paralelo a lo anterior, se tendrán conversaciones con agentes clave en los temas de electromovilidad y de transporte público nacional e internacional. Esto se realizará a través de reuniones donde se pueda recabar información distinta a la escrita en los documentos para entender aquellos puntos que no se hayan descrito en estos datos. Se entablarán conversaciones sobre el tema con diferentes instituciones, como por ejemplo, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT), Nissan, Thunder Chile, Copec Voltex, Coordinador Eléctrico Nacional, Banco Estado, entre otras.

2. Se realizará un cruce de información entre los datos de colectivos urbanos nacionales y el mercado de autos eléctricos, lo que permitirá comprender los aspectos más relevantes de potenciales barreras de entradas asociadas a la pregunta de investigación. Para ello se discutirán globalmente cada uno de los puntos estudiados en la recopilación de datos.
3. Se creará una estructura de costos que involucre estas barreras, sobre la cual se realizarán optimizaciones de los parámetros que se consideren en el modelo. Para ello, se tomará como base la discusión del punto anterior, lo que permitirá comprender si es factible renovar el

30 % de taxis colectivos urbanos por autos eléctricos.

La optimización se hará en el software Excel a través de la herramienta Solver, donde se incluirán los estudios de las diferencias de rentabilidad esperada para el negocio de un taxi colectivo eléctrico y uno convencional. Todo esto desde el análisis de flujos de caja y Valor Actual Neto (VAN).

Con los parámetros optimizados se definirán los costos y beneficios sociales asociados al modelo, y se comparará respecto a lo que han hecho otros países en materia de electromovilidad.

4. Por último, a partir de todos los resultados obtenidos en la optimización y desde los datos recopilados, se entregarán propuestas con miradas hacia el futuro del transporte público nacional. Estas ideas estarán relacionadas con los 4 objetivos específicos, para luego concluir sobre la factibilidad que presenten las alternativas planteadas.

Capítulo 2

Emisiones contaminantes de vehículos convencionales

Para contextualizar el análisis de la tesis, **se debe considerar que al existir combustión interna en los vehículos convencionales se generan contaminantes que son expulsados a la atmósfera.** Los principales son dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (NO_x) y diferentes materiales particulados (Pérez, 2017)[8].

Hay diferentes formas de medir el nivel de emisiones según las fuentes de estudio que se utilicen. Por ejemplo, existen análisis asociados a la tecnología del vehículo, calidad del combustible, nivel de mantenimiento y de la manera en que se conduce. Una persona que maneja su automóvil de manera agresiva, a altas velocidades, con aceleraciones y frenados bruscos/repentinos, genera un mayor gasto de combustible que aquellos conductores más precavidos (Colprensa, 2018)[9].

En efecto, según datos de Colprensa (2018)[9]:

- Un vehículo emite 271 gCO₂/km por pasajero.
- Mantener el automóvil en buen estado aumenta el rendimiento de gasolina en 4 %.
- El consumo de gasolina aumenta al sobrepasar los 80 km/h.
- Los camiones generan 158 gCO₂/km más por pasajero, respecto a los vehículos ligeros.

El Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) ha generado una base de datos con el nivel de emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido de los autos convencionales. En ella se observa que **el promedio de emisiones para contaminantes globales corresponde a 187 gCO₂/km** y que los autos registrados tienen un promedio de rendimiento de 10.4 km/L (MTT, 2020)[10].

En relación con el material particulado que emiten los automóviles, es relevante mencionar que está regulado por algunas normativas, como Euro IV, Euro V, etc. Por ejemplo, **los vehículos Euro IV emiten 0.025 g/km de material particulado, los Euro V emiten 0.0005 g/km y los Euro VI (norma más reciente) emiten 0.000045 g/km** (AdBlue, 2017)[11]. Para el caso chileno, desde el parque automotriz establecido en la página del Ministerio de Transporte, se calcula que un 41.86 % tienen norma Euro IV, un 58.03 % son Euro V y un 0.11 % son Euro VI (MTT, 2020) [10].

2.1. Impuestos verdes y emisiones de NOx

En Chile existe el impuesto verde a fuentes móviles incluido en la Reforma Tributaria del 2014, el cual define un **impuesto que grava la primera venta de vehículos** motorizados nuevos, livianos y medianos, según su rendimiento urbano y las emisiones contaminantes. Tiene dos objetivos principales: (i) incentivar el ingreso de vehículos que contaminen menos y (ii) lograr que las personas tomen conciencia de la contaminación que están generando (AVEC, 2019)[2].

El valor de este impuesto es distinto para cada tipo, modelo de vehículo y el valor de compra, además de variar dependiendo de las emisiones de NOx, su rendimiento urbano, su capacidad de carga y el número de asientos. El Servicio de Impuestos Internos (2017)[12] tiene a disposición el Código de Informe Técnico (CIT), el cual posee datos estandarizados por tipo y modelo de vehículo, lo que permite consultar esta información al momento de pagar el impuesto. Por ejemplo, un Chevrolet Sail con un valor de \$10.000.000 debe pagar un impuesto de 3.67 UTM, debiendo ser pagado directamente a la Tesorería General de la República.

Desde este documento se puede obtener el promedio de emisiones de NOx para todos los vehículos descritos como automóviles (los cuales son diferentes a camiones, furgones, camionetas y buses). Al hacer este ejercicio se concluye que **los autos ligeros generan 0.301181 gramos de NOx por kilómetro recorrido (gNOx/km)**.

En resumen, usar vehículos convencionales generan las siguientes emisiones (y otras, en menor medida):

Tabla 2.1: Resumen de emisiones contaminantes generadas en un auto convencional.

Componente	Nivel de emisiones
CO2	187 g/km
NOx	0.301181 g/km
MP (Euro IV)	0.025 g/km
MP (Euro V)	0.0005 g/km
MP (Euro VI)	0.000045 g/km

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que estos valores no se ven tan elevados, habrá que determinar el efecto total de usar vehículos convencionales a través de la totalización de kilómetros recorridos por taxis colectivos urbanos, lo cual será realizado en próximas secciones del documento. Ahora, **¿qué efectos ambientales y en la salud ocurren con este tipo de emisiones?**

2.2. Efectos ambientales y en la salud por causa de las emisiones contaminantes

Las principales consecuencias están asociadas a **efectos medio ambientales provocados por el calentamiento global**. Este es un fenómeno que está directamente relacionado con el uso de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero. Algunos ejemplos de estas situaciones son el aumento del nivel del mar por el derretimiento de glaciares, una mayor frecuencia de olas de calor que afectan directamente a los seres vivos del planeta, mayor cantidad de tormentas por el aumento en la temperatura del mar, entre otros (Sánchez, 2016)[13].

Cada uno de estos ejemplos **afecta a las personas de manera directa o indirecta**, ya que, por ejemplo, el calentamiento global disminuye el agua dulce y aumenta los niveles de sequías, lo que dificulta directamente a la agricultura y a la producción de nuestros alimentos. También sucede que las temperaturas más cálidas, sequías u otros fenómenos naturales, al combinarse crean el clima perfecto para la propagación de plagas, ratas y mosquitos, trayendo consigo un sin número de enfermedades que pueden poner en jaque el diario vivir de las personas (Sánchez, 2016)[13].

Con estas características, es posible dimensionar el efecto negativo del uso de combustibles fósiles por parte de los humanos, lo que hace necesaria la **búsqueda de nuevas tecnologías menos contaminantes**, como, por ejemplo, la electromovilidad. Con el uso de vehículos eléctricos en el sistema de transporte público, se podría reducir el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero, y con eso, disminuir el daño medio ambiental (De la Herrán, 2014)[14].

Capítulo 3

Taxis colectivos

Una alternativa de transporte para las personas en las diferentes ciudades del país es la opción de usar taxis colectivos, los cuales compiten de manera directa con otros sistemas de transporte como buses, metro o taxis convencionales (en sus diferentes modalidades). Con el aumento progresivo de la población, y la necesidad de nuevas tecnologías en los sistemas basales como el transporte público, **el uso de estos vehículos ha tenido un posicionamiento relevante en el mercado** (Duque, 2017)[15].

Este medio de transporte terrestre fue implementado en Chile a mitad del siglo XX. Desde ese entonces se ha caracterizado por **tener un recorrido fijo ofreciendo un servicio similar a los buses urbanos**, pero con capacidad máxima de 4 personas para trasladar en un viaje. Son automóviles tipo *sedán* (con algunas excepciones), de color negro para el transporte urbano y de color amarillo para el transporte rural (Duque, 2017)[15].

A nivel internacional, también existen transportes como los descritos anteriormente. Es el caso de Bahía Blanca, localidad de Argentina, donde compiten diferentes tipos de transportes enfocados principalmente en taxis comunes y taxis colectivos urbanos. Desde 1996 hasta 2014 habían tenido gran relevancia en la oferta de transporte en la zona, aunque con el paso del tiempo fueron cambiados por buses con mayor capacidad. *“En la actualidad el sistema de transporte por colectivo en la ciudad de Bahía Blanca experimenta niveles disminuidos en el tráfico de pasajeros debido tanto a variaciones en la estructura de los desplazamientos (sustitución de colectivo por automóvil) como a contracciones a nivel de actividad asociados al precio del transporte”* (Natividad-Viego, 2017)[16]. Con esto, se renovó completamente la flota de taxis colectivos por buses.

Por su parte, en México hubo una apertura al transporte público en los años 80 para los vehículos de menor tamaño. En 1983 los transportes en metro, trolebús y autobuses concentraban un 67 % de la demanda, pero en 1997 solo alcanzaron un 27 % debido al ingreso de combis (furgones de pasajeros), taxis colectivos y microbuses. Además, **en 2001 el uso de taxis colectivos existía en diferentes ciudades de países latinoamericanos.** Entre ellas destacan: La Paz (Bolivia), Ciudad de México, Santiago de Chile y Santo Domingo (Figueroa, 2005)[17].

Parte de la historia chilena respecto a estos vehículos cuenta que *“en Santiago, los casi 7.000 taxis colectivos que existían en 1990, previo a la concesión de los servicios de autobús, aumentaron a más de 13.000 al año 2000, mientras que la flota de buses se reducía*

desde los cerca de 13.000 vehículos a poco más de 8.000 entre las mismas fechas” (Figueroa, 2005)[17]. La posibilidad de comprar vehículos de menor capacidad con precios más accesibles en esos tiempos permitió acceder a nuevos servicios de transporte menor para nuevos conductores que buscaban oportunidades de trabajo (Figueroa, 2005)[17].

En la década de los noventa el parque de taxis y vehículos particulares creció de manera significativa, lo que llevó a la autoridad a fijar una cuota y suspender por dos años (entre 1998 y 2000) la inscripción de taxis en el Registro Nacional de Servicios de Transporte de Pasajeros. En esos años existían 127.000 vehículos ofreciendo servicios de taxis en cualquiera de sus variantes, y se generaron limitaciones en las cantidades para reducir la congestión vehicular y la contaminación atmosférica (Comisión Nacional de Productividad, 2018)[18]. Según la Ley 18.696 (Ministerio de Hacienda, 2016)[19], estas variantes definidas para taxis son las siguientes:

- **Taxi Básico:** Vehículo negro y amarillo que recoge pasajeros en las vías públicas, con cobro exclusivo por el uso de taxímetro.
- **Taxi Turismo:** Servicio que atiende a usuarios de hoteles, aeropuertos, y turismo asociado a la movilización entre estos destinos.
- **Taxi Ejecutivo:** Atiende viajes solicitados a distancia por cualquier persona desde distintos medios de comunicación (mensaje de texto, call-center, entre otros). Cobro exclusivo con taxímetro.
- **Colectivo Urbano:** Servicio que atiende viajes con trazado previamente definido, y dentro de los límites urbanos.
- **Colectivo Rural:** Servicio que, sin superar los 200 kilómetros de recorrido, exceden el radio urbano de una localidad para transportar pasajeros.

Para marzo del 2020, estos vehículos estaban dispuestos de la siguiente manera en el mercado nacional (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2020)[7]:

Tabla 3.1: Taxis y colectivos en Chile según servicio (marzo 2020).

Modalidad de servicio	Región Metropolitana	Total nacional
Taxi Básico	23.332	37.716
Taxi Turismo	814	3.283
Taxi Ejecutivo	3.201	5.758
Colectivo Urbano	10.162	51.749
Colectivo Rural	3.718	7.801
Total	41.227	106.307

Fuente: MTT, 2020.

Se observa que en ese periodo la Región Metropolitana concentraba gran parte de los vehículos menores para transporte público, principalmente en la modalidad de taxis básicos (62 %). Por su parte, los colectivos urbanos están más distribuidos entre regiones, considerando que sólo un 20 % del total pertenecen a la Región Metropolitana. En particular, **los análisis realizados en este documento están enfocados solamente en este tipo de vehículos a nivel nacional**, dada la solicitud generada desde el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

3.1. Regulación del mercado

El mercado de taxis colectivos está regulado en base al Decreto N°212, el cual entró en vigor el 20 de mayo de 2016, enmarcado en el Decreto de Ley N°554 de 1974 (MTT, 2016)[20]. Este documento estipula algunos lineamientos principales en el tema:

- Las concesiones de transportes de pasajeros son definidas en base a licitaciones públicas.
- El Ministerio de Transporte lleva un registro de todos los vehículos asociados al transporte de pasajeros en base a un registro formal. En general, se solicita que el vehículo utilizado para uso de taxi colectivo debe ser tipo *sedán*.
- Las empresas de transporte de pasajeros deben tener un representante legal, quienes son responsables de que se cumplan todas las normas legales que están estipuladas sobre estas entidades.
- Existen subdivisiones para los registros de los vehículos:
 - Servicios urbanos: Al interior de los conglomerados de ciudades
 - Servicios rurales: Aquellos recorridos que no superan en 200km su recorrido desde el radio urbano.
 - Servicios interurbanos: Aquellos que superan los 200km el radio urbano en su recorrido habitual.
- La inscripción de los vehículos conlleva una serie de documentos, entre los que destacan (i) Certificado de Inscripción en el Registro de Vehículos Motorizados; (ii) fotocopia del Certificado de Revisión Técnica; (iii) nómina de los conductores; (iv) nombre, número de línea y sus variantes, entre otros datos; (v) tarifas, itinerarios y otros datos de las rutas.
- En el decreto existen otros datos asociados a la regulación y fiscalización de las empresas de colectivos. Cada vez que surjan dudas sobre cómo se regulan se puede recurrir a este documento, el cual puede ser modificado para el ingreso de vehículos eléctricos en el mercado según el Estado de Chile lo defina, bajo los procesos correspondientes.

3.2. Organización industrial del mercado

El mercado de taxis colectivos industriales tiene diferentes características para cada región que se estudie. En algunas localidades los **taxis colectivos tienen un posicionamiento muy relevante en el sistema de transporte público**, mientras que en otras sólo son un complemento de las ofertas disponibles para el traslado de personas. En este apartado se analiza cómo se comporta la organización industrial del sector diferenciado para las distintas regiones.

Los años de antigüedad de los vehículos, la cantidad de autos por línea de colectivos, o la cantidad de líneas en cada región, son características clave en el análisis que se debe realizar para determinar si es factible renovar un porcentaje de la flota actual, por lo que se debe comprender cómo está estructurado todo el mercado con la información más reciente. Para ello, se muestra la siguiente tabla de datos recopilados desde el Ministerio de Transporte para el mercado de taxis colectivos en marzo del 2020.

Tabla 3.2: Parque de colectivos, parque de buses urbanos, antigüedad promedio y relación entre ambos sectores para cada región de Chile.

Región	Taxis colectivos		Buses urbanos		Relación
	Parque	Antigüedad promedio	Parque	Antigüedad promedio	
Tarapacá	256	6.2	411	7.0	0.6
Antofagasta	3.971	5.7	1.058	8.8	3.8
Atacama	2.199	4.8	130	9.6	16.9
Coquimbo	4.701	5.0	732	11.4	6.4
Valparaíso	8.247	4.9	2.163	6.1	3.8
O'Higgins	3.287	4.7	407	9.6	8.1
Maule	3.019	4.9	716	11.6	4.2
Bío Bío	3.615	5.3	2.296	9.5	1.6
La Araucanía	2.556	5.0	956	9.3	2.7
Los Lagos	3.696	5.2	922	10.5	4.0
Aysén	441	4.5	18	13.0	24.5
Magallanes	1.264	6.5	84	6.8	15.0
Metropolitana	10.140	5.0	7.276	7.9	1.4
Los Ríos	1.140	4.9	355	9.6	3.2
Arica y Parinacota	1.999	7.7	285	8.1	7.0
Ñuble	1.218	5.5	322	11.6	3.8
	51.749	5.4	18.131	9.4	2.9

Fuente: MTT, 2020 [7].

Se puede observar que el mercado de colectivos actual está compuesto por 51.749 vehículos en total, y la antigüedad promedio corresponde a 5.4 años para el país. A nivel desagregado, se observa que la región más preponderante en el mercado de taxis colectivos es la Metropolitana (19.6%), seguido de la Región de Valparaíso (15.9%) y la Región de Coquimbo (9.1%). Por su parte, las zonas con menos taxis colectivos son las regiones de Aysén (0.8%) y de Tarapacá (0.5%).

La misma tabla permite notar que la cantidad de colectivos equivale a un total de 2.9 veces la cantidad buses disponibles en el país, y esa relación destaca en mayor medida en regiones como Aysén (24.5), Atacama (16.9) y Magallanes (15.0). Por otro lado, las regiones que tienen similares cantidades de buses y de colectivos son las regiones del Bío Bío (1.6) y Metropolitana (1.4). Existe un caso particular en la Región de Tarapacá (0.6) donde hay más buses que colectivos.

Respecto a la antigüedad promedio, se distingue que las regiones que presentan vehículos con más años en circulación son Arica y Parinacota (7.7), Magallanes (6.5) y Tarapacá (6.2). A su vez, las regiones con antigüedad promedio más baja son Aysén (4.5) y O'Higgins (4.7). Además, si se compara los años de antigüedad promedio entre buses y colectivos, se observa que en todas las regiones los buses tienen más años que los colectivos, lo que puede tener relación directa con la vida útil de los vehículos, dado que los buses tienen más vida útil que autos menores (Comisión Nacional de Productividad, 2018)[18].

También es relevante analizar cuántas líneas diferentes de colectivos existen en cada región, considerando que cada una tiene definido un recorrido específico (o más de uno en algunos casos), y compiten entre ellas cuando trabajan en zonas similares. Para esto, se realiza la siguiente figura:

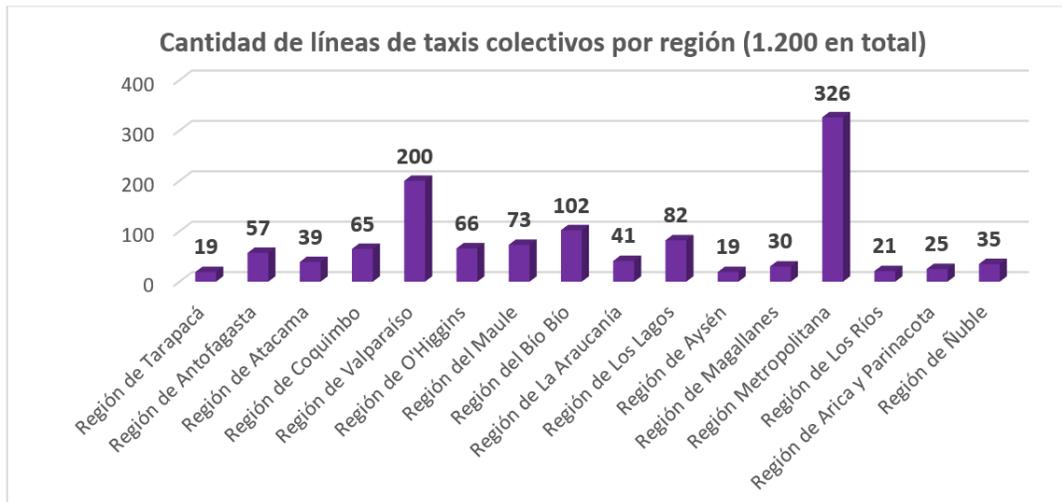


Figura 3.1: Cantidad de líneas de taxis colectivos por región (marzo 2020) [EP]

Se observa en la **Figura 3.1**¹ que en total hay 1.200 líneas de taxis colectivos diferentes trabajando en el país, los cuales ofrecen distintos recorridos y precios según sus distancias. Además, las zonas con más líneas de taxis colectivos son la Región Metropolitana (16.3%), Valparaíso (10%) y Bío Bío (5.1%), mientras que las regiones con menos líneas disponibles son Tarapacá (0.1%), Aysén (0.1%) y Los Ríos (0.1%).

Al analizar la relación entre la **Figura 3.1** y la **Tabla 3.2**, se distingue que las regiones que cuentan con mayor poder de concentración de colectivos por parte de las líneas disponibles son Arica y Parinacota (80.0), Coquimbo (72.3) y Antofagasta (69.7). Estos valores quieren decir que, por ejemplo, en Arica y Parinacota cada línea de colectivos cuenta, en promedio, con 80 vehículos en sus servicios. Por su parte, las regiones con menor concentración son Tarapacá (13.5), Aysén (23.2) y Metropolitana (31.1).

Analizando esta información de otra manera, se define la cantidad de líneas con diferentes cantidades de colectivos en sus flotas, lo cual se muestra en la siguiente figura:

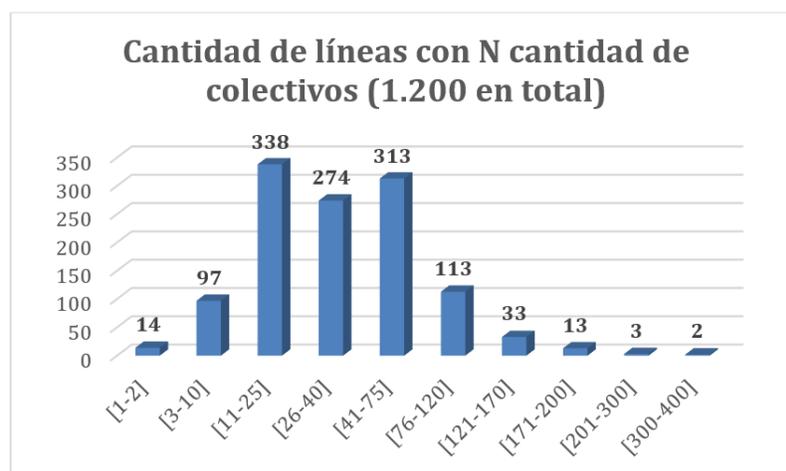


Figura 3.2: Líneas de taxis colectivos con N cantidad de vehículos en su flota (marzo 2020). Ejemplo: En Chile existen 14 líneas que tienen 1 o 2 autos [EP].

¹ [EP] significa elaboración propia.

De la **Figura 3.2** se desprende que existen 14 líneas que tienen entre 1 y 2 autos en su flota, 97 líneas que tienen entre 3 y 10 vehículos, y así con los demás rangos. Se puede distinguir que la mayoría de las líneas cuentan con más de 11 y menos de 75 vehículos en su flota. A pesar de que no es un rango muy repetido, es relevante recalcar que existen 18 líneas con más de 171 vehículos en su flota, y 5 líneas con más de 200 autos ofreciendo servicios.

Además, un total de 338 líneas tienen entre 11 y 25 autos, lo que representa un 28.2% del total de líneas y equivale al rango más común. Luego están los grupos de colectiveros que tienen entre 41 y 75 vehículos en su flota (26.1%). Ahora, se analizan las líneas más relevantes en el país:

Tabla 3.3: Regiones y comunas donde se presentan las 10 líneas con más flotas de taxis colectivos en Chile (marzo 2020).

Región	Comuna	Flota
Valparaíso	San Antonio	336
Coquimbo	Coquimbo	334
Arica y Parinacota	Arica	280
Atacama	Copiapó	218
Coquimbo	Ovalle	216
O'Higgins	Rancagua	200
Valparaíso	San Antonio	199
Araucanía	Temuco	199
Antofagasta	Calama	198
Arica y Parinacota	Arica	189
Total		2.369

Fuente: Elaboración propia con datos de MTT, 2020 [7].

En la **Tabla 3.3** se distingue que la región donde se encuentran la línea con más taxis colectivos es Valparaíso al existir una flota de 336 vehículos, aunque no presenta una diferencia mayor con la segunda posición, la cual corresponde a Coquimbo con 334 automóviles. Además, estas dos regiones, junto con Arica y Parinacota, tienen 6 de las 10 flotas más amplias que existen en Chile.

Otras regiones que aparecen en el listado son Atacama (218) y Antofagasta (198), por lo que existe una importante presencia de la zona norte con flotas de gran volumen. Por su parte, también resalta una línea en O'Higgins (200) y en la Región de La Araucanía (199). Cabe señalar que el total representado en la **Tabla 3.3** equivale a un 4.6% de taxis colectivos existentes en el país.

Desde los datos totales (no presentados en la tabla) se desprende que hay algunas comunas que presentan una importante cantidad de flotas con más de 100 vehículos. Entre ellas destacan: Coquimbo con 8 líneas, Arica (8), Temuco (6), Antofagasta (6), Calama (5), Copiapó (5), Ovalle (5), La Serena (5) y San Antonio (4). Por su parte, la Región Metropolitana cuenta con 4 líneas con más de 100 vehículos, en las comunas de Maipú (2 con 120 y 102 vehículos), Renca (1 con 119 vehículos) y Puente Alto (1 con 107 taxis colectivos).

Ahora bien, como la renovación es parte central del análisis de la tesis, se muestran datos relevantes asociados a la antigüedad del parque de taxis colectivos para marzo del 2020. A nivel agregado, se observa la siguiente figura, donde se distingue cuántos vehículos existen en el mercado según sus años de antigüedad.

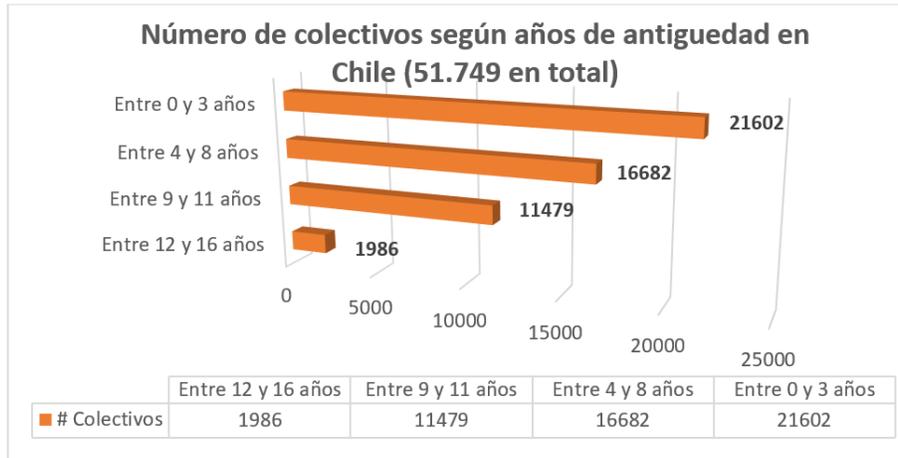


Figura 3.3: Número de taxis colectivos según años de antigüedad (marzo 2020) [EP].

Se observa que el mercado de taxis colectivos tiene un alto porcentaje de vehículos con menos de 4 años de antigüedad (41.7%), aunque un 26% del total tienen más de 9 años. A este sector del mercado busca apuntar la tesis, considerando que aquellos vehículos más antiguos tienen menos tecnologías con enfoque en el cuidado del medio ambiente. Los vehículos con más de 12 de antigüedad corresponden al 3.8% del total, y son los autos más contaminantes de la muestra, dado que su fabricación no contaba con las normas Euro IV o superiores, y no fueron regulados de la misma manera que los vehículos nuevos.

Al enfocar la muestra para aquellos vehículos con más de 8 años de antigüedad, se tiene un total de 13.465 y se puede desagregar de la siguiente manera para las diferentes regiones.

Tabla 3.4: Cantidad de colectivos con 9 o más años de antigüedad en regiones (marzo 2020).

	Colectivos	% regional
Región de Tarapacá	58	23%
Región de Antofagasta	1.259	32%
Región de Atacama	459	21%
Región de Coquimbo	1.139	24%
Región de Valparaíso	2.021	25%
Región de O'Higgins	684	21%
Región del Maule	738	24%
Región del Bío Bío	986	27%
Región de La Araucanía	589	23%
Región de Los Lagos	936	25%
Región de Aysén	78	18%
Región de Magallanes	483	38%
Región Metropolitana	2.235	22%
Región de Los Ríos	300	26%
Región de Arica y Parinacota	1.140	57%
Región de Ñuble	360	30%
Total	13.465	26%

Fuente: Elaboración propia con datos del MTT, 2020 [7].

Se distingue que las regiones que más resaltan en la cantidad de vehículos con 9 o más años de antigüedad son Metropolitana (16.6 % del total nacional de vehículos con más de 9 años), Valparaíso (15 %) y Antofagasta (9.4 %). El caso contrario lo viven las regiones de Tarapacá (0.4 %) y Aysén (0.6 %), las cuales aportan menos vehículos al total de esta muestra.

También se puede notar en la **Tabla 3.4** que la zona con mayor posicionamiento de vehículos fabricados antes del 2012 es Arica y Parinacota, que cuenta con 57 % de colectivos totales en la región con 9 años o más de antigüedad. Luego, sigue la Región de Magallanes (38 % del total regional) y de Antofagasta (32 %). Estas regiones pueden ser clave en las propuestas finales dadas las cantidades totales de vehículos muy antiguos que presentan.

Ahora, se analizan las marcas que tienen mayor posicionamiento en este mercado, las cuales son preferidas por los conductores al momento de comprar un vehículo para usarlo en estos servicios:

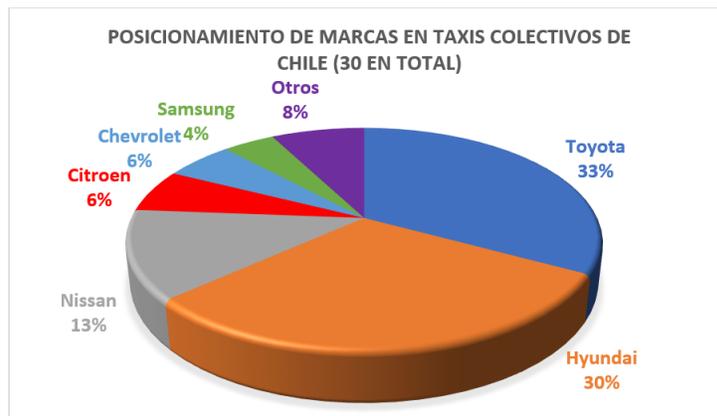


Figura 3.4: Marcas posicionadas como taxi colectivo en Chile (marzo 2020)[EP].

Es posible observar que las marcas más relevantes en el mercado son Toyota (33 %), Hyundai (30 %) y Nissan (13 %), las cuales abarcan más de la mitad de los vehículos totales usados como colectivos. A pesar de esto, existe una amplia gama de opciones disponibles con un total de 30 marcas diferentes en la actual organización industrial del sector. Esto se puede deber a la variedad de precios y ofertas que entregan estas marcas. A continuación, se desagrega la información para las diferentes regiones, al señalar aquellas marcas con mayor posicionamiento en cada lugar.

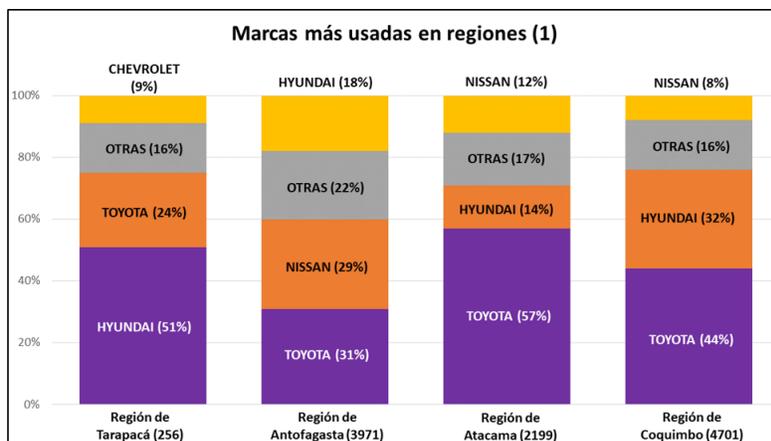


Figura 3.5: Marcas más usadas en regiones I, II, III, IV [EP].

En esta figura se muestra el posicionamiento de mercado de las 3 marcas más relevantes para las regiones de Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. En las 3 últimas regiones se observa que Toyota tiene mayor posicionamiento y sobresale en la Región de Atacama con un 57% del total de vehículos. Por su parte, en Tarapacá el 51% del total lo tiene Hyundai. Las marcas Nissan y Chevrolet resaltan en estas regiones como las terceras más usadas.

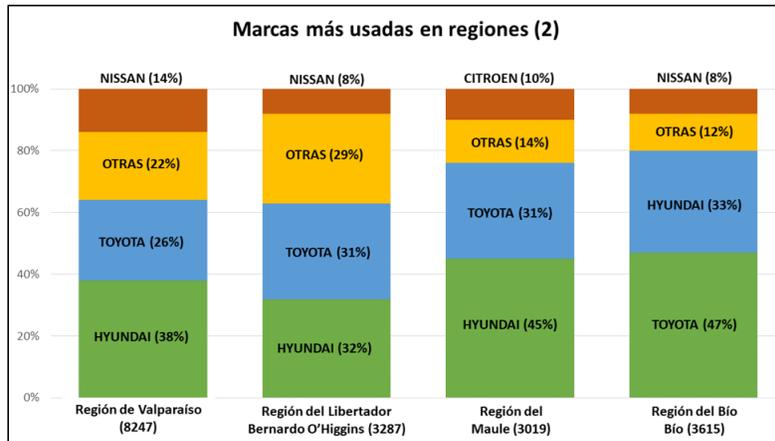


Figura 3.6: Marcas más usadas en regiones V, VI, VII, VIII [EP].

Para las regiones de Valparaíso, O'Higgins, Maule y Bío Bío, se puede notar que Hyundai tiene el mayor posicionamiento en las tres primeras, y Toyota en la del Bío Bío. En ninguna alcanzan la mitad del total. En la Región de O'Higgins el mayor posicionamiento se lo disputan las dos principales marcas de la muestra, con una diferencia de 1% entre ambas. Al igual que el caso anterior, la marca Nissan resalta como tercera marca principal, aunque en la Región del Maule aparece una marca diferente al estar Citroen con el 10% del total regional.

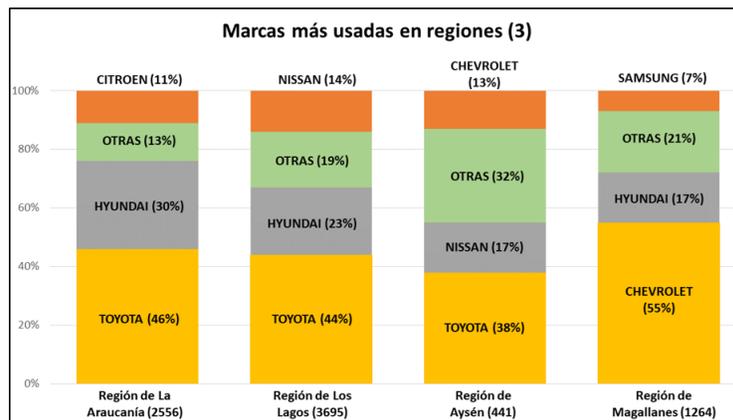


Figura 3.7: Marcas más usadas en regiones IV, X, XI, XII [EP].

En las regiones de La Araucanía, Los Lagos y Aysén, la marca Toyota es principal, aunque en la Región de Magallanes aparece Chevrolet con más de la mitad del total, diferente a lo sucedido en los casos anteriores. Hyundai y Nissan reaparecen como marcas relevantes después de las principales y en la Región de Magallanes la marca Samsung se posiciona como tercera marca, la cual no había sido mencionada anteriormente. Aun así, se repite el patrón de las demás regiones, con marcas como Citroen o Chevrolet en la tercera posición.

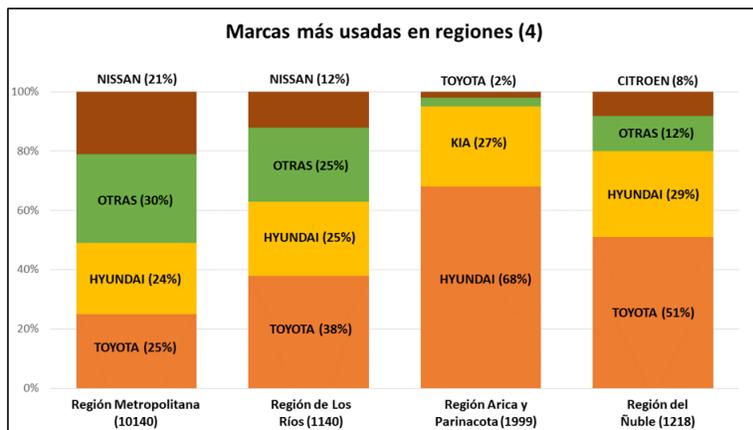


Figura 3.8: Marcas más usadas en RM, XIV, XV, XVI [EP].

Por último, para las regiones Metropolitana, Los Ríos, y Ñuble, la marca Toyota se posiciona fuertemente en el mercado. En el caso de la región capital del país se muestra que existe alto nivel de competencia entre Hyundai y Toyota y también con Nissan, por lo que esta región es un caso particular respecto a las demás muestras. De hecho, otras marcas representan el 30 % de la región, lo cual es mayor al posicionamiento de las otras marcas por separado.

Otro caso particular es el de la Región de Arica y Parinacota, el cual tiene el mayor posicionamiento de una sola marca comparado con todas las regiones, al encontrarse Hyundai con un 68 % del total regional. KIA aparece como segunda marca, y en total ambas marcas alcanzan el 95 % de la región, existiendo algo similar a un duopolio en las ventas para taxis colectivos.

Ahora, se desagrega la información anterior para estudiar los diferentes modelos que tiene cada marca en el sector. En la siguiente tabla se muestran cuántos modelos diferentes son usados como taxis colectivos para cada una de las marcas disponibles.

Tabla 3.5: Ofertas de modelos (#M) para las diferentes marcas usadas como taxis colectivos en Chile (marzo 2020).

Marca	#M	Marca	#M	Marca	#M
Chevrolet	12	Renault	4	Ford	1
Hyundai	9	Suzuki	4	Great Wall	1
KIA	8	Brilliance	3	Haima	1
Nissan	8	Chery	3	Honda	1
Peugeot	6	DFM	3	JAC	1
Citroen	5	Faw	3	Mercedes Benz	1
Geely	5	Lifan	3	Mitsubishi	1
Toyota	5	Mazda	3	Proton	1
Volkswagen	5	BYD	2	Samsung	1
MG	4	Changan	2	SMA	1

Fuente: Elaboración propia con datos del MTT, 2020 [7].

En total hay 107 modelos utilizados como taxis colectivos. Además, se puede notar que la marca con más modelos usados en este tipo de servicios es Chevrolet (12), luego Hyundai (9), KIA y Nissan con 8 cada una. Por su parte, hay 10 marcas que tienen un solo modelo usado como colectivo en el parque actual del mercado, lo cual puede estar asociado a sus precios y ofertas disponibles.

Algo relevante que se puede notar es que Toyota, a pesar de tener un gran posicionamiento en el mercado (visto en la **Figura 3.4**), sólo presenta 5 modelos distintos que son usados como colectivos, por lo que existe una gran cantidad de estos modelos circulando en las rutas definidas para este tipo de transporte público. Por otro lado, se detallan cuáles modelos son más comunes:



Figura 3.9: Modelos usados como taxis colectivos en Chile (marzo 2020) [EP].

Los modelos Toyota Yaris (32%) y Hyundai Accent (28%) abarcan el 60% del total de autos usados como colectivos urbanos. Se distingue que 6 modelos corresponden al 82% del mercado, por lo que se concluye que no existe gran diferenciación de modelos entre los colectivos, a pesar de la amplia oferta disponible. Además, los otros 101 modelos usados en estos servicios corresponden al 18% restante. Esto quiere decir que hay una gran cantidad de modelos diferentes, los cuales no tienden a ser repetitivos por los conductores de colectivos.

Ahora bien, considerando que se comparará el precio de los vehículos eléctricos con el de los autos convencionales, se muestra en la siguiente tabla los 11 modelos más vendidos entre 2018 y 2020 que están siendo utilizados como taxis colectivos y sus precios promedios (desde distintas concesionarias y automotoras). Esto está definido en base a los años de fabricación de cada modelo.

Tabla 3.6: Modelos vendidos como taxis colectivos entre 2018 y 2020 (CLP).

Modelo	Cantidad	Precio
Toyota Yaris	3.969	\$10.390.000
Hyundai Accent	3.668	\$10.140.000
Citroen C Elysee	1.597	\$10.490.000
Chevrolet Sail	471	\$7.457.000
Nissan Versa	458	\$11.275.000
Peugeot 301	320	\$11.840.000
Great Wall C30	314	\$7.990.000
Renault Symbol	104	\$7.815.000
Nissan Tiida	55	\$7.890.000
DFM Joyear	44	\$8.240.000
Kia Rio 4	43	\$10.715.000
Promedio		\$10.162.803

Fuente: Elaboración propia con datos del MTT [7] y de diferentes automotoras.

En la **Tabla 3.6**, se sigue el mismo patrón de la figura anterior, al mantenerse los modelos Toyota Yaris, Hyundai Accent y Citroen C Elysee como las más posicionadas y compradas en los últimos periodos. En total, se trata de 11.043 nuevos modelos con año de fabricación superior a 2018.

Con todos estos vehículos, el precio promedio más alto corresponde a \$11.840.000 para el Peugeot 301, y el más bajo corresponde al Chevrolet Sail con un precio promedio de \$7.457.000. Por su parte, para todos los vehículos de la tabla, se obtiene un precio promedio global de \$10.162.803, equivalente a la multiplicación de la cantidad de vehículos de un modelo por su precio promedio, dividido por el total de autos en la tabla. Este valor entrega una referencia de cuánto están pagando los conductores de colectivos, en promedio, para comprar un nuevo vehículo que será usado en estos servicios, y será relevante para la comparación con los vehículos eléctricos.

3.3. Entrevista con conductor de colectivo en Región de La Araucanía

Para entender de mejor manera cómo se trabaja a diario en el mercado de taxis colectivos, se muestran los principales resultados de conversaciones realizadas con Pablo Lastra, Representante Legal de la línea “Los Conquistadores Ltda.”, quienes trabajan en Traiguén, Región de la Araucanía (también reconocidos como “Línea 1”). Con esta instancia realizada en mayo del 2019, se logran desprender **algunos puntos asociados al mercado de taxis colectivos desde la rutina que se vive en este negocio**, los cuales son resumidos a continuación:

1. Un requerimiento que presenta la SEREMI de la región para trabajar como flota de colectivos es tener un lugar de descanso con baños y espacios de dispersión mínimos según la cantidad de conductores (esta flota es de 40 trabajadores). **Esto es parte de la inversión inicial** que debe realizarse para obtener el permiso asociado a trabajar con colectivos, el cual **debe ser renovado cada 2 años**. Esto último implica la revisión de los vehículos que se manejan y otros detalles técnicos.
2. Según la estimación realizada en base a la experiencia de sus conductores y a la propia, el representante legal estima que se recorren 8km por vuelta (desde que se sale del terminal hasta que se regresa), y **a diario se recorren entre 200km y 250 km**, con un horario de trabajo entre 7am y 10pm. Esto incluye 1 hora de descanso para su colación, y se turnan entre conductores para que no falten colectivos en las calles.
3. **La mantención de sus vehículos es realizada cada 10.000km** (revisión básica del automóvil), además de **otra más dedicada después de los 20.000km** que incluye la revisión completa del auto. El primer tipo de mantención es realizada por un mecánico que tiene su taller en las cercanías del lugar de descanso, en donde siempre han realizado sus mantenciones. En cambio, para el segundo tipo de mantención deben acercarse a talleres diferentes por la complejidad que tiene el realizar este tipo de trabajos. Estas alternativas cuestan \$15.000 CLP y \$45.000 CLP, respectivamente.
4. **Cada conductor decide qué auto tener según sus propias conveniencias** y no es una decisión de la empresa. Las marcas más usadas por ellos son Hyundai Accent (tipo Diesel), Citroen C Elysee, Toyota Yaris, Chevrolet Corsa (tipo diésel) y Chevrolet Sail. En general, los conductores han costeado sus inversiones en base a créditos, donde **Banco Estado ha**

tomado importancia en estos instrumentos financieros entregando créditos a más del 60 % de los colectiveros que trabajan en el país. ²

5. **Los conductores presentan ganancias entre \$35.000 y \$60.000 diarios.** Por otro lado, pagan entre \$17.000 y \$20.000 diarios en combustible, junto con una revisión técnica semestral de \$12.000 más insumos, y otros \$1.000 diarios para poder trabajar en la Línea 1. Existen dueños de vehículos que arriendan sus autos a conductores, quienes deben pagarles \$18.000 diarios en promedio al dueño del vehículo (todos los valores en CLP).
6. **El parque de colectivos está cerrado**, por lo que no pueden ingresar nuevos autos a la zona. Para ingresar hay que comprar un auto viejo (con los permisos ya establecidos). *“Los papeles para entrar están muy caros. Si un auto cuesta a \$3.000.000 venderlo, junto con los papeles los llegan a vender a \$20.000.000”*. Esto implica que venden el paquete del auto más los permisos. Además, señala que desde **el gobierno han impulsado el uso de autos eléctricos como colectivos a través del no cobro de estos permisos para ingresar**. Si llega un nuevo conductor con un auto eléctrico, puede ingresar directamente al parque de colectivos.
7. Un requisito que se pedía para los taxis colectivos era que su motor tuviera una cilindrada de 1.500cc. **En 2019 se bajó el requisito a 1.400cc.** Por otro lado, existen requerimientos respecto a la revisión técnica, **la cual debe ser realizada cada máximo 6 meses**. Cabe señalar que en ciudades importantes (más bien, que no sean conglomerados pequeños), la restricción vehicular que se estipula para cada día afecta de manera similar a los taxis colectivos que a los automóviles particulares.

² Información recopilada desde conversaciones directas con agentes de Banco Estado.

Capítulo 4

Electromovilidad

Al momento de analizar aquellos factores que generan daño al medio ambiente se debe considerar que el World Resources Institute (WRI) **señala al sector de transporte como emisor de un 34 % el total de gases (GEI) en el mundo**, lo que es mayor a lo observado, en promedio, en los países OCDE (28 %). Además, el nivel de contaminación de CO₂ que existe en países de América Latina supera en 30 % a USA. y en 80 % a los países OCDE (Cabrera & García, 2019)[21].

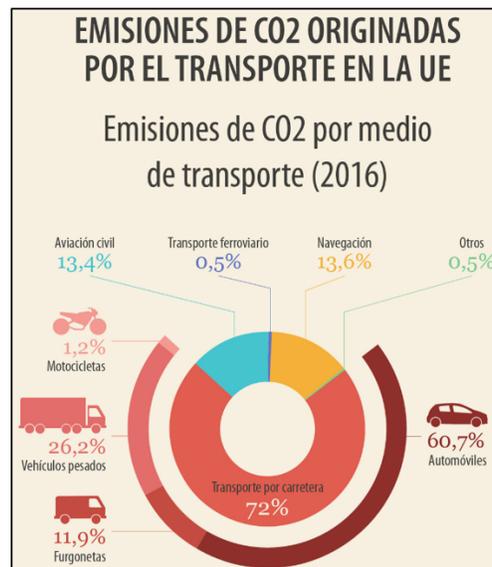


Figura 4.1: Emisiones de CO₂ del transporte en la Unión Europea (2016) [21].

Desde la **Figura 4.1** para el año 2016, se distinguen los sectores de transporte que más emisiones de CO₂ generaron en Europa. Del total, **un 72 % corresponde al transporte por carretera**, donde destacan los vehículos pesados y furgonetas con 26.2 % y 11.9 % de las emisiones. Aun así, **el medio que más sobresale es el de los automóviles, al haber emitido un 60.7 % de este total** (European Environment Agency, 2017)[22].

Por su parte, *“actualmente en Chile, el 98 % de la energía utilizada para transporte corresponde a derivados del petróleo, lo cual convierte a esta área en la responsable de casi el 20 % del total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el país, además de aportar con una gran cantidad de otros gases contaminantes, los cuales, al concentrarse en zonas urbanas, provocan daños a la salud de las personas”* (AVEC, 2019)[2].

Dado lo anterior, resalta la posibilidad de usar vehículos con formas diferentes de generación de energía, como el caso de los vehículos eléctricos. Esto genera la gran oportunidad para el país y el mundo de reducir las emisiones de GEI, ya que los **autos eléctricos** no sólo son más eficientes energéticamente y no contaminan, sino que también **obtienen la energía necesaria para funcionar desde la matriz eléctrica**, la cual ha aumentado las fuentes en energías renovables para su funcionamiento (AVEC, 2019)[2]. Es cierto que la contaminación se traslada a una fuente diferente, al necesitar el uso de combustibles fósiles en las centrales de energía para la generación de electricidad, pero los niveles de emisiones son menores debido a que las **generadoras presentan mayores estándares de eficiencia térmica** (De la Herrán, 2014)[14].

Entonces, surge la pregunta ¿Qué es la electromovilidad?, y la respuesta es que *“hace referencia al uso de vehículos eléctricos, que son aquellos que hacen uso de combustibles y/o energías alternativas que impulsan uno o más motores eléctricos”* (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2019)[23]. Esto provoca que **el transporte sea más eficiente energéticamente**, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad del petróleo como fuente de energía (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2019)[23].

▪ Proyecciones

Dado que el transporte contribuye con casi una cuarta parte (34%) de las actuales emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI) y presenta un crecimiento más rápido que cualquier otro sector de uso final de energía, en la Declaración del denominado Acuerdo de París se indicó que, **de no actuar las emisiones de GEI del transporte aumentarán en un 20 % para el año 2030** y cerca del 50 % para el año 2050 (García, 2019)[24].

En este mismo sentido, según lo declarado en el Acuerdo de París, con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2° centígrados, se considera al **desarrollo de la electromovilidad como fundamental para disminuir las emisiones del transporte**. En dicho acuerdo se menciona que la transición requiere al menos un 20 % de vehículos eléctricos en el total del parque automotriz mundial para el 2030 (García, 2019)[24].

Chile posee una visión a largo plazo en algunos aspectos asociados a electromovilidad, al entender que necesita la existencia de un porcentaje mínimo de autos eléctricos en el mercado nacional para generar conocimiento y experiencia en el tema. En un trabajo conjunto entre el Ministerio de Energía, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Ministerio de Medio Ambiente, y distintas municipalidades, concesionarias y distribuidoras eléctricas, se construyó la Estrategia Nacional de Electromovilidad (Ministerio de Energía, 2017).

4.1. Estrategia Nacional de Electromovilidad para 2050

En esta Estrategia, se estructuraron los lineamientos para alcanzar un nivel de cero emisiones a final del siglo y una reducción de al menos 80 % para el 2050. En particular, el objetivo que planteó esta Estrategia es que un 100 % de la flota de transporte público y un 40 % de vehículos particulares sean eléctricos (Ministerio de Energía, 2017)[6].



Figura 4.2: Meta de la Estrategia Nacional de Electromovilidad para el 2050 [6].

Algunas de las medidas planteadas para el futuro corresponden a la rebaja o exención de tarifa para vehículos eléctricos en nuevas obras concesionadas como peajes de autopistas, estacionamientos en aeropuertos y hospitales, estacionamientos públicos, etc., y la definición de tarifas rebajadas en la carga de estos vehículos. Cada una de las medidas son analizadas por los agentes mencionados anteriormente (AVEC, 2019)[2].

La Estrategia establecida para el 2050 está definida en base a 5 ejes estratégicos (Ministerio de Energía, 2017)[6]:

▪ Regulación y estándares

En este eje se busca establecer los estándares mínimos de eficiencia energética para particulares, a través de una ley que incremente esta eficiencia de los vehículos que ingresen al parque automotriz. Además, destaca la necesidad de definir la normativa técnica-económica de la recarga eléctrica, en base a la proyección de la demanda energética del sistema y minimizar accidentes en las estaciones de carga públicas.

También define condiciones para que exista mejor competencia económica en el mercado de electrolinerías y busca realizar estudios de efectos fiscales por la disminución de compra de combustibles. Un aspecto relevante es estudiar la normativa relacionada con la disponibilidad de instalaciones de carga en edificaciones, para que existan facilidades en estos inmuebles respecto al uso de electromovilidad.

Por su parte, se busca incentivar a todos los medios de transporte eléctrico, asegurando la incorporación de las distintas modalidades (bicicletas eléctricas, autos, entre otros). Cabe señalar que se propone la incorporación explícita de vehículos eléctricos y sus componentes en la Ley de Reciclaje, de manera de asegurar que el tratamiento de todas las partes del auto se produzca de la forma más limpia posible para cuidar el medio ambiente.

▪ Transporte público como motor de desarrollos

Esta sección tiene como objetivo generar incentivos para transporte público mayor, a través del monitoreo y profundización de iniciativas piloto para incluir buses y vehículos eléctricos en este sector.

Esto se ve caracterizado con incentivos para taxis (en sus distintas modalidades) y taxis colectivos, y así impulsar la penetración de tecnologías eléctricas en estos mercados.

■ **Fomento de la Investigación y Desarrollo de Capital Humano**

El tercer eje busca impulsar el desarrollo de proyectos de investigación destinados a la generación de nuevos negocios en el ámbito de la electromovilidad, mediante la suscripción de convenios de cooperación y financiamiento de iniciativas. Además, analiza la asignación de recursos para magísteres, doctorados, cursos de especialización, diplomados y creación centros de investigación para mejorar la infraestructura de I+D.

También, se piensa en construir mesas de trabajo y buscar el desarrollo de acuerdos público-privados para financiar becas durante el periodo inicial, así como para capacitar a técnicos ya egresados de carreras afines a la electromovilidad. Se formarán instancias participativas, incluyendo a la industria, la academia y al sector público, de modo de analizar las temáticas que se abordarán en el futuro desde el punto de vista tecnológico.

■ **Impulso inicial al desarrollo de la electromovilidad**

Este eje permite entender el hecho de que se debe realizar un análisis de los vehículos estatales, junto con establecer un conjunto de condiciones bajo las cuales se recomienda el recambio de estos vehículos por un equivalente eléctrico. Además, tiene como objetivo impulsar pruebas piloto en flotas comerciales, ofreciendo capacidad técnica para el análisis de resultados, la generación de documentos u otras formas de difusión.

En particular, se estudiarán mecanismos de fomento al automóvil eléctrico bajo distintas modalidades en conjunto con diversos actores públicos, como la rebaja o exención de tarifa para automóviles eléctricos en nuevas obras concesionadas (peajes de autopistas, estacionamiento en aeropuertos y hospitales, estacionamientos públicos, entre otros). Por su parte, existe la posibilidad de crear acuerdos con suministradoras de energía asociada a la carga de vehículos para establecer tarifas rebajadas.

■ **Transferencia de conocimiento y entrega de información**

El último eje estratégico está enfocado en la creación de una plataforma (observatorio de la electromovilidad) donde se podrán comparar las alternativas tecnológicas para todo el ciclo de vida de las diferentes tecnologías, identificando proveedores de productos y servicios. También, se podrá consultar sobre la localización de los distintos puntos de carga de acceso público.

Por otro lado, este eje señala la relevancia de la difusión de información al público general y especializado, tanto para las características de la electromovilidad nacional e internacional, como para los diferentes proyectos que se presenten en el proceso.

■ **¿Cómo se gestionará esta Estrategia?**

Los 5 ejes principales se llevarán a cabo en base a la definición de una estructura institucional para la gestión de la estrategia de electromovilidad. En el más breve plazo posible se conformará una instancia de cooperación interinstitucional que tendrá como misión la programación detallada de las actividades que se derivan de las líneas de acción propuestas, el impulso de todos los ejes estratégicos, la obtención de recursos para los estudios y otras líneas de acción.

Esto se realizará con el continuo control de avance en las tareas y la consecución de las metas planteadas. Paralelamente, está pensado crear mesas de trabajo público-privada donde se tomen las decisiones que afecten a los proyectos. Es relevante señalar que también es parte central de la Estrategia la constante participación de Chile en instancias internacionales donde se discutan los temas centrales de electromovilidad.

Una entidad que apoyará a la gestión de esta Estrategia es CORFO, quienes incorporarán a la electromovilidad como un programa estratégico de especialización inteligente, a través de sus líneas de pre-inversión y garantías, y apoyarán el acceso a financiamiento blando para empresas que incorporen vehículos eléctricos en sus flotas (CORFO, 2017)[25].

4.2. Autos eléctricos

El interés por la electromovilidad nace a fines del siglo XX, debido al impacto de los vehículos tradicionales con motor de combustión interna sobre el medio ambiente y por la pronosticada escasez de reservas de combustibles fósiles, junto con las nuevas regulaciones progresivas para la reducción de emisiones (Isla et al., 2019)[26].

Desde ese entonces, ha existido un aumento constante en la cantidad de autos eléctricos que circulan por las calles del país y del mundo. Esto se debe a algunos factores como el mayor conocimiento respecto de los beneficios económicos y ecológicos, la disminución constante en el precio de los vehículos, la mejora en la tecnología, una mayor oferta de stock y las mejoras considerables en la infraestructura de carga que se espera tenga el país (AVEC, 2019)[2].

Con el paso del tiempo, han surgido algunas **razones para fomentar la electromovilidad en Chile** y a nivel mundial. Entre ellas, según Cabrera & García (2019)[21], resaltan las siguientes:

- En el **marco del cuidado ambiental y el cambio climático**, la electromovilidad, surge como una posibilidad para la reducción de emisiones de CO₂ respecto a lo que ofrecen los vehículos convencionales. Además, disminuye la contaminación acústica en las grandes urbes.
- Es parte de las distintas **fuentes de innovación radical y emprendimiento de nuevos negocios**, dado que las tecnologías asociadas a la electromovilidad están en plenas vías de desarrollo. La generación de nuevos productos o sus mejoras, y la creación de procesos relativos a los autos eléctricos, son y serán una principal fuente de crecimiento económico a nivel país. Aquí destaca la inversión que se realiza en I+D.
- Es una vía para **posicionar y desarrollar la competitividad industrial de los países**, principalmente en lugares donde el mercado de producción automotriz es muy relevante, como el caso de China, Alemania y Francia. Aquí destaca la participación de Chile desde el aporte que entrega por sus reservas de litio, el cual es un elemento clave en las baterías de los autos eléctricos.
- Es una **estrategia en materia de transporte**, enfocado en mejorar y desarrollar sistemas públicos para el traslado de pasajeros que sean energéticamente más eficientes y menos contaminantes.

Por otro lado, es relevante señalar que, en países como Brasil, Argentina, México y Chile, al presentar una gran extensión geográfica y gran tamaño del mercado automotor, el desafío para implementar electromovilidad es mayor dada la necesidad de enormes inversiones para infraestructura de carga en todas las zonas de estos países, y es necesario analizar este aspecto en los estudios. Caso contrario viven países menos extensos geográficamente, como Costa Rica o Uruguay (Isla et al., 2019)[26].

4.2.1. Puntos clave para el posicionamiento de los autos eléctricos en el mercado

Como la electromovilidad tiene ventajas para los países que deciden fomentarla, Cabrera & García (2019)[21] e Isla et al. (2019)[26] señalan algunos **aspectos que deben suceder paralelamente** para que existan mayores incentivos hacia el uso de autos eléctricos:

1. **Continuo mejoramiento de las baterías** y reducción de su costo, lo que en el mediano y largo plazo, permitirá la disminución de los costos totales del vehículo.
2. **Reducir el tiempo de recarga.** Los sistemas de recarga rápida disminuyen la vida útil de las baterías (al generar sobrecalentamiento de los componentes). Esto es relevante, porque tiempos de recargas mayores implican dedicar más espacios de estacionamientos escasos en zonas céntricas o densamente pobladas, lo cual necesita mayor inversión y planificación urbana.
3. **Desarrollar las tecnologías de los vehículos en sus distintos formatos**, lo que está alineado con lo estructurado en la Estrategia Nacional de Electromovilidad para el 2050.
4. **Desarrollar infraestructura de recarga, tanto privada (en los hogares y empresas) como pública.** En este sentido, se visualizan opciones de recarga como, por ejemplo, electromagnetismo en el pavimento, softwares y sistemas inteligentes que permitan el traspaso de energía a la red asociado a un sistema amplio e inteligente de facturación (a largo plazo).
5. **Los gobiernos deben estar informados** de las diferencias existentes entre los tipos de tecnologías de propulsión que tienen los vehículos eléctricos. Deben entender las diferencias entre vehículos híbridos, híbridos enchufables y eléctricos, para que decidan implementar las políticas públicas óptimas en base a las necesidades de los países. En el futuro, cuando los precios de los autos eléctricos y convencionales sean comparables, es probable que los incentivos sean sólo para vehículos eléctricos.
6. **Debe realizarse una óptima legislación sobre el cobro de las recargas**, de manera que el costo para los conductores no sea excesivo y tengan incentivos para comprar vehículos eléctricos, pero sin desincentivar la instalación de nuevos puntos de recarga por un precio poco competitivo.
7. Existe la **necesidad de coordinación y alineación de objetivos de políticas públicas** y programas de incentivos respecto al uso de energía eléctrica. Esto tiene relación directa con la generación y distribución de electricidad, donde se debe considerar el uso de energías renovables no convencionales para la carga, y no desabastecer la matriz energética.

8. Es importante la **creación de alianzas y el trabajo conjunto de entidades públicas y privadas**. Como la electromovilidad es un mercado emergente en el país, se puede lograr un posicionamiento más eficiente si se trabaja de manera colaborativa entre todos los agentes claves del mercado, para aumentar los incentivos hacia los consumidores finales.

4.2.2. ¿En qué consiste un automóvil eléctrico?

Una parte esencial del vehículo es el motor eléctrico, el cual está conformado por el estator y el rotor. El estator, como su nombre lo sugiere, está inmóvil y rodea al rotor que es el que gira (es la única parte móvil del motor). Los autos eléctricos pueden contar con dos motores, en las ruedas traseras o en las delanteras, o con cuatro motores, uno en cada rueda. Es por esto que, el auto eléctrico no necesita ni la caja de velocidades ni el diferencial (elemento mecánico que permite que la rueda derecha e izquierda gire en revoluciones diferentes), ambos indispensables en los automóviles de gasolina o diésel (De la Herrán, 2014)[14].

Los otros dos elementos fundamentales en el motor eléctrico son las baterías que proporcionan la energía, y, el control eléctrico, que se encarga de administrar dicha energía según los requerimientos del automovilista y del tráfico (De la Herrán, 2014)[14].

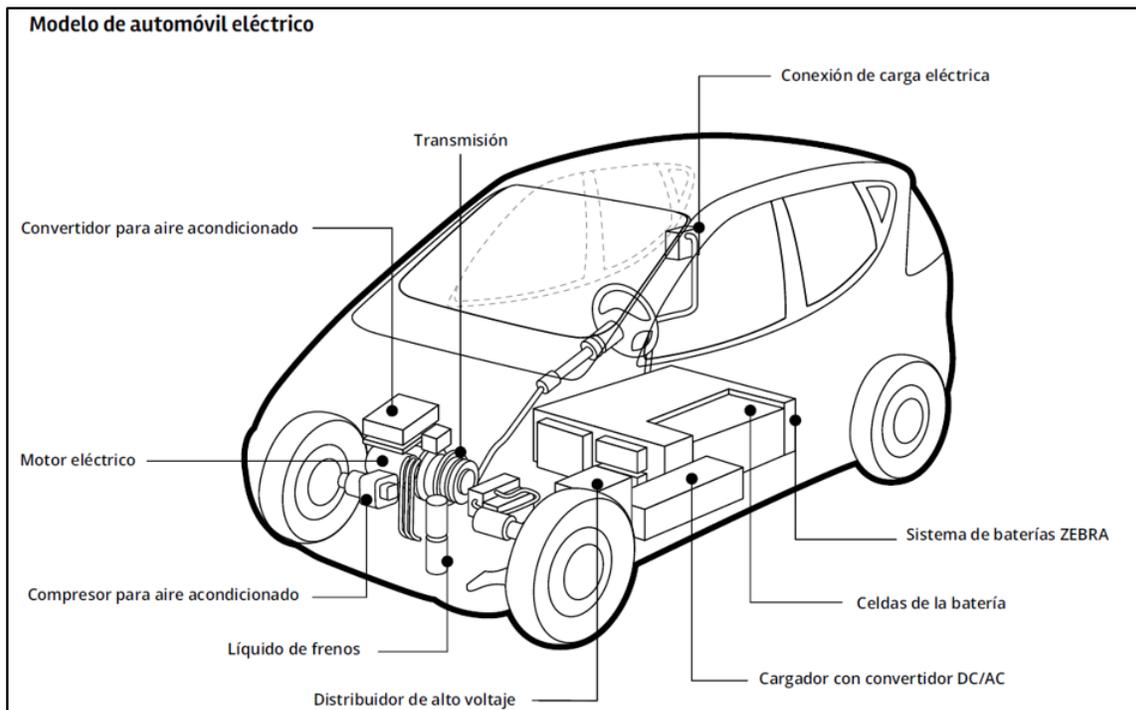


Figura 4.3: Resumen de las partes del vehículo eléctrico [14].

En la **Figura 4.3** se observa la disposición de un vehículo eléctrico común, el cual presenta los componentes que se mencionaron anteriormente. La batería tiene una posición central en el vehículo y necesita de un cargador con convertidor DC/AC para obtener la energía desde la matriz energética. Un aspecto similar a lo que presentan los vehículos convencionales es el uso de líquido de frenos, aunque se diferencian en el hecho de que los autos eléctricos buscan aprovechar la energía de frenado para cargar la batería, puesto que *“en lugar de disipar la energía del frenado en calor que se va a la atmósfera, tal energía puede aprovecharse para recargar las baterías, debido a que los motores pueden funcionar como generadores durante el frenado”* (De la Herrán, 2014)[14].

Dentro de las categorías existentes para los vehículos eléctricos, AVEC (2019)[2] señala la siguiente diferenciación:

- **Vehículo Eléctrico (BEV, Battery Electric Vehicle):** Automóvil propulsado únicamente por uno o más motores eléctricos, utilizando energía eléctrica almacenada generalmente en baterías recargables, lo que permite obtener la energía mediante distintos tipos de conexiones a la red eléctrica. En esta tesis, sólo se estudiará la inserción de estos vehículos en el mercado nacional.
- **Vehículo Híbrido (HEV, Hybrid Electric Vehicle):** Automóvil propulsado por una combinación de un motor de combustión interna y uno o más motores eléctricos, generalmente variando la participación de cada motor de acuerdo con las circunstancias del tránsito, clima, etc.
- **Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle):** Automóvil que posee un motor de combustión interna, uno o más motores eléctricos y un conjunto de baterías asociadas a ellos. Estos vehículos operan similar a vehículos híbridos, con la diferencia de que permiten al usuario conectar el vehículo directamente a puntos de carga para cargar la batería.

Según Isla et al. (2019)[26], **los vehículos BEV tienen baterías más grandes y de tecnologías mejores que los otros tipos**, lo que permite alimentar al motor eléctrico a altas velocidades. Por su parte, presentan un desafío importante al necesitar la producción masiva de baterías recargables de primer nivel, aunque son mejores que los autos convencionales al contar con un torque instantáneo y una gran eficiencia en la transmisión de energía a las ruedas (alrededor del 90%).

Otro aspecto interesante de los vehículos BEV es **su autonomía, la cual ha ido en aumento en los últimos años** al poder cumplir con que los principales modelos eléctricos que se han comercializado a nivel mundial poseen una capacidad de autonomía alrededor de 300km. Esta distancia máxima supera a la de conducción necesaria para rutas urbanas de uso diario (Isla et al., 2019)[26].

La Fundación Vida Sostenible (2011)[27] menciona que, en general, **los coches eléctricos y las baterías necesitan poco mantenimiento al presentar un número mínimo de piezas móviles**. En comparación con los vehículos convencionales, las condiciones de presión y temperatura en la parte interna de los motores son menos extremas (por el hecho de no necesitar combustión para funcionar). Las piezas interiores del motor eléctrico no necesitan mantenimiento programado ni cambio de aceite, por lo que el usuario tiene que revisar únicamente las partes del vehículo asociadas a la conducción (ruedas, frenos, ejes, entre otras).

Los autos eléctricos no necesitan tanques de gasolina, radiadores, tubos de escape ni silenciadores, pero tienen **limitaciones relevantes como la autonomía o el peso de las baterías**, el cual sobrepasa el peso de los tanques de gasolina o diésel. A pesar de esto, **ninguna de estas desventajas es grave para la conducción urbana** de estos vehículos al tratarse de trayectos cortos en su mayoría (De la Herrán, 2014). Actualmente es posible monitorear el desempeño de los vehículos eléctricos con distintos softwares (Electromov, 2020)[28].

A modo de resumen, el Ministerio de Energía define la siguiente tabla que compara a vehículos convencionales con vehículos eléctricos según sus características:

Tabla 4.1: Comparación entre vehículo convencional y vehículo eléctrico.

Ítem	Vehículo convencional	Vehículo eléctrico
Inversión	\$11.690.000	\$24.000.000
Permiso de circulación	\$170.000	\$589.200
Seguros	\$480.000	\$660.000
Kilometraje recorrido anual	40.000 km	40.000 km
Precio combustible	800 \$/litro	119.3 \$/kWh
Rendimiento	11 [km/litro]	8.8 [km/kWh]
Gasto combustible	\$3.009.174	\$556.226
Cambios de aceite anual	\$205.000	\$0
Gasto operacional anual	\$3.864.174	\$1.798.426

Fuente: Ministerio de Energía, 2019 [29].

En la **Tabla 4.1**³, se distingue que un aspecto importante que diferencia a los vehículos convencionales con los eléctricos es el precio, dado que los autos eléctricos superan en mínimo 2 veces el precio promedio de los vehículos convencionales (se detalla próximas secciones). Esto se ve reflejado en los costos del permiso de circulación, el cual está directamente relacionado con el precio. Respecto a los seguros, el vehículo eléctrico tiene una carga mayor en un 37.5% (Ministerio de Energía, 2019)[29].

Desde esta misma tabla, se desprende que el aspecto en donde el vehículo eléctrico se ve más favorecido es el gasto operacional anual, equivalente a la suma de permiso circulación, mantenimiento y combustible anual, siendo este último el principal beneficio monetario (Ministerio de Energía, 2019)[29]. Con el uso anual de estos vehículos, puede ser rentable la inversión en autos eléctricos en el mediano plazo, lo cual se estudiará en las próximas secciones.

4.2.3. Baterías

El componente esencial de los vehículos eléctricos e híbridos son las distintas variedades de baterías recargables (de ácido de plomo, hidróxido de níquel o iones de litio) donde se almacena la energía que propulsa el vehículo. Estas se diferencian de la siguiente manera (Fundación Vida Sostenible, 2011)[27]:

- **Plomo-ácido:** Se utilizaban en modelos antiguos. En desuso debido a su peso y tamaño.
- **Níquel-hidruro:** Acumula el doble de energía por kilo que las de plomo-ácido, pero con una vida útil limitada por tener un número limitado de recargas.
- **ZEBRA sodio y cloruro de níquel (Na-NiCl₂):** Estas baterías funcionan a temperaturas entre 200°C y 250°C. Suponen un gran avance en capacidad, pero destinan un 10% de esta a mantener alta la temperatura, lo que puede provocar que se descargue sola.
- **Ion-litio:** Son las que mejor cumplen, por ahora, los requisitos para el coche eléctrico y va en aumento la capacidad máxima que tienen dado el avance en la tecnología. Solo permiten entre 2.200 y 2.500 recargas completas, pero esto supone unos diez años de uso, siendo más que la vida útil propia de la batería.

³ Gasto operacional: Suma de permiso de circulación, mantenimiento y combustible anual (Ministerio de Energía, 2019).

Como norma general, las baterías de ion litio funcionan de forma más eficiente a temperaturas entre 20°C y 25°C y la pérdida de eficiencia llega a ser observable cuando las temperaturas bajen de -5°C, o suban de los 40°C de forma continuada. Además, la vida útil promedio de las baterías es de 8 años, dado que posterior a ese periodo van perdiendo eficiencia en sus procesos de carga (Fundación Vida Sostenible, 2011)[27]. Actualmente, existen baterías funcionan en base a celdas, las cuales, al conectarse, obtienen la capacidad total de la batería. Esto permite renovar las celdas que fallan con el paso del tiempo, y así no es necesario el recambio general de las baterías. El precio promedio asociado a esta renovación en Nissan corresponde a \$600 dólares.⁴

El costo de la batería de ion litio para algunos modelos oscila entre el 12.3% y 30% del precio total de venta del vehículo. Cuando el vehículo tiene componentes más costosos (de alta gama), el porcentaje del valor total asociado a las baterías disminuye por aumentar el valor de adquisición total (Isla et al., 2019)[26].

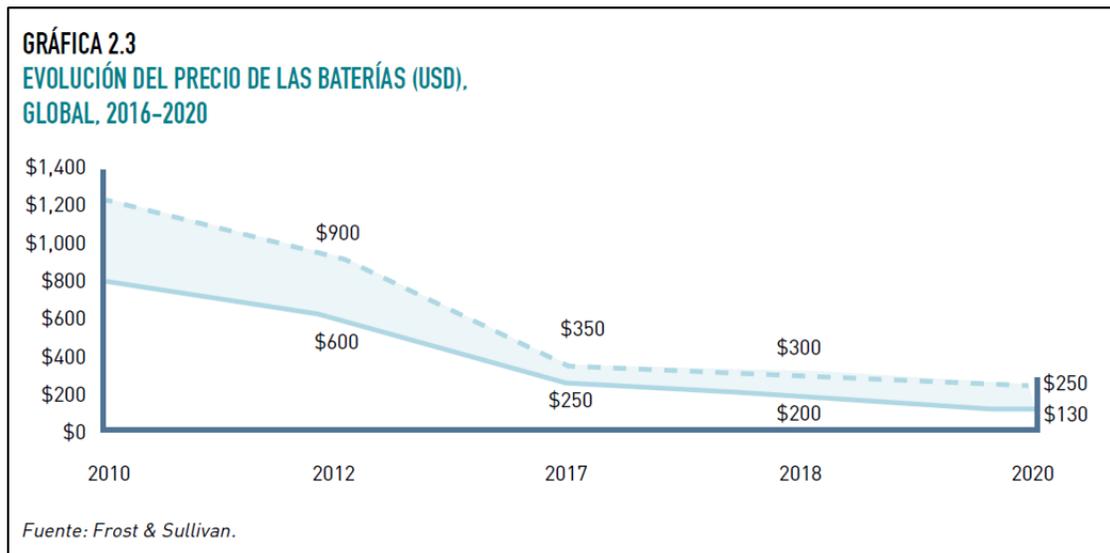


Figura 4.4: Evolución del precio de las baterías (USD) entre 2010 y 2020 [26].

En la **Figura 4.4** se observa que el precio de las baterías ha tenido una constante disminución entre 2010 y 2020. La tendencia a la baja en los costos de producción de los vehículos eléctricos va a estar sujeta a la caída de los costos de fabricación de las baterías, especialmente de los BEV y PHEV, los cuales poseen baterías mucho más grandes y de mayor densidad. Esto se irá dando principalmente por dos razones: la mejora tecnológica y, conforme vaya aumentando la producción en masa de este tipo de vehículos, las economías a escala (Isla et al., 2019)[26].

En la siguiente figura se observa que ha existido un aumento de vehículos eléctricos desde el 2010 en el mundo, lo que tiene relación con la disminución de los costos de fabricación, principalmente enfocado en el precio de las baterías.

⁴ Información obtenida desde conversaciones con la automotora Nissan.

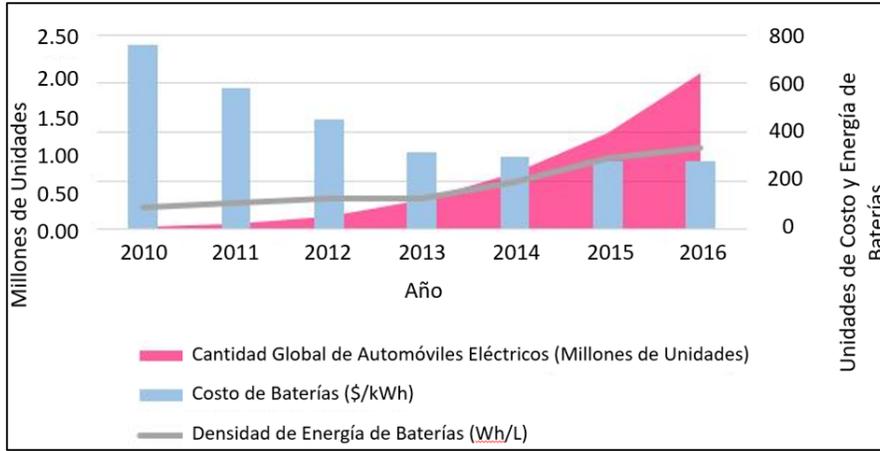


Figura 4.5: Tendencias de cantidad de automóviles eléctricos (en todas sus variedades) y de costos de baterías [24].

En la **Figura 4.5** es posible observar cómo se ha comportado el mercado de electromovilidad. En 2010 existían algunos miles de unidades, lo que cambió en gran medida el 2016 al superar los 2 millones de vehículos. Por su parte, los costos de las baterías han disminuido al haberse creado nuevas tecnologías que hacen más eficiente los procesos internos de los vehículos, y a su vez, disminuyen los costos (García, 2019)[24]. Específicamente, los vehículos eléctricos tenían un alto precio porque las baterías costaban cerca de US\$1.000 por kWh, lo que cambió drásticamente para el 2017 con precios de baterías que bordeaban los US\$209 por kWh.

Al proyectar este precio en el largo plazo, se puede analizar la siguiente figura:

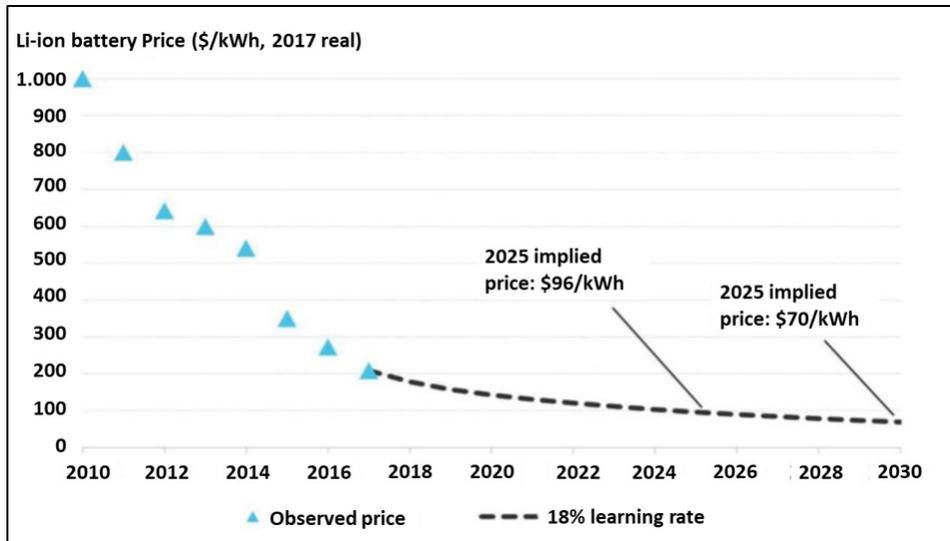


Figura 4.6: Proyección de los costos de las baterías [30].

La información diferente que entrega la **Figura 4.6**, es la proyección para los años siguientes, donde se espera que para el año 2022 y 2025 el costo y autonomía de un vehículo eléctrico sea similar al de uno de combustión interna. Según Bloomberg NEF (2018)[30], el 2030 las baterías alcanzarán un costo igual a \$70 por kWh, equivalente a un 7% de lo que costaba en 2010 (\$1000 por kWh). Esto puede influir en gran medida en el precio final del automóvil eléctrico.

Cabe señalar que los precios a la baja de las baterías por el uso de nuevas tecnologías, se verá contrarrestado con el aumento de sus capacidades totales (en el corto y mediano plazo), por lo que no será tan directa la disminución del precio final del vehículo eléctrico dadas estas variaciones.⁵

4.2.4. Mantenimiento

El **motor de un vehículo de combustión interna** consta de diferentes piezas que se conectan entre sí, las cuales están sujetas a cambios extremos de temperatura y altos niveles de fricción. El desgaste de sus componentes es inevitable, especialmente en componentes como el turbo o la caja de cambio, en la que existen volantes que funcionan en base a inercia mecánica. Además, los cambios automáticos necesitan de una renovación del fluido hidráulico con una periodicidad estricta para su correcto funcionamiento (Álvarez, 2020)[31].

Por el contrario, **los motores eléctricos son más sencillos** y no tienen aceite, pero sí cuentan con diferenciales y sistemas de transmisión de potencia bañados en aceite. La base del funcionamiento de estos motores corresponde a **sistemas de engranajes simples que transmite la potencia a las ruedas**. Estas transmisiones tienen una relación fija y carecen de marcha atrás, dado que para ir hacia atrás sólo deben invertir la polaridad del motor eléctrico (Álvarez, 2020)[31].

El **mantenimiento específico de vehículo eléctrico está programado por el propio fabricante**, y se deben seguir los intervalos marcados en el manual entregado con la compra del auto. El punto clave del mantenimiento es comprobar el correcto aislamiento de las conexiones entre batería y motor eléctrico, así como las masas del coche. Esta inspección requiere equipamiento específico y un técnico especializado en coches eléctricos, pero **no es una labor compleja y no debiese significar un coste alto al cliente** (Álvarez, 2020)[31].

Además, según Álvarez (2020), un vehículo eléctrico necesita cambiar su líquido de frenos, así como pastillas y discos de freno, aunque estos últimos presentan menos desgaste gracias a la frenada regenerativa que manejan. El motor eléctrico y la batería están refrigerados por un líquido, el cual debe cambiarse de forma periódica como ocurre con el anticongelante del motor de un coche de combustión interna. También se debe cambiar el sistema de climatización y otros elementos susceptibles de desgaste asociados al uso de un automóvil (las escobillas de los limpiaparabrisas, por ejemplo).

Los componentes de uso común entre el vehículo eléctrico y uno convencional, **tienden a tener el mismo comportamiento entre ambos tipos**. Entre ellos destacan los amortiguadores, tren de rodaje, rótulas, bieletas, guardafangos, entre otros. En líneas generales, el mantenimiento rutinario de un auto eléctrico es más sencillo y económico que de los vehículos convencionales, ya que se utilizan tecnologías diferentes (Álvarez, 2020)[31].

4.2.5. Ventas y otros datos relevantes del mercado de autos eléctricos

En esta sección se señalan algunos datos históricos y actuales respecto al mercado de autos eléctricos, tanto a nivel mundial, latinoamericano y chileno.

⁵ Información obtenida desde conversaciones con la automotora Nissan.

4.2.5.1. Desde la perspectiva latinoamericana y mundial

Dentro de los datos relevantes que existen sobre electromovilidad, se puede mencionar que este mercado tenía una participación en el mundo equivalente al 1.1 % (Ministerio de Energía, 2017)[6]. En particular, para el primer semestre del 2019 se vendieron 820.000 vehículos en el mundo, y se proyecta que el stock de automóviles eléctricos superaría los 130 millones para el 2030 (ENEL, 2020)[32].

En la siguiente tabla se observa cómo ha variado el nivel de stock de vehículos eléctricos e híbridos disponibles en cada país desde el 2013 hasta el 2017:

Tabla 4.2: Stock de vehículos eléctricos e híbridos entre 2013 y 2017 (en miles).
Más información en **Anexo A.2**.

	2013	2014	2015	2016	2017	Delta
China	32.22	105.4	312.8	648.8	1227.8	177 %
Estados Unidos	171.4	290.2	404.1	563.7	762.1	101 %
Japón	69.5	101.7	126.4	151.3	205.4	117 %
Noruega	15.7	35.4	69.2	114.1	176.3	352 %
Países Bajos	28.7	43.8	87.5	112.0	119.3	311 %
Otros	63.7	126.9	239.0	391.2	616.4	81 %
México	0.1	0.15	0.25	0.66	0.92	66 %
Brasil		0.06	0.15	0.32	0.68	125 %
Chile	0.02	0.03	0.07	0.1	0.25	79 %
Total	381.3	703.6	1239.5	1982.1	3109.1	98 %
Delta	113.0 %	84.5 %	76.2 %	59.9 %	56.9 %	98 %

Fuente: Cabrera & García, 2019 [24].

Desde la **Tabla 4.2** se desprende que el total de stock disponible desde 2013 hasta el 2017 fue continuamente creciendo, y alcanzó una velocidad promedio de crecimiento equivalente al 98 % (promedio de la variación de un año respecto al anterior). El máximo nivel de variación fue alcanzado el año 2011, cuando se obtuvo un aumento de 330.1 % respecto al 2010. Los dos primeros años fueron los más lentos en este sentido, cuando sólo hubo un crecimiento de 17.9 % y 20.5 %, respectivamente.

Los países que más han sobresalido en materia de stock disponible son China, Estados Unidos, Japón y Noruega. Estos países sumaron un 76.2 % del total disponible para el 2017, por lo que su participación de mercado fue muy relevante en el mundo. Respecto al porcentaje de crecimiento, el país que estuvo en la primera posición fue Noruega, alcanzando un crecimiento promedio de 352 %, seguido por Países Bajos con un 311 %.

Respecto a Chile tuvo un crecimiento promedio equivalente al 79 %. Como se observa, para el año 2017 sólo contaba con 250 vehículos disponibles para la venta. En la siguiente figura se presentan las ventas totales en el mundo desde 2010 hasta el primer semestre del 2019.

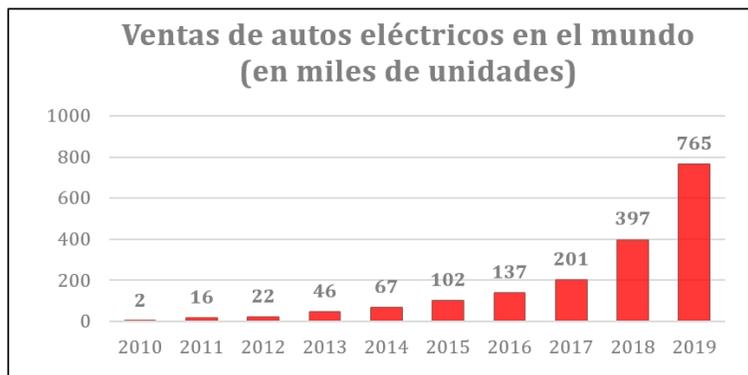


Figura 4.7: Ventas totales de vehículos eléctricos en el mundo (miles) desde el 2010 hasta finales del primer semestre de 2019 [4].

Desde la **Figura 4.7** desprende que ha existido un aumento constante en las ventas de vehículos eléctricos en el mundo. Este crecimiento se ve reflejado con una tasa promedio de variación anual equivalente a un 135 %. Por otro lado, ahora se distinguen cuáles son los países que más ventas de vehículos eléctricos tuvieron el primer semestre del 2019:

Tabla 4.3: Los 10 países con más ventas de BEV en el primer semestre del 2019.

País	Unidades	% Variación respecto al 1S 2018
China	430.700	(+) 111 %
Estados Unidos	116.200	(+) 87 %
Noruega	36.300	(+) 74 %
Alemania	33.000	(+) 72 %
Francia	24.300	(+) 38 %
Países Bajos	17.800	(+) 118 %
Corea del Sur	17.700	(+) 63 %
Canadá	13.100	(+) 37 %
Reino Unido	12.700	(+) 62 %
Japón	11.000	(-) 27 %

Fuente: Granda, 2019 [4].

Desde la **Tabla 4.3** destaca China como el país que más vendió autos eléctricos durante el primer semestre del 2019 con 430 mil unidades, seguido por Estados Unidos con 116 mil unidades. Los siguientes 3 países se alejan de estos valores, pero no se diferencian en gran medida entre ellos. En total, los 10 países que más ventas tuvieron suman 712.800 vehículos (equivalente al 93.2 % del total según la **Figura 4.7**).

El país que tuvo el mayor aumento respecto al periodo similar del año anterior fue Países Bajos con una variación de 118 %, seguido por China con 111 % y Estados Unidos con 87 %. Japón tuvo un retroceso respecto al año anterior al disminuir en un 27 %.

Ahora bien, es necesario comparar el crecimiento de las ventas de autos eléctricos (e híbridos) respecto al total del parque automotriz, para poder definir cuál es el posicionamiento de estos vehículos en el mercado mundial. A continuación, se presenta la **Tabla 4.4**, que muestra la participación de mercado de estos vehículos desde el 2005 hasta el 2017 para diferentes países.

Tabla 4.4: Participación de mercado (%) de BEV y HEV entre 2013 y 2017.

	2013	2014	2015	2016	2017	Delta
Noruega	6.0%	13.7%	22.4%	29.0%	39.2%	288%
Suecia	0.5%	1.4%	2.4%	3.4%	6.3%	108%
Países Bajos	5.4%	3.9%	9.7%	6.4%	2.7%	224%
Finlandia	0.2%	0.4%	0.6%	1.2%	2.6%	211%
China	0.1%	0.4%	1.0%	1.4%	2.2%	125%
Francia	0.5%	0.7%	1.2%	1.4%	2.2%	193%
USA	0.7%	0.8%	0.7%	1.0%	1.2%	306%
Chile		0.01%	0.02%	0.01%	0.05%	150%

Fuente: Cabrera & García, 2019 [24].

Se desprende de la **Tabla 4.4** que los mercados que más crecimiento tuvieron respecto a la participación de vehículos híbridos y eléctricos en el parque automotriz fueron Estados Unidos (306%), Noruega (288%) y Países Bajos (224%). Un caso particular es el de Noruega, en donde los vehículos eléctricos e híbridos tuvieron la mayor participación de mercado del mundo, al alcanzar un 39.2% del total de autos que transitaban por las calles sus ciudades. Suecia y Países Bajos mantienen una buena posición en este ámbito, a pesar de que en este último ha existido una disminución desde el 2015 hasta el 2017.

Para el caso de Chile, la participación de vehículos eléctricos e híbridos también ha ido al alza, con un crecimiento promedio anual de 150%. El 2017 alcanzó el máximo valor desde el 2014, año en el que empezó a tomar mayor relevancia el mercado de autos eléctricos e híbridos en el país (Cabrera & García, 2019)[21].

Si sólo se analizan los principales países de Latinoamérica, se puede observar la siguiente figura, donde distingue cómo se comportó el mercado de autos eléctricos en diferentes países de la región durante el año 2019.

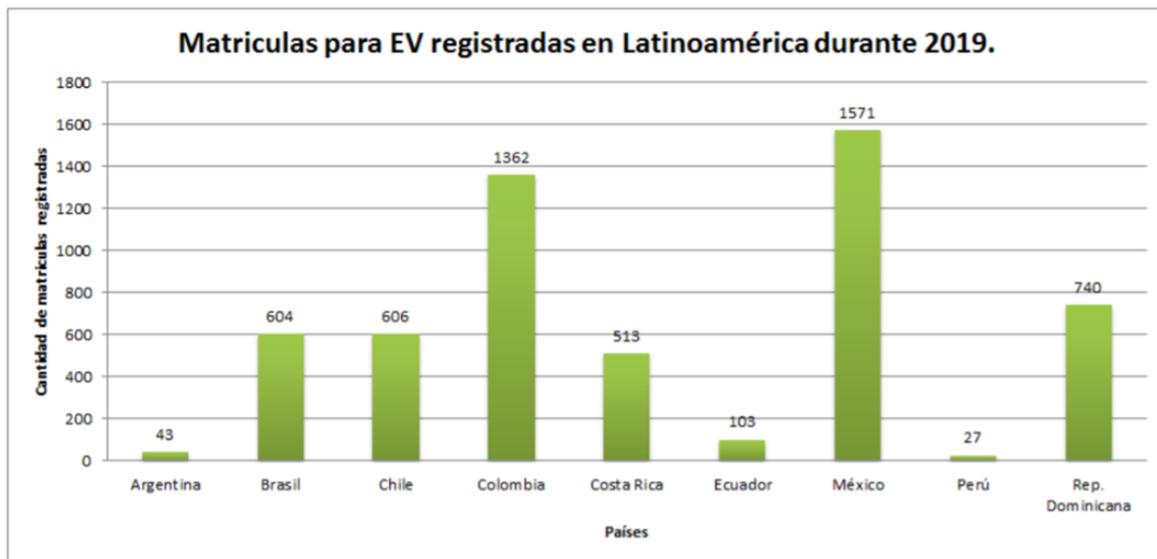


Figura 4.8: Matrículas registradas para autos eléctricos en Latinoamérica durante 2019 [2].

Desde la **Figura 4.8** se desprende que, en general, Chile se posiciona como un país con un buen desarrollo de electromovilidad dentro de la región, donde México fue el país con más vehículos registrados en Latinoamérica. En total, los 9 países analizados en la figura suman 5.569 matrículas registradas para 2019, y los tres mejor posicionados suman el 66% del total. Chile tuvo un comportamiento muy similar a lo que realizó Brasil en ese año, al superar sólo por 2 unidades a este país (AVEC, 2019)[2].

Un caso particular es lo que sucedió en Costa Rica, el cual se posiciona en el sexto lugar de Latinoamérica con un 9.2% del total, a pesar de existir diferencias importantes en el nivel de desarrollo de este país, con sus pares del continente. Casos como el de Perú, Argentina y Ecuador, demuestran que en esta parte del mundo no ha existido una gran participación de la electromovilidad en todos los sectores de la región, al sumar entre los 3 países un total de 173 matrículas de EV registradas en 2019 (AVEC, 2019)[2].

En otro aspecto relacionado con los vehículos eléctricos es relevante comparar la cantidad de autos eléctricos que fueron fabricados por las principales marcas que trabajan en este mercado. Es así como, en la **Figura 4.9**, destacan las producciones de los de mayores fabricantes de autos eléctricos en el primer semestre del 2019.

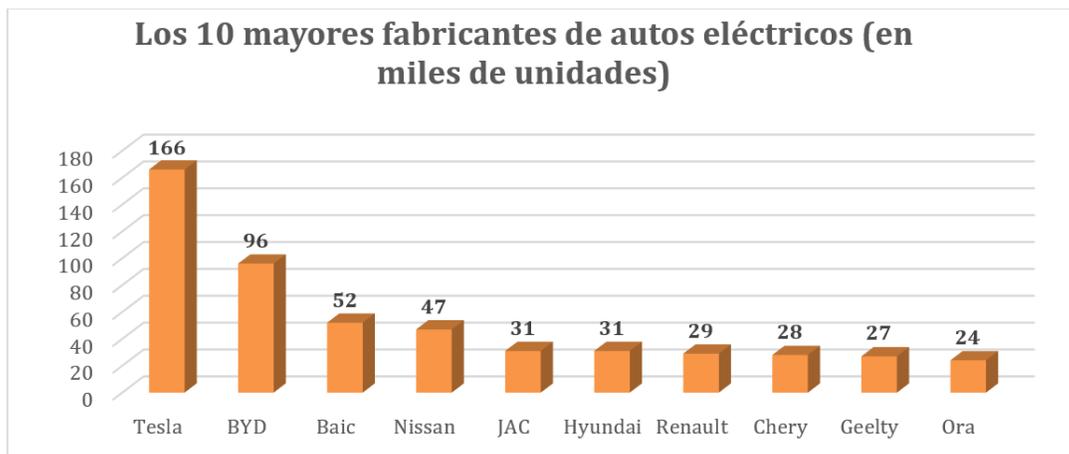


Figura 4.9: Los 10 mayores fabricantes de autos eléctricos durante el primer semestre del 2019 (en miles) [4].

La **Figura 4.9** muestra que las marcas Tesla y BYD son las que más vehículos eléctricos fabricaron durante el primer semestre del 2019, con 166.000 y 96.000 autos. Entre estas dos marcas suman un 49.3% del total (531.000), lo que demuestra el nivel de posicionamiento que presentan respecto a su producción. Las demás marcas no tienen tantas diferencias entre ellas, especialmente desde la 5° marca que más fabrica hasta la 10°, con diferencias de sólo 7.000 vehículos entre ellas.

4.2.5.2. Desde la perspectiva chilena

Respecto a lo que ha sucedido en el país, la **Figura 4.10** resume la cantidad de vehículos eléctricos vendidos entre el 2019.

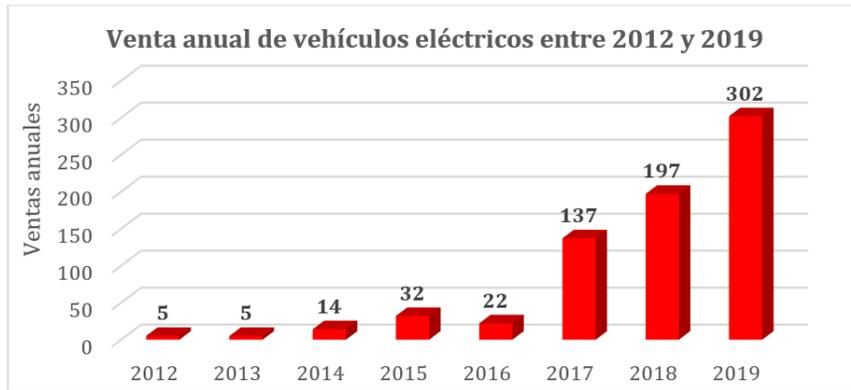


Figura 4.10: Venta anual de BEV entre 2012 y 2019 en el mundo [2].

En la **Figura 4.10** está representado cómo se comportaron los consumidores respecto a las ventas de vehículos eléctricos. Se observa que entre los años 2012 y 2016 no existieron grandes diferencias, pero desde el año 2017 se ha producido un aumento significativo respecto a los años anteriores. El total de vehículos eléctricos hasta finales del 2019 fue de 714. Este número se debe comparar con la cantidad de vehículos que eran parte del parque automotriz del país, lo que se muestra en la siguiente tabla.

Por otro lado, la participación de mercado de los autos eléctricos, representada en la **Tabla 4.5**, señala que ha existido un aumento desde el 2012 (excepto el 2016), pero no ha logrado ser un porcentaje relevante en el total de las ventas que se dieron en los diferentes años. Aun así, si se continúa con esta tendencia, la electromovilidad puede ser una posibilidad real para los consumidores.

Tabla 4.5: Participación de vehículos eléctricos en el mercado automotriz chileno entre 2012 y 2019.

Año	Venta eléctricos	Venta autos a combustión	Participación eléctricos (%)
2012	5	338.826	0.0015
2013	5	378.240	0.0013
2014	14	337.594	0.0041
2015	32	282.232	0.0113
2016	22	305.540	0.0072
2017	137	360.900	0.0380
2018	197	417.038	0.0472
2019	302	341.788	0.0884

Fuente: AVEC, 2019 [2].

4.2.6. Precio de los autos eléctricos

Respecto al precio de los vehículos eléctricos, es necesario señalar que el análisis de costos de producción de cualquier auto que funciona en base a electricidad, arroja que gran parte del porcentaje de su precio final de venta al público (entre 12 % y 50 %) corresponde exclusivamente a componentes propios de la motorización o sistema de propulsión eléctrica del vehículo, la cual es la gran diferencia que tienen en comparación con los autos convencionales (Isla et al., 2019)[26].

Estos últimos años se han visto reducciones importantes en el costo de los autos eléctricos, principalmente por la disminución del costo de las baterías. Dado esto, el Ministerio de Energía (2017) estima que entre 2025 y 2030 los vehículos eléctricos tendrán precios similares a los que ofrecen los de combustión interna.

En la siguiente figura se muestran los 5 vehículos eléctricos más vendidos durante el 2018 en Chile (información hasta marzo del 2019), con algunas características comparativas entre ellos.

			
Vehículo	Hyundai Ioniq	BMW i3	Nissan Leaf
Precio	\$25.590.000	\$42.300.000	\$28.490.000
Número de autos	116	57	51
Rendimiento (km/kWh)	8.8	7.6	5.0
Gasto en energía al año	\$250.000	\$289.474	\$440.000

		
Vehículo	Renault Fluence (ya no se vende)	Citroen Berlingo Eléctrico
Precio	\$13.600.000	\$27.358.100
Número de autos	23	21
Rendimiento (km/kWh)	7.1	5.8
Gasto en energía al año	\$309.859	\$379.310

Figura 4.11: Vehículos eléctricos más vendidos en Chile para 2018 (CLP) [33].

En la **Figura 4.11** se logra observar que el auto más vendido durante el 2018 fue el Hyundai Ioniq con 116 unidades hasta marzo del 2019, con un precio igual a \$25.590.000 CLP. Luego aparecen los modelos BMW i3 y Nissan Leaf, los cuales tuvieron diferencias en ventas de sólo 6 autos, a pesar de que el primero tenía un precio superior en 48.5% al Nissan Leaf. Otros modelos que destacaron durante este periodo fueron el Renault Fluence con 23 unidades (el cual ya no presenta stock en 2020) y el Citroen Berlingo con 21 unidades (Vicuña, 2019)[33].

Comentario aparte tiene relación con el rendimiento de estos vehículos. Para el año 2018 el auto eléctrico que más rendimiento tenía entre los más vendidos fue el Hyundai Ioniq con 8.8 km/kWh, lo que puede explicar el alto interés de los consumidores por adquirir este vehículo, dado el nivel de precio respecto a su autonomía. Por su parte, el Nissan Leaf era el que menor rendimiento ofrecía ese año entre los 5 autos, al sólo rendir 5.0 km/kWh.

Al analizar el gasto en energía anual, se observa que el Hyundai Ioniq se posiciona como el auto menos gastador al estimarse un promedio de \$250.000 CLP, lo que es muy contrario al Nissan Leaf con un gasto anual de \$440.000 CLP anuales. Esto es un factor relevante que deben considerar los compradores de autos eléctricos al momento de escoger algún vehículo (Vicuña, 2019)[33].

Para mayo del 2020 se presenta la siguiente figura donde se comparan los precios disponibles en Chile con lo que sucede en Europa respecto a los mismos vehículos eléctricos.

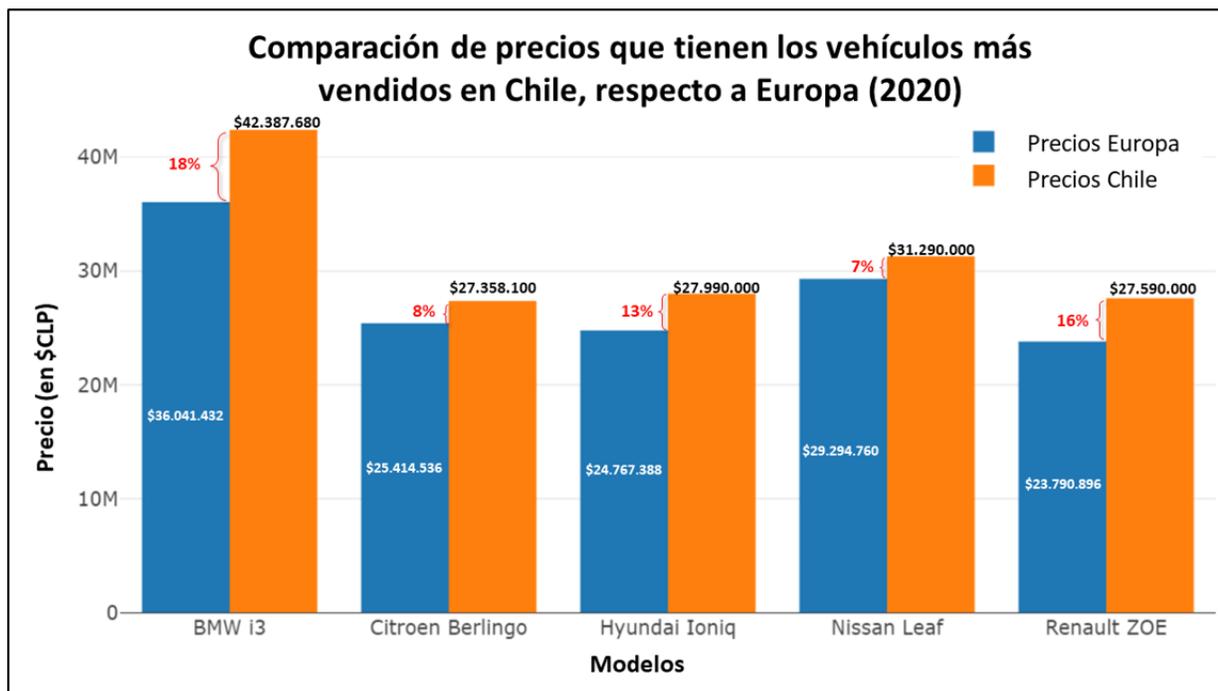


Figura 4.12: Comparación entre precios de Chile respecto a Europa (2020). Valores europeos calculados con un valor del Euro igual a \$887.61 CLP [EP].

La **Figura 4.12** señala que todos los vehículos de la muestra presentan precios mayores en Chile que lo ofrecido en Europa. La mayor diferencia entre precios se observa en el modelo BMW i3 con un valor superior en 18% en las ofertas chilenas respecto a las europeas, mientras que la menor diferencia se da en el modelo Nissan Leaf con un 7%. Un detalle importante es que el precio del auto más vendido (Hyundai Ioniq) aumentó en 2.5 millones de pesos chilenos en sólo 2 años, lo cual puede generar desincentivos para la compra de estos vehículos (según **Figura 4.12**).

Cabe señalar que en esta figura resalta un modelo que no se había mencionado, el cual corresponde al Renault ZOE. Este modelo es un citycar tipo hatchback. El precio que se maneja en Europa es menor en un 16% respecto a su similar en Chile.⁶

⁶ Recopilación de información desde diferentes automotora nacionales y de Europa.

4.2.7. Actores que interactúan sobre el mercado de autos eléctricos

Para comprender cómo funciona el mercado de autos eléctricos se debe entender cuáles agentes son los que participan en las decisiones que definen el comportamiento de los consumidores finales. En algunos casos como en Costa Rica y Colombia, el fomento de la electromovilidad ha sido resultado de la comunicación interministerial (Energía, Transporte y Medioambiente), junto con actores relevantes como generadoras y distribuidoras de energía, sector académico, fabricantes y concesionarias de automóviles, mineras, etcétera (Isla et al., 2019)[26].

Los gobiernos locales y las municipalidades se deben involucrar en la toma de decisiones asociadas a la electromovilidad y en la distribución de beneficios económicos para las personas que viven en sus respectivas zonas urbanas. En América hay precedentes positivos a escala de ciudades, así como la recopilación de lecciones en materia de involucramiento de municipalidades en la puesta en marcha de programas piloto para buses y taxis eléctricos (ONU, 2018)[34].

El sector privado debe tomar parte relevante en el tema para fomentar un impulso eficiente de la electromovilidad. Se debe considerar que, si las estrategias gubernamentales no están alineadas con los intereses de las empresas privadas se podría desacelerar el avance de esta tecnología. Esto puede suceder, por ejemplo, con visiones que no sean compatibles respecto a lo que se espera de la infraestructura de carga en las regiones. El sector eléctrico, minero, industrial, de transporte y otros que puedan trabajar con electromovilidad, deben estar dispuestos a ser parte de mesas de trabajo asociadas al tema, como lo enmarca la Estrategia para 2050 (ONU, 2018)[34].

Por ejemplo, el Banco Interamericano de Desarrollo señala que *“son varias las empresas y Estados que han tomado la iniciativa de convertir o recambiar sus flotas de vehículos comerciales a eléctricos. Principalmente son las empresas de servicios de transmisión y distribución de electricidad en la región las que han emprendido esta transición, como son UTE (Uruguay), Edesur (Argentina) o ENEL Distribución (Chile), pero también otras compañías no directamente vinculadas con el rubro de energía, y que buscan promover su imagen verde”* (Isla et al., 2019)[26], lo cual puede ser un incentivo para las empresas que deseen ofrecer sus servicios a clientes que una mentalidad más limpia sobre el medioambiente.

Además, **las empresas privadas pueden aprovechar las oportunidades de negocios que pueden surgir con el fomento de la electromovilidad.** Esto puede generar nuevos empleos y nuevas ofertas para el mercado nacional. Por ejemplo, el litio puede tomar un rol preponderante en el país por la necesidad de este elemento en la construcción de las baterías (Isla et al., 2019)[26].

4.2.7.1. Transporte público

Es importante el fortalecimiento e integración de capacidades de los operadores de transporte público, dado que hasta el momento han existido proyectos piloto en algunas ciudades del país. Sin embargo, una introducción a gran escala de buses o taxis eléctricos necesita algunos requerimientos técnicos y de infraestructura para que se pueda alcanzar la meta planteada en la Estrategia para el 2050. Una gran dificultad que presenta el sistema de transporte público para fomentar la electromovilidad es que, cambios a gran escala suelen ser posibles únicamente a través de licitaciones públicas que ocurren cada 10 o más años en cada ciudad, lo cual puede limitar las decisiones que pueden tomar los operarios sobre sus flotas (Isla et al., 2019)[26].

Santiago de Chile posee una flota de 383 vehículos eléctricos de transporte público (en la Región Metropolitana), lo cual posiciona al país como uno de los países con mayor electromovilidad del mundo en el sistema de transporte de pasajeros. “Estos buses son utilizados por más de 660 mil personas de manera diaria, los cuales indican además que el servicio aumenta considerablemente su calidad mediante estos buses, dado que no contaminan ni generan ruido, disminuyendo la contaminación atmosférica y acústica” (AVEC, 2019)[2]. También han existido incentivos para taxis colectivos, los cuales se detallarán en las próximas secciones.

4.2.7.2. Consumidores

Dentro de los consumidores están los compradores o dueños de vehículos eléctricos privados y usuarios de transporte público. Según la ONU, como el foco tradicional se materializa en las alianzas entre gobiernos y empresas, *“es fácil que el rol del consumidor y usuarios sea un “punto ciego” en las estrategias nacionales”* (ONU, 2018)[34]. A pesar de esto, es importante recalcar que son los consumidores los que permiten una rápida adopción de las nuevas tecnologías, por lo que parte importante de los esfuerzos que se realicen sobre electromovilidad deben estar focalizados hacia ellos (ONU, 2018)[34].

Entonces, es **necesario analizar aquellos factores que influyen en la decisión de compra de los consumidores**. Según Figueroa (2018), la utilidad de los individuos aumenta con una mayor autonomía del vehículo y con la posibilidad de tener un estacionamiento con carga gratis en las cercanías del trabajo. Por el contrario, **la utilidad se ve afectada negativamente con el aumento excesivo de la cuota a pagar** (Figueroa, 2018)[35].

En Noruega, por ejemplo, un consumidor que hace la transición a la movilidad eléctrica persuade, en promedio, a tres personas a hacer lo mismo. En la etapa temprana de la transición a las tecnologías de movilidad eléctrica es probable que el sector más entusiasta de la tecnología esté en el sector de los usuarios (ONU, 2018)[34].

También es clave para los consumidores el nivel de red de carga que exista dentro de la ciudad de residencia. **Con una red apta para el uso constante del vehículo se incentiva a la compra de los vehículos eléctricos**. Un aspecto interesante es que los hombres son menos propensos a comprar un auto eléctrico que las mujeres, y aquellos que usan el vehículo de manera más constante en la semana, tienen menos probabilidad de adquirir un auto con propulsión eléctrica (Figueroa, 2018)[35].

4.2.8. Chile productor de insumos para baterías de autos eléctricos

Chile puede tener un rol relevante en el abastecimiento de insumos, debido a las reservas de cobre y litio que existen en el país. Un auto eléctrico requiere entre 80 y 85 kilogramos de cobre. Al analizar lo que se ha proyectado para los próximos años, se hará necesario el uso de entre 2 y 4 millones de toneladas de cobre adicional, los cuales deben tener certificaciones de baja emisión o huella de carbono neutra (García, 2019)[24].

Además, una batería de auto eléctrico necesita entre 40 y 80 kilogramos de litio, y se estima que la demanda de litio aumentará en 180 mil toneladas, incrementando en US\$1.000 millones

las ventas globales al 2025. Entonces, Chile puede ser un agente importante en la producción de insumos mineros con cero trazabilidad de CO₂, como el litio, cobre verde y cobalto (García, 2019)[24]. Hay que considerar que Chile contaba el 2016 con un tercio de la producción de litio y con más de la mitad de las reservas mundiales (Ministerio de Energía, 2017)[6]. *“Si bien hoy está limitado al rol extractivo, principalmente de carbonato de litio, existen proyectos en curso para el desarrollo de productos con alto valor agregado, como cátodos y celdas de baterías”* (Ministerio de Energía, 2017)[6].

4.3. Iniciativas e instrumentos financieros usados para fomentar la electromovilidad

Las principales economías desarrolladas han implementado programas de estímulos para la compra de vehículos 100 % eléctricos, los cuales **pueden tener un sentido financiero** con efectos sobre el precio final del vehículo, subvenciones para los compradores, exención de pago de registro, liberación o disminución de pagos de aranceles de importación, o devolución de impuestos al final del año cuando se hace la declaración de renta. **Otros estímulos son indirectos**, como los beneficios de estacionamiento, carriles preferenciales, circulación por zonas restringidas para vehículos con combustión interna, exención de pago de peajes, etc. Varios de estos estímulos **buscan visibilizar el uso del vehículo eléctrico** en los países (Isla et al., 2019)[26].

Por su parte, algunos fabricantes han generado un plan para descontaminar el medio ambiente, donde en algunos casos se han anunciado una cantidad de modelos con energía EV, como sucede con KIA y Hyundai, quienes anunciaron 31 modelos de EV para el 2021 entre ambas marcas. También está el caso de BMW quienes presentarán 12 modelos EV y 13 modelos híbridos para el 2025 (García, 2019)[24].

En algunos países se han tomado medidas drásticas sobre la venta y producción de autos que funcionan con combustibles fósiles. Es el caso de Reino Unido, China, Francia, Alemania, India, Irlanda, entre otros, quienes han anunciado prohibiciones de ventas de vehículos nuevos que funcionen con combustión interna para el periodo entre 2030 y 2040 (García, 2019)[24]. A continuación, se detallan algunas decisiones tomadas en diferentes países del mundo.

4.3.1. Países de Europa y Canadá

■ Alemania

En 2016 en Alemania se aprobó la propuesta de subsidio para la compra de automóviles eléctricos, cuyo objetivo era fomentar la electromovilidad. Para esto se propuso tener 1 millón de autos eléctricos circulando por las carreteras alemanas para el 2020. Esta propuesta fue planteada de manera que **trabajaran en conjunto el gobierno alemán con la industria de automóviles, pues los costos serían asumidos equitativamente entre ambas partes** (Reuters, 2016)[36].

Este programa tuvo vigencia en todo el territorio germano y contó con un presupuesto de **1.200 millones de euros** (aproximadamente, 1.100 millones de pesos) para generar incentivos de compra con fecha límite a fines del año 2019. El valor del subsidio fue de 4.000 euros para los compradores de autos eléctricos y de 3.000 euros para compradores de autos híbridos, sólo si los modelos tenían un valor mayor de 60.000 euros (Reuters, 2016)[36].

Para finales del 2017 se contabilizó un total de 131.000 autos eléctricos en el país, por lo que se aplazó la meta de 1 millón de automóviles para el año 2022. En febrero del 2020 el gobierno germano decidió aumentar el subsidio, llegando a incentivos de 6.000 euros para modelos que tuvieran un costo hasta 40.000 euros y un subsidio de 5.000 euros para autos eléctricos cuyo precio superara los 40.000 euros (Gutiérrez, 2020)[37].

Hasta febrero del 2020 se contaba con un total de 191.838 solicitudes para indemnización por compra de autos eléctricos, según la Oficina Federal de Asuntos Económicos y Control de Exportaciones (Wettengel, 2020)[38].

▪ Países Bajos

Hasta 2017 los vehículos eléctricos se beneficiaban con la **exención del impuesto de beneficio en especies (BIK)** en Países Bajos, el cual representaba hasta el 22 % del precio final de un vehículo. Esta medida consideraba un aumento gradual del valor del impuesto pagado por vehículos eléctricos (es decir, una reducción de la exención), lo que se explica con los siguientes procesos (DutchNews, 2018)[39]:

- En 2018 los impuestos pagados por este tipo de vehículos eran de un 4 %.
- En 2019 los impuestos pasaron a ser de solo un 4 % para vehículos con precio menor a 50.000 euros.
- Para 2020 el impuesto subió a un 8 % y solo para vehículos con un precio inferior a 45.000 euros.
- Para el año 2026 este impuesto volverá a ser de 22 % para todos los vehículos.

Con este aumento gradual de los impuestos se logró un aumento en las ventas de vehículos eléctricos de alto valor en 2018, ya que las personas se adelantaron a la compra antes de los aumentos graduales de los impuestos. Para el siguiente año se vieron favorecidos los vehículos de menor valor. Se espera que esta estrategia ayude a reducir los precios por la baja de los impuestos y alcanzar costos competitivos entre los vehículos eléctricos y los de combustión para el año 2026 (DutchNews, 2018)[39].

Algunos de los efectos de estos impuestos se traducen en la venta de 24.000 unidades de vehículos eléctricos durante 2018, lo que representa un 31.2 % de las ventas, porcentaje que en 2017 fue de un 20.8 % (García, 2019)[40]. Cabe señalar que la variación del impuesto reduce los ingresos tributarios del gobierno, lo que debe ser compensado con otras medidas como aumentos de impuestos a combustibles, impuestos por kilómetro recorrido en carreteras o creación de peajes (Raya, 2020)[41].

▪ Noruega

Es sin duda uno de los países pioneros en adopciones de vehículos eléctricos. Las políticas de adopción de este tipo de autos, en especial de cero emisiones, han sido impulsadas desde 1990 y fuertemente apoyadas por el gobierno noruego. El parlamento noruego ha fijado como objetivo nacional que todos los autos nuevos vendidos para 2025 deben tener cero emisiones (eléctricos o de hidrógeno). Para lograr esto han desarrollado una serie de políticas nacionales, donde resalta que **Noruega ha usado la recaudación de sus impuestos verdes desde autos contaminantes para financiar incentivos hacia vehículos con cero emisiones** (Regjeringen, 2019)[42].

Estos impuestos se calculan por kilogramo de emisiones reales de CO₂ y de dióxidos de nitrógeno. Se gravan 22.69 coronas noruegas (1.850 CLP) por cada kilogramo. El impuesto por el lado del CO₂ es más fuerte, alcanzando un total 38.48 coronas (3.040 CLP) por cada kilogramo de emisión. Con esto, surge un financiamiento directo desde impuestos que buscan apoyar al medio ambiente hacia vehículos que no lo contaminan (Regjeringen, 2019)[42].

■ España

El programa MOVES se ha desarrollado e implementado en España enfocado en electromovilidad. Corresponde a subsidios dirigidos específicamente a 3 ítems (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019)[43]:

- Adquisición de vehículos eléctricos (motocicletas y vehículos ligeros) o de propulsión alternativa (por ejemplo, a gas, solo para camiones y buses).
- **Establecimiento de estructuras de recarga.**
- Implementación de sistemas de préstamos de bicicletas eléctricas.

Para la adquisición de vehículos se exige el achatarramiento del vehículo antiguo si no cumple con ciertas condiciones que tienen relación con el medio ambiente (emisiones de CO₂, rendimiento, antigüedad, entre otras).

Se subsidian alrededor de 700 euros (\$650.000 pesos chilenos) por compra de motocicletas eléctricas y 15.000 euros (\$14 millones de pesos chilenos) por compra de camiones y buses con propulsión alternativa. El subsidio para vehículos ligeros 100 % eléctricos corresponde a 1.300 euros si la autonomía del coche eléctrico es igual o menor a 12 kilómetros, y hasta los 5.500 euros si supera los 72 kilómetros de autonomía 100 % eléctrica. Por su parte, **las automotoras deben aplicar un descuento mínimo de 1.000 euros** (935.000 CLP) en la factura de venta (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019)[43].

En cuanto a los puntos de recarga de vehículos eléctricos (públicos y privados) y a los sistemas de préstamos de bicicletas eléctricas, las ayudas varían entre un 30 % y 40 % del coste subvencionable, dependiendo del tipo de beneficiario, con un límite de 100.000 euros (Mezcua, 2019)[44].

El presupuesto para el programa MOVES es de 45 millones de euros para el año 2020, equivalente a \$42.083 millones de CLP (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019). Este presupuesto es dividido entre los 3 ítems señalados de la siguiente forma: entre un 20 % y un 50 % será destinado a la adquisición de vehículos eléctricos o de propulsión alternativa; entre un 30 % y un 60 % para el establecimiento de infraestructuras de recarga; y entre un 5 % y un 20 % para la implementación de sistemas de préstamos de bicicletas eléctricas (Mezcua, 2019)[44].

Los subsidios pagados en noviembre del año 2019 para la adquisición de los vehículos mencionados anteriormente fueron de 20 millones de euros, según datos recopilados por el portal ABC y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Si bien es una cifra alta, es tan solo un 47 % del monto otorgado por el plan MOVES para el año 2019, lo que se debe principalmente a la restricción de achatarramiento de un vehículo de 10 o más años, sin embargo, para el proceso 2021 de MOVES se planea que esta restricción quede objetada (Mezcua, 2019)[44].

■ Canadá

En el contexto de la reconversión del parque automotor canadiense, el gobierno federal impulsó en mayo del 2019 un plan de incentivos para la adquisición de vehículos no contaminantes. Este programa tiene cobertura nacional y aplica para diferentes sectores, como ciudadanos y organizaciones sin fines de lucro debidamente registradas, quienes pueden utilizar el programa sólo una vez en un año calendario. También son elegibles para la entrega de fondos los gobiernos provinciales, territoriales y municipales que operan flotas, quienes pueden optar a un máximo de 10 incentivos en un año. Este es un plan de tiempo limitado con un horizonte de 5 años que empezó en mayo del 2019 y que está asociado con las metas descontaminantes planteadas por Canadá para el 2024 (Transport Canada, 2020)[45].

El valor de este plan depende del nivel de incentivo, de la siguiente forma:

- Por un lado, los autos con batería eléctrica que utilizan una pila de hidrógeno y los híbridos de carga de larga duración pueden acogerse a un beneficio equivalente a \$5.000 dólares.
- Por otra parte, los compradores de autos híbridos de carga rápida pueden solicitar un subsidio de \$2.500 dólares.

Entre los requisitos de este plan resalta el hecho de que los autos no superen un valor de \$45.000 dólares y para rodados que no sobrepasen los \$60.000 dólares. En caso de que el vehículo a comprar estuviese dentro del listado de elegibles, el concesionario es el encargado de aplicar el descuento al cliente a cargo del plan descrito. Además, este plan es acumulativo con beneficios que pudiesen aplicar cada Estado canadiense en particular (Laborda, 2019)[46].

En términos ambientales, durante los primeros meses de ejecución de este plan, el ministro federal de Transporte, Marc Garneau, confirmó que en sólo 6 meses el plan había beneficiado a 14.000 compras de vehículos no contaminantes, lo que a un subsidio promedio de \$3.750 dólares representan un desembolso por una cifra cercana a los \$52.500.000 dólares (Laborda, 2019)[46].

4.3.2. Lationamérica

Existían las siguientes iniciativas para electromovilidad en LATAM (Isla et al., 2019)[26]:

RESUMEN DE NORMATIVAS E INCENTIVOS POR PAÍS, AMÉRICA LATINA, 2018									
	Argentina	Uruguay	Brasil	Paraguay	Chile	Ecuador	Colombia	Costa Rica	México
Descuento/Exención arancelaria	X	X	X	X	N/A	X	X	X	X
Descuento/Exención IVA				X		X	X	X	
Descuento/Exención otros impuestos internos		X		N/A	N/A	X	X	X	X
Descuento/Exención matrícula/tenencia/circulación		X	X			X		X	X
Tarifas de electricidad preferenciales o gratis	X*	X		X*	X*			X	X
Carriles preferenciales/zona de congestión						X	X	X	
Estacionamientos preferenciales					X*	X	X	X	
Programa taxis eléctricos		X	X		X	X	X	X	X
Red de cargadores públicos (valores aproximados)	4	47	200	10	55	15	40	50	900

Figura 4.13: Resumen de incentivos en países latinoamericano hasta 2018 [26].

Se desprende de la **Figura 4.13** parte de lo descrito anteriormente, dado que Costa Rica era el país que más facilidades había entregado a los consumidores para el uso de vehículos eléctricos en 2018. Caso contrario vivía Argentina, país que estaba muy retrasado respecto a las medidas implementadas, al solo ofrecer el descuento de aranceles y tarifas preferentes para la carga eléctrica.

Ecuador, Colombia y México son países que han participado activamente en el mercado de autos eléctricos, al ofrecer programas para taxis eléctricos, exención de impuestos y descuentos arancelarios, entre otras medidas. Sobre la red de cargadores públicos, el país que mejor se ha comportado es México, con 900 puntos de carga para el 2018, seguido por Brasil, con 200 cargadores, lo cual representa una gran diferencia.

El caso chileno estaba retrasado para ese periodo, al contar sólo con programa para taxis eléctricos, estacionamientos y tarifas preferenciales de carga para los vehículos. Esto se detalla concretamente en la siguiente sección.

▪ **Brasil**

En Brasil, el mercado de autos eléctricos ha presenciado un alto nivel de penetración en los consumidores desde el 2014, aunque al igual que en gran parte de los países latinoamericanos, los altos precios y la dificultad para implementar una buena infraestructura de carga han sido las mayores limitantes para la compra de estos vehículos (Isla et al., 2019)[26].

La mayoría de las actividades de las empresas automotrices se encuentran orientadas a la introducción de sus vehículos a nivel consumidor y al **trabajo en conjunto con gobiernos y empresas para mejorar la infraestructura de carga** (Isla et al., 2019)[26].

▪ **Colombia**

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (2018), el mercado colombiano es uno de los más prometedores respecto a la inserción de vehículos eléctricos, dado que el gobierno ha tomado medidas desde el 2009 para impulsar la electromovilidad en el país (Isla et al., 2019)[26].

En particular, destaca en Colombia la **organización que tienen los consumidores para usar la infraestructura de carga**, lo cual se realiza a través de una tarjeta inteligente que permite unir los costos de recargar el vehículo con el gasto energético de los hogares. Así, al final de cada mes, las personas que tiene vehículos eléctricos pueden determinar cuánto gastaron en electricidad en la misma boleta de luz de sus casas. También existe la opción de pagar la recarga con aplicaciones para celular (Isla et al., 2019)[26].

▪ **Costa Rica**

Costa Rica cuenta con una de las mejores estructuras para fomentar la electromovilidad a nivel latinoamericano, con **la definición concreta de todas las responsabilidades que deben tener los agentes asociados al tema**. Por ejemplo, la Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico, permite **unificar los trabajos públicos y privados** para una eficiente construcción de la infraestructura de carga, entre otros aspectos. El objetivo del país es conseguir que exista un punto de recarga cada 80 km en las carreteras y no sólo en estacionamientos gubernamentales, sino que también lugares públicos (Isla et al., 2019)[26].

En diciembre del 2017 **se aprobó una ley que elimina casi todos los impuestos que se les cobran a los vehículos eléctricos y también se declararon las obligaciones de todos los ministerios involucrados en la electromovilidad.** Así mismo, escuelas técnico-industriales, centros comerciales, estacionamientos y concesionarios han colocado cargadores públicos. Considerando la escasa extensión geográfica que tiene Costa Rica se presenta como un país ideal para el desarrollo de la electromovilidad urbana e interurbana (Isla et al., 2019)[26].

4.3.3. Chile

En Chile, la creación de la Estrategia Nacional de Electromovilidad buscó marcar un antes y un después en los objetivos planteados en el mediano y largo plazo sobre el uso de autos eléctricos. **A la fecha, la falta de oferta de mercado, elevados precios y escasos incentivos, son factores que explican el incipiente despegue de este mercado.** Sin embargo, la naciente red de infraestructura de carga y la discusión de políticas estatales afines son indicios de un desembarco hacia el 2025 (Isla et al., 2019)[26].

Para el 2018 existían proyectos y compromisos ambiciosos de un despliegue masivo de cargadores públicos sobre un proyecto nacional de empresas como Enel, Engie y Chilquinta. **Un desafío importante que presenta Chile es la amplia geografía** que tiene, al ser un país largo con más de 4.300 km entre el norte y el sur, lo cual dificulta la posibilidad de alcanzar todos los sectores del país con los puntos de carga (Isla et al., 2019)[26].

Uno de los incentivos ofrecidos en Chile es la aplicación de impuestos verdes (explicado en secciones anteriores), los cuales han aumentado el costo de los vehículos contaminantes para fomentar la compra de autos más limpios con el medio ambiente. Además, los vehículos eléctricos están exentos de la restricción vehicular, por lo que no tienen la prohibición de circulación asociadas a sus placas patentes (AVEC, 2019)[2].

También existen en el país espacios preferentes con infraestructura de carga para vehículos eléctricos, aunque, en general, *“las leyes relativas al uso y administración de los estacionamientos del país solo mencionan que los vehículos eléctricos tienen preferencia por sobre los vehículos a combustión, y no contemplan ninguna multa o penalización por el uso indebido del espacio por parte de estos últimos vehículos”* (AVEC, 2019)[2]. Por último, cabe señalar que la gran mayoría de las electrolinerías que estaban disponibles en 2019 permitían recargar un vehículo eléctrico de manera completamente gratuita sin pagar por el servicio (AVEC, 2019)[2].

4.3.3.1. Taxis eléctricos

En el marco de la licitación llevada a cabo por la Seremi de Transportes para instalar 60 radiotaxis para operar en la Región Metropolitana, Engie Chile se adjudicó el 50 % de los vehículos licitados el 2018, convirtiéndose así en el mayor adjudicador de esta operación como el único actor de la industria energética que participó de este concurso (Revista EI, 2018)[47].

Por otro lado, a partir del último trimestre del 2019 **comenzaron a circular los primeros 60 taxis eléctricos ejecutivos por las calles de Santiago.** Esta flota subió considerablemente el parque de estos vehículos, que hasta ese entonces solo ascendía a tres autos (MTT, 2018)[48].

En enero del 2020 se abrió el concurso para postular a **120 nuevas patentes de transporte público menor**, en las comunas de Valparaíso y Viña del Mar y en la provincia de San Antonio, todas ellas destinadas a taxis básicos con la distinción de que **los vehículos deben ser eléctricos**. El otorgamiento de **la patente para taxi básico se realizaría de forma gratuita**, siempre y cuando el beneficiado realice la inscripción de un vehículo eléctrico como transporte público menor (Electromov, 2019)[49].

Además, con una flota de 12 taxis ejecutivos eléctricos, *Eviaja* conectaba desde inicios del 2020 a 12 comunas capitalinas con el Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago, y prestaba servicios en Valparaíso a través de dos taxis de la flota. Con diez Nissan Leaf y dos Hyundai Ioniq en Santiago, ofrecen servicio de traslado desde y hasta el Aeropuerto. Cuentan con una tarifa fija para cada traslado, definida en la licitación del Ministerio de Transporte (Electromov, 2020)[49].

4.3.3.2. Renueva Tu Micro

Para entender cómo se han trabajado proyectos similares en el país, se puede analizar el caso del proyecto “Renueva Tu Micro” (vigente desde 2013 hasta la actualidad), el cual es un programa nacional de renovación de buses con una cantidad de años de antigüedad no menor, para incentivar la presencia de un mejor servicio, mayor seguridad, menos contaminación y con un fin último de mejor calidad de vida para los usuarios (MTT, 2020)[50]. La idea es entregar un monto según:

- Los años de antigüedad del vehículo saliente.
- Los años de antigüedad del vehículo entrante (por el cual se cambiará el bus antiguo).
- La cantidad de asientos que tiene el bus.

Es así como, según la cantidad de asientos (mayores a 0 para minibuses, entre 0 y 38 plazas, entre 39 y 67, y por sobre 68 asientos), existen tablas de subsidios para poder cambiar un bus antiguo. El dueño de un bus puede decidir cambiar su fuente de trabajo por un vehículo más actual, y, por tanto, con mejores tecnologías que ayuden a descontaminar el medio ambiente (MTT, 2020)[50].

En particular, este proyecto no incentiva directamente a comprar buses eléctricos, pero entrega un beneficio extra si se renueva por este tipo de vehículos: *“a los montos previamente indicados deberá sumarse un incentivo adicional por cambio de tecnología de \$748.000 en caso de que el vehículo entrante funcione con tecnologías más eficientes y menos contaminantes, tales como vehículos con propulsión a gas, electricidad, híbrida o diésel de estándar Euro IV o superior, entre otras”* (MTT, 2020)[50]. Esto iría sumado a los subsidios que van con valores entre \$820.000 y \$3.170.000, por lo que podría llegar a tener un subsidio cercano a los \$4.000.000 en caso de buscar nuevas tecnologías (MTT, 2020)[50].

4.3.3.3. Renueva Tu Colectivo

Mediante el programa “Renueva Tu Colectivo” perteneciente a la Estrategia Nacional de Electromovilidad de 2017, se busca incentivar la renovación de los colectivos tradicionales por vehículos eléctricos, aunque no es obligación que los nuevos autos que se compren sean eléctricos y sólo deben tener menos años de antigüedad. **Cada gobierno regional ha definido un monto diferente para implementar el programa**, y en algunos casos, estos dineros fueron enfocados sólo para la renovación por vehículos eléctricos (AVEC, 2019)[2].

Dentro de los requisitos planeados para entregar los beneficios financieros, se considera relevante solicitar la entrega de toda la información generada por la operación del vehículo eléctrico, con el fin de aumentar el conocimiento en estas tecnologías (AVEC, 2019)[2].

Los beneficiarios que pueden optar a estos subsidios son personas naturales o jurídicas que sean dueños de taxis colectivos inscrito en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados, además de poseer un taxi o colectivo con al menos cuatro años de antigüedad, y que el vehículo a cambiar sea propiedad del postulante en los últimos 18 meses (MTT, 2019)[51]. El valor unitario de este instrumento varía dependiendo del tipo de vehículo a subsidiar. Para el año 2020, se consideraron los siguientes subsidios (MTT, 2020)[52]:

- Los vehículos que utilicen combustibles fósiles obtendrán subsidios entre los \$300.000 y los \$3.600.000 dependiendo el rendimiento en la ciudad (**Anexo A.4 y Anexo A.5**).
- Los vehículos híbridos, tendrán subsidios entre \$300.000 y \$4.500.000 dependiendo de su autonomía (**Anexo A.6**).
- Los vehículos eléctricos, al tener una conversión de 1 litro de gasolina equivalente a 10 kWh y con 1 kWh rinden 10 kilómetros promedio, manejan una autonomía promedio de 100 km/L, adjudicándose un subsidio de \$7.000.000.

Esta iniciativa es financiada con los recursos de la llamada Ley Espejo de Transantiago (actual sistema RED), que a nivel país ha permitido la renovación de 6.467 vehículos antiguos que prestaban este tipo de servicio (MTT, 2019)[51]. A continuación, se presentan los montos totales que fueron definidos para la renovación de taxis colectivos.

Tabla 4.6: Montos (en miles de CLP) de Renueva Tu Colectivo en Chile.

Región	Monto	Desde	Región	Monto	Desde
Tarapacá	\$118.000	2016	La Araucanía	\$1.000.000	2019
Antofagasta	\$525.000	2019	Los Lagos	\$500.000	2019
Atacama	\$466.654	2019	Aysén	\$221.000	2015
Coquimbo	\$1.400.000	2018	Magallanes	\$300.000	2017
Valparaíso	\$1.200.000	2020	Metropolitana	\$1.200.000	2019
O'Higgins	\$2.200.000	2017	Los Ríos	\$400.000	2017
Maule	\$1.900.000	2016	Arica y Parinacota	\$335.000	2016
Bío Bío	\$400.000	2019	Ñuble	\$603.814	2019
			Total	\$12.769.468	

Fuente: Elaboración propia con datos del MTT [52].

Se desprende de la **Tabla 4.6** que la región que más dinero ha ofrecido para la renovación de taxis colectivos es la Región del Bío Bío, con 2.200 millones de pesos, mientras que la Región de Tarapacá fue la que menos ofreció con 118 millones de pesos. El promedio de dinero ofrecido entre las 16 regiones fue de 792 millones de pesos. **La implementación de los programas empezó en 2016 y tienen diferentes duraciones para cada región (entre 1 y 3 años)**, lo cual fue impulsado por la Estrategia planificada para el 2050 (Ministerio de Energía, 2017)[6]. El total invertido en el programa ha sido de MM\$12.769 CLP.

La Región Metropolitana fue una de las últimas en ofrecer incentivos con este tipo de programas al empezar el 2019 con la renovación de taxis colectivos (MTT, 2020)[52]. Si se interceptan los datos de la **Tabla 3.4** y la **Tabla 4.6**, se obtiene la siguiente información:

Tabla 4.7: Montos promedios (CLP) entregados para renovar taxis colectivos con más de 8 años de antigüedad por Renueva Tu Colectivo en Chile.

Región	Monto	Colectivos antiguos	Región	Monto	Colectivos antiguos
Tarapacá	\$2.034.483	58	La Araucanía	\$1.697.793	589
Antofagasta	\$416.998	1.259	Los Lagos	\$534.188	936
Atacama	\$1.016.675	459	Aysén	\$2.833.333	78
Coquimbo	\$1.229.148	1.139	Magallanes	\$621.118	483
Valparaíso	\$593.765	2.021	Metropolitana	\$536.913	2.235
O'Higgins	\$3.216.374	684	Los Ríos	\$1.333.333	300
Maule	\$2.574.526	738	Arica y Parinacota	\$293.860	1.140
Bío Bío	\$405.680	986	Ñuble	\$1.677.261	360
			Promedio	\$1.313.466	

Fuente: Elaboración propia [52].

En la **Tabla 4.7** se presentan, según los montos entregados en cada región para el programa Renueva Tu Colectivo, cuáles son los promedios monetarios por cada vehículo que tiene más de 8 años de antigüedad. **Esto permite analizar las diferencias en las disposiciones a pagar por cada gobierno regional para renovar la flota de taxis colectivos.** A pesar de esto, estos gobiernos deben respetar las decisiones del poder central, en caso de que decida invertir más o menos dinero en electromovilidad.

Se observa que el promedio del total de regiones es de \$1.313.466 pesos chilenos por vehículo antiguo, y las regiones que más han invertido respecto a la cantidad de colectivos antiguos son O'Higgins, Aysén, Maule y Tarapacá, con un promedio superior a los 2 millones de pesos. Por el contrario, las regiones de Antofagasta, Bío Bío y Arica y Parinacota han entregado montos menores a 500 mil pesos para la renovación.

Es relevante lo anterior porque las políticas públicas por parte del gobierno en materia de electromovilidad para transporte público y subsidios asociados al transporte colectivo, cobran sentido ya que benefician a una gran cantidad de personas que pueden viajar de forma más cómoda en vehículos silenciosos. Además, **estos usuarios logran familiarizarse con tecnologías no contaminantes**, lo que incentiva a que la población se haga más consciente de las energías limpias y opten por cambiarse a vehículos eléctricos en un futuro cercano (Electromov, 2020)[53].

4.4. Puntos de carga

Con el crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos en Chile, ha sido necesario un aumento de la infraestructura de carga para disminuir las barreras de entrada asociadas a la electromovilidad. Esta red de puntos para recargar los vehículos se compone por electrolinerías, las cuales cumplen la misma función que las bencineras, pero para vehículos eléctricos (e híbridos enchufables), al permitir recargar sus baterías de manera rápida y segura. **Además de estas electrolinerías, la red general para recargar las baterías está compuesta por conexiones residenciales, como empresas, hogares, entre otras** (AVEC, 2019)[2].

Distintos países han dado los primeros pasos en sentar las bases de una infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Por ejemplo, México tenía la mayor red de Latinoamérica en 2018, con más de 900 cargadores en distintas ciudades (ver **Figura 4.13**).

4.4.1. Diferentes tipos de puntos de recarga

La siguiente figura muestra un resumen de las diferencias entre los distintos puntos de carga disponibles (Iberdola, 2020)[54]:



Figura 4.14: Lugares donde se puede recargar el vehículo eléctrico [54].

Se pueden diferenciar los puntos de carga según sus características (Isla et al., 2019)[26]:

- **Carga Lenta AC o Nivel 1:** Son los puntos de recarga que se conectan a la toma de corriente de hogares y oficinas. El tiempo promedio de carga oscila **entre 5 y 10 horas**. En general, todos los vehículos eléctricos disponibles en el mercado tienen instalado un cable que les permite conectarse a los enchufes comunes (del hogar). La potencia de salida que ofrecen está entre los 2.3kW y los 11 kW.
- **Carga Rápida AC o Nivel 2:** Son los puntos que permiten recargar mediante corriente alterna, la cual requiere una instalación de equipos con modificaciones eléctricas para acceder a la mejor eficiencia de conexión. Esto implica una demanda de energía mayor, y el cable no puede ser enchufado directamente a la corriente. El tiempo de carga promedio oscila **entre 4 y 6 horas**. La potencia de salida que ofrecen está entre 3.7kW y 43kW.

- **Carga DC (direct current)**: Son los puntos que se conectan a la corriente directamente, y corresponde al modelo más rápido del mercado para cargar las baterías. Las estaciones de carga DC sólo se instalan en lugares públicos con espacio suficiente y con los requerimientos mínimos para la conexión a la matriz energética. Las baterías se logran cargar en **30 minutos** aproximadamente. La potencia de salida que ofrecen está entre 50kW y 350kW.

La carga desde electrolinerías tiene diferentes precios de mercado. La empresa Copec Voltex cuenta con algunos puntos de recarga en diferentes puntos del país, con casi 700 kilómetros que recorren los puntos, desde Marbella hasta Concepción. Sus ofertas para recargar son representadas en la siguiente tabla:

Tabla 4.8: Ofertas de recarga de electrolinería manejada por Copec Voltex.

	175kW	50kW	22kW
Tiempos de carga	8 minutos	20-30 minutos	2-3 horas
Tipo de carga	Ultra Rápida	Rápida	Semi Rápida
\$/Km	35	35	25
% de ahorro	50 %	50 %	64 %
Precio	230 \$/kWh	230 \$/kWh	30 \$/min

Fuente: Elaboración propia desde página oficial de Copec Voltex.

Se observa que las ofertas no difieren en precio para las cargas “Ultra Rápidas” y “Rápidas”, pero si lo hacen para la tercera opción, lo que incentiva a que el usuario decida usar aquella alternativa que le entregue mejor rendimiento para su vehículo en el menor tiempo posible y según lo que esté dispuesto a pagar. Se debe tener en consideración que los autos eléctricos necesitan sus propios adaptadores para conectar a los puntos de recarga, por lo que para ir a estas electrolinerías deben asegurarse de que cuenten con este implemento.

El porcentaje de ahorro, correspondiente al dinero ahorrado respecto al gasto en combustible de un vehículo similar, es mayor para la carga Semi Rápida, dado que tiene directa relación con el precio.

4.4.2. Costos de instalación de un punto de recarga

El costo de los cargadores depende del tipo y nivel de carga que ofrezcan, por lo que el costo de los cargadores DC es más alto que el de los cargadores AC, pero el impacto que tiene la instalación de cargadores DC también es mayor, ya que un mayor número de usuarios se puede beneficiar de la infraestructura que con cargadores AC. Sin embargo, esto no significa que no se deba instalar infraestructura AC, sino que **cada tipo de infraestructura de carga debe ser pensado de acuerdo con el lugar donde se instala, considerando las necesidades de los usuarios potenciales** (Isla et al., 2019)[26].

Para tener una referencia de cuánto cuesta instalar un punto de recarga, se muestra la siguiente figura para el caso de Estados Unidos en 2018 (Isla et al., 2019)[26]:

COSTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA (USD \$). NORTEAMÉRICA, 2018				
	Costo Promedio del Cargador	Costo Promedio de la Mano de Obra	Otros Costos	Costo Promedio Total
Nivel 1 AC	500-1.000	-	-	500-1,000
Nivel 2 AC (Residencial)	2,000-2,500	1,200-1,500	100	3,300-4,100
Nivel 2 AC (Pública)	2,500-3,000	1,800-2,200	500	4,800-5,700
Carga DC (Pública) 50kW	20,000-25,000	9,000-11,000	500	29,500-36,500
Carga DC (Pública) 150kW	30,000-35,000	12,000-14,000	500	42,500-49,500
Carga Inductiva	3,500-4,000	NA	NA	3,500-4,000

Figura 4.15: Costo de infraestructura de carga (dólares) para USA en 2018 [26].

Se observa desde la **Figura 4.15** que el costo aumenta según sube el nivel asociado al punto de carga, lo que sigue la misma tendencia para los costos de mano de obra. Cada alternativa de la tabla debe responder a alguna necesidad que tengan los consumidores, **por lo que de los gobiernos deben definir la cantidad y los lugares óptimos donde instalar la infraestructura de carga**. A nivel nacional, se identifican los siguientes costos de instalación⁷:

Tabla 4.9: Costos de instalación (en miles CLP) de puntos de carga en Chile.

	Empresa	Cargador	Instalación	Total
Residencial único	Thunder	\$800-\$8.000	\$600	\$1.400-\$8.600
Residencial doble	Thunder	\$3.500	\$1.500	\$5.000
Pública doble	Thunder	\$4.500	\$1.500	\$6.000
Electrolinera	Copec Voltex	\$20.088	\$86.088	\$106.176

Fuente: Elaboración propia.

La empresa Thunder Chile ofrece servicios de instalación para los tipos de cargadores de Nivel 2, con la alternativa de instalación de un cargador doble (para dos vehículos) y “Smart”, lo que permite controlar la gestión de los usuarios y cuánto consumen. También ofrecen la opción de instalar tótems antivandálicos en la vía pública, e incluso con la posibilidad de entregar espacios publicitarios en pantallas LCD ubicadas en el mismo puesto. Los valores de 800 mil y de 8 millones de pesos, están asociados a un cargador wallbox único de 7.5kW y cargadores dobles de 22kW tipo tótem con pantalla LCD de 42 pulgadas integrada y antivandálico.⁶

La instalación de esta empresa demora entre 2 y 10 días, dependiendo de la complejidad y la distancia de cargador a empalme. Cabe señalar que se deben certificar las instalaciones mediante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), a través del certificado TE6 para instaladores de carga de vehículos eléctricos en Chile (Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 2020)[56].

⁷ Los datos fueron recopilados en diferentes entrevistas con agentes de Copec Voltex y Thunder.

Por otro lado, para la carga pública DC de 50kW, Copec Voltex ha instalado infraestructura en sus espacios para vehículos con un costo muy alto respecto al Nivel 2 (**Tabla 4.9**). Es importante notar que el costo de instalación es casi el triple al costo del cargador, debido a que se deben realizar muchas reestructuraciones según las condiciones de la estación de servicio, junto con conectarlo a la matriz energética nacional. Algo relevante de esta empresa es que todas las estaciones Copec Voltex se encuentran abastecidas por energía 100 % renovable, y en muchos de sus proyectos industriales o residenciales ofrecen soluciones con paneles solares.

Según Isla (2019), se espera que para el 2025 los costos de **todos los niveles de cargadores tengan una reducción de hasta 40 %**, debido a los siguientes aspectos:

- **Mayor competencia por la entrada de nuevas empresas al mercado**, por ejemplo, empresas de electricidad que buscan asociarse con fabricantes de cargadores para ofrecer servicios adicionales a la oferta de electricidad.
- **La evolución en el uso de tecnologías** y materiales relacionados a la manufactura de los cargadores.
- **Incremento en la demanda** debido a la evolución del mercado de vehículos eléctricos a nivel global.

4.4.3. Cantidad de puntos de carga disponibles

Al analizar cómo se ha comportado Chile respecto a otros países en relación con la cantidad de puntos de carga disponibles, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 4.10: Infraestructura de carga por país, según la cantidad de cargadores (lentos y rápidos) de acceso público entre 2013 y 2017.

	2013	2014	2015	2016	2017	Delta
China		30.000	58.758	141.254	213.903	96 %
USA	16.867	22.633	31.674	40.473	45.868	109 %
Países Bajos	5.791	11.981	18.044	26.448	33.431	134 %
Japón	1.794	11.517	22.110	24.372	28.834	132 %
Alemania	2.447	2.846	5.328	17.509	24.289	86 %
Noruega	4.651	5.385	5.703	7.758	9.530	19 %
Canadá	1.179	2.321	3.508	4.215	5.841	54 %
Chile	17	26	30	32	51	91 %
Otros	16.223	20.931	38.643	51.506	68.404	65 %
Total	48.969	107.640	183.798	313.567	430.151	160 %
Delta	49 %	120 %	71 %	71 %	37 %	

Fuente: Cabrera & García, 2019 [21].

Desde la **Tabla 4.10** se desprende que el país con más puntos de carga que había instalado en sus ciudades hasta el 2017, corresponde a China, con 213.903 lugares disponibles para recargar los vehículos eléctricos (e híbridos), equivalente al 49.7 % del total mundial. En las siguientes posiciones aparecen Estados Unidos (45.868) y Países Bajos (33.431), aunque con una gran diferencia del primer lugar.

También, se puede observar que los países con mayores crecimientos anuales promedio fueron Países Bajos (134%), Japón (132%) y Estados Unidos (109%). Esto muestra la motivación de las principales potencias mundiales por mejorar la infraestructura de carga. Aunque Noruega no resalta con un gran volumen de puntos respecto a los otros países, ni al porcentaje de crecimiento promedio anual, cabe señalar que este país es un principal impulsor de la electromovilidad. Su red de carga está por sobre el promedio mundial al analizar la cantidad de vehículos que tiene en su parque automotriz (Cabrera & García, 2019)[21].

El caso chileno muestra una gran diferencia frente a los demás países, dado que sólo tenía 51 puntos de carga públicos en 2017. A pesar de esto, la tasa de crecimiento que presentó desde el 2013 hasta el 2017 fue de 91%, por lo que es un país con incipiente interés en la electromovilidad.

Existen 2 principales empresas que ofrecen el servicio de electrolinerías en sus estaciones de servicios: Copec Voltex y Enel X. Estas tienen las siguientes instalaciones públicas por región.⁸

Tabla 4.11: Puntos de carga públicos de Enel X y Copec Voltex en Chile (2020).

	Enel X	Copec Voltex	Total
Antofagasta	-	1	1
Coquimbo	-	6	6
Valparaíso	2	6	8
O'Higgins	-	4	4
Maule	1	6	7
Bío Bío	5	3	8
Ñuble	1	-	1
Araucanía	-	3	3
Metropolitana	41	6	47
Total	50	35	85

Fuente: Elaboración propia.

Se puede notar que **estas empresas tienen presencia sólo en 9 regiones del país**, y suman en total 85 electrolinerías disponibles para el uso público. Enel X es la principal fuente de puntos de carga con 50 lugares, y Copec sólo tiene 35. Es marcada la presencia de estas electrolinerías en la Región Metropolitana, donde se concentra el 55.3% del total.

Ahora bien, existen otras empresas que tienen instalados puntos de recargas en el país. En el siguiente mapa se muestra la distribución total de electrolinerías en el país (AVEC, 2020)[57].

⁸ Desde bases de datos públicas de Copec Voltex y Enel X.



Figura 4.16: Mapa de electrolineras en Chile para el 2020 [57].

En la **Figura 4.16** se pueden observar las electrolineras existentes actualmente en el país, **están clasificadas en electrolineras de carga rápida, carga media y carga lenta**, según el color. Así, las electrolineras de color rojo corresponden a electrolineras de carga rápida, las de color azul a carga media y las de color verde a carga lenta. Gran parte de las electrolineras de carga media pertenecen a la compañía CGE (AVEC, 2019)[2].

Durante el año 2019, gracias a una inversión de más de 1.000 millones de pesos y una alianza con Copec, Santiago se convirtió en la ciudad con la red de carga eléctrica pública más grande de Sudamérica, contando con más de 104 electrolineras de 22kW (entre Copec Voltex, Enel X, y otras). Además, durante el segundo semestre del mismo año se inauguraron una serie de electrolineras en los extremos norte y sur del país, con motivo de interconectar el país para vehículos eléctricos (AVEC, 2019)[2]. Aun así, **desde el mapa se ve la notoria la diferencia entre lo que sucede en la zona central respecto al sur y el norte.**

4.4.4. Uso de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y electromovilidad

Actualmente, la matriz energética de Chile tiene un 19% de penetración de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), mientras que la energía solar representa casi el 10% de la matriz de generación (Ministerio de Energía, 2017).

El aumento de la cantidad de autos eléctricos que estén en el mercado traerá consigo un crecimiento sustantivo de la demanda eléctrica. Es deseable que este incremento sea suplido por energías obtenidas de fuentes no contaminantes, lo que agrega variabilidad a la generación (Ministerio de Energía, 2020)[58]. Como se mencionó, Copec

Voltex, por ejemplo, ofrece el servicio de electrolineras con el uso de energías renovables como fuente de su electricidad necesaria para cargar baterías.

El Ministerio de Energía ha considerado la relevancia de poder gestionar la carga de los vehículos eléctricos cuando las energías renovables estén disponibles. *“Si la carga de vehículos eléctricos se realiza a plena potencia justo al atardecer cuando los paneles solares están reduciendo su potencia, o en momentos donde la velocidad del viento en los parques eólicos disminuye, la carga neta que el resto del parque generador (recursos convencionales) tendría que abastecer sería muy elevada”* (Ministerio de Energía, 2020)[58].

Cargar los vehículos BEV en horarios donde se utilice menos energía a nivel país, se vería impulsado si se dispone masivamente de cargadores estándar (con carga rápida) en lugares de trabajo o estacionamientos públicos, **a través de tarifas diferenciadas según horarios** (Ministerio de Energía, 2020)[58].

4.4.5. Penetración de electromovilidad en la matriz energética

Es relevante señalar que los puntos de carga (privados y públicos) se conectan directo a la matriz energética de los países. A partir de diferentes proyecciones, el Ministerio de Energía (2019)[59] construye tres tendencias de penetración de vehículos eléctricos para la matriz energética en Chile hasta el 2050: baja, media y alta.

- En el caso de baja penetración, se estima un total de 17 % de vehículos y taxis eléctricos en 2050.
- Para el caso de penetración media, se considera, además, la electrificación de todos los buses del país en 2050.
- Para el caso de alta penetración, se estima lo mismo que el caso medio, pero 10 años antes, al año 2040.

Esto aumentará considerablemente el gasto de energía a nivel país, por lo que el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) debe ser capaz de incluir en su generación total la energía utilizada por los vehículos eléctricos. El Coordinador Eléctrico Nacional, agente regulador del mercado eléctrico en Chile, **está trabajando en las proyecciones de electromovilidad en un horizonte de 20 años**, lo que permitirá incluir una capa adicional de demanda para los análisis de planificación de los sistemas de transmisión nacionales⁹. Como se mencionó anteriormente, **será necesario trabajar con energías renovables** para el funcionamiento global de la matriz energética, lo cual se debe realizar con todas las medidas precautorias necesarias, **anteponiéndose a la variabilidad que generan estas energías en el sistema.**

⁹ Información obtenida desde conversaciones con agentes de la empresa.

Capítulo 5

Discusión de la información recopilada

Desde los datos e información que se presentaron en las secciones anteriores, se presenta la siguiente discusión que muestra la conexión entre los principales temas que se trabajarán en la estructura de costos y en las propuestas finales.

5.1. Comentarios generales

La importancia de analizar la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos **radica en que estos últimos no emiten contaminantes al funcionar**, mientras que los vehículos convencionales emiten 187gCO₂/km (como se observa en la **Tabla 2.1**). En este mismo sentido, el uso de electromovilidad en el mercado de taxis colectivos disminuiría la emisión de NO_x, y material particulado (MP) en las proporciones que se observan en la misma tabla.

Esto también se enmarca en la Estrategia Nacional de Electromovilidad para el 2050, la cual **busca reducir el nivel de emisiones contaminantes generadas por el transporte nacional**. Esta Estrategia entrega los lineamientos principales sobre los cuales trabajar para alcanzar la meta planteada (lograr que un 100 % del transporte público y un 40 % de vehículos particulares sean eléctricos).

Un aspecto relevante de los taxis colectivos es que cada conductor es dueño de su vehículo (o arrienda a algún privado), por lo que la **decisión de renovar el automóvil depende completamente de él**, sin participar terceros de manera directa. El Ministerio de Transporte maneja el registro de los dueños, a quienes se les solicita que **el vehículo sea tipo *sedán*** (con algunas excepciones). Esto es clave para analizar los precios de los vehículos eléctricos porque deben cumplir con esta característica.

El mercado de taxis colectivos constaba con 51.749 vehículos en su parque automotriz total para marzo del 2020 (según **Tabla 3.2**). **Cada región presenta una cantidad de colectivos urbanos diferente y una participación en el total del transporte distinta**, por lo que los análisis del monto necesario para la inversión final asociada a las propuestas dependerán del comportamiento de cada región.

A pesar de que los dueños de taxis colectivos deciden sobre sus propios vehículos, es importante notar que **estos conductores son parte (en su mayoría) de líneas que ofrecen diferentes**

recorridos para los pasajeros (visto en **Figura 3.1**). Además, existen 1.089 líneas (de un total de 1.200 en el país) que cuentan con más de 11 vehículos en su flota (**Figura 3.2**). Dado esto, los incentivos que se entreguen para la renovación de colectivos urbanos pueden tener un mayor efecto si es que se informa a las diferentes líneas sobre los detalles y condiciones.

Por otro lado, **existen 13.465 taxis colectivos (26 % del total) que tienen más de 8 años de antigüedad (Figura 3.3)**, los cuales son el foco principal del estudio. Cada región presenta una cantidad diferente de taxis colectivos con 9 o más años de antigüedad (**Tabla 3.4**), y este será un dato relevante en la estructura de costos finales que se defina.

Una información importante es que **las marcas Hyundai y Nissan se encuentran entre las 3 empresas con mayor posicionamiento en el mercado de taxis colectivos (Figura 3.4)**. La comunicación con estos agentes será vital en la decisión de entregar incentivos para la renovación por autos eléctricos, dado que estas marcas presentan los modelos de electromovilidad más económicos que son vendidos en el país (**Figura 4.11**).

La cantidad de vehículos eléctricos disponibles para la venta en Chile ha ido en aumento desde el 2011 hasta la actualidad (**Tabla 4.2**). A su vez, la venta de estos autos se ha incrementado en todo el mundo (**Figura 4.7**), aunque en Chile no ha logrado posicionarse fuertemente dado que la participación de mercado de vehículos eléctricos e híbridos no superaba el 0.05 % para el 2017 (**Tabla 4.4**). Esto también se muestra en la **Tabla 4.5**, donde se observa que **hay aumentos en las ventas, pero no es significativo respecto al total del parque automotriz nacional**.

A nivel de precios, los autos más vendidos desde el 2018, que son usados como **taxis colectivos, tienen un valor promedio de \$10.162.803**, según **Tabla 3.6**. Este precio se encuentra **muy por debajo de lo que cuesta el vehículo eléctrico tipo *sedán* más barato del mercado**, el cual corresponde al Hyundai Ioniq con un precio de \$27.990.000 (**Figura 4.12**). Uno de los componentes que más aumenta el valor del auto eléctrico es el costo de las baterías, dado que oscila entre el 12.3 % y el 30 % del total. Aun así, **se espera que el precio siga bajando** (según **Figura 4.5**), puesto que la tendencia de los costos de baterías es a la baja, alcanzando en 2030, valores igual al 7 % de lo que costaba en 2010 (**Figura 4.6**).

A pesar de esto, desde Nissan declararon que la disminución de los costos de fabricación de las baterías se produce en paralelo con el aumento de la capacidad energética que puede presentar. Es por esto que, los precios no caerán de manera directa, ya que disminuyen por la construcción de la batería, pero se incrementa por el uso de tecnologías que ofrecen mayor autonomía del vehículo eléctrico.

Sin embargo, algo positivo que presentan los vehículos eléctricos por sobre los convencionales, es que **el gasto operacional anual que necesitan para su funcionamiento es menor** en los primeros (**Figura 4.15**), lo que genera incentivos en el largo plazo para la recuperación de la inversión total. En este ámbito, también **se destaca que la mantención de los vehículos eléctricos es más sencilla que los de combustión interna**, ya que cuentan con menos piezas y la conexión es más simplificada que en los motores de combustión interna.

Respecto a lo que ha sucedido en diferentes países sobre la implementación de electromovilidad, destacan los siguientes aspectos:

- **Trabajo en conjunto entre el gobierno y la industria de automóviles**, asumiendo parte de los costos por ambas partes (Alemania).
- **Exención de impuestos** equivalentes al 22% del total de los vehículos eléctricos, con aumento gradual de la carga tributaria (Holanda) y eliminación de todos los impuestos asociados a los autos eléctricos (Costa Rica).
- Recaudación de los **impuestos verdes utilizada para financiar incentivos para electromovilidad** (Holanda).
- Programa con un enfoque no sólo en subvencionar el costo de los vehículos eléctricos, sino que también **invirtiendo fuertemente en infraestructura de carga** (España).
- **Descuento obligatorio que deben aplicar las automotoras** en la factura de venta final del vehículo eléctrico, sumado al subsidio del Estado (España).
- Inversión de 1.200 millones de euros para 4 años de programa (Alemania), 45 millones de euros para 1 año (España) y de 52.5 millones de dólares para 6 meses de programa (Canadá).
- Subsidio al precio de los vehículos (Canadá).
- Enfoque en la introducción de una **cultura asociada al uso de vehículos eléctricos en la mentalidad del consumidor final** (Brasil).
- Uso de tarjeta inteligente nacional para cargar vehículos eléctricos (Colombia).
- Definición concreta de las **responsabilidades de todos los agentes involucrados en el impulso para la electromovilidad** del país (Costa Rica).
- Uso de tarifas de electricidad preferenciales para cargar vehículos eléctricos (**Figura 4.13**).

Por otro lado, **a nivel nacional**, un punto esencial que debe estar incluido en la estructura de costos tiene relación con la infraestructura de carga. En Chile, empresas como Enel, Copec, Engie, Chilquinta, entre otras privadas, contribuyen a la red nacional de puntos de carga, la cual presenta una gran dificultad para alcanzar todas las localidades, debido a que debe extenderse por más de 4.300km entre el norte y el sur. **Se ha invertido dinero en la infraestructura nacional, pero con un fuerte foco en la Región Metropolitana, dejando de lado los incentivos para otras regiones.**

Sobre lo que ha sucedido en el país, los temas más destacados son:

1. Aplicación de impuestos verdes que desincentivan la compra de vehículos con combustión interna.
2. Espacios preferentes con infraestructura de carga para autos eléctricos, sin castigo para personas que, sin tener autos eléctricos, utilizan ese lugar.
3. Exención de la restricción vehicular para vehículos eléctricos.
4. Privados introducen autos eléctricos al mercado de taxis (en sus diferentes modalidades).

5. Programa “Renueva Tu Micro”, sin la obligación de que sea un bus eléctrico, pero con aumento del subsidio en caso de que sea así.
6. Programa “Renueva Tu Colectivo”, similar al anterior, con diferentes montos finales en cada región, lo que depende de la gobernación del lugar (**Tabla 4.6**).

Los costos de instalación que tienen los puntos de carga dependen del tipo de cargador y de la complejidad que presente el lugar (**Figura 4.15** y **Tabla 4.9**), lo que también influye en el tiempo que demora el proceso, el cual oscila entre 2 y 10 días.

5.2. Actores principales de los mercados de taxis colectivos y autos eléctricos

Con la información estudiada en las secciones anteriores, es posible plantear un mapa de actores con los agentes principales que conectan el mercado de taxis colectivos con el mercado de autos eléctricos. Esto permite analizar cuáles son las relaciones esenciales al momento de tomar decisiones sobre los posibles incentivos que se ofrezcan.

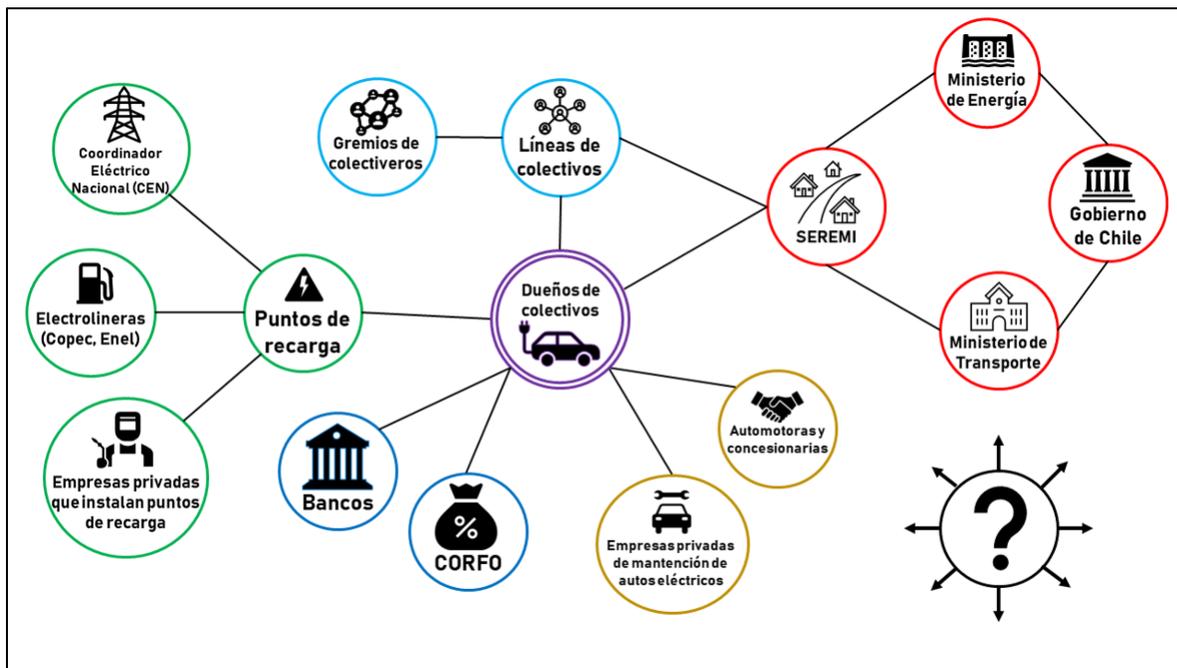


Figura 5.1: Mapa de actores principales asociados a la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos [EP].

En la **Figura 5.1** se distinguen 5 sectores (diferentes colores) que pueden afectar a la decisión de un dueño de taxis colectivos por renovar su vehículo por un auto eléctrico. **En color rojo se marca el Gobierno de Chile, quien engloba a todas las decisiones principales que afectan al país**, las cuales decantan desde el Ministerio de Energía y el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Ambos agentes se comunican con los dueños de colectivos a través de la SEREMI de cada región, y es esta entidad la que finaliza el proceso de entrega de subsidios para los dueños de taxis colectivos.

Por otro lado, en el sector de las **entidades que entregan financiamiento (en color azul)**, se encuentran los Bancos, quienes entregan créditos para los dueños de taxis colectivos. En particular, el principal ente que realiza este proceso enfocado en las pequeñas empresas (por ejemplo, dueños de transporte colectivo) es el Banco Estado, desde el cual se ha conseguido información para el trabajo de la estructura de costos. Además, en este mismo sector aparece la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), quienes entregan apoyos económicos para distintos agentes, entre los que destacan aquellos asociados al área de electromovilidad.

Respecto al **sector de infraestructura de carga (en verde)**, la empresa encargada de la planificación energética es el Coordinador Eléctrico Nacional, quienes velan por la proyección de demanda relacionada con el incremento de los autos eléctricos en Chile y se preocupan de entender qué implicancias tendrá el aumento del consumo de energía en la matriz nacional, dado el aumento del uso de electromovilidad. A su vez, participan agentes como Enel X, Copec Voltex, Engie y otras empresas privadas que instalan puntos de carga en la red en todas sus modalidades. El aumento progresivo de estos puntos favorece a la compra de vehículos eléctricos por entregar mayores facilidades para recargar los automóviles.

También se conectan con los dueños de taxis colectivos aquellos **agentes que ofrecen servicios de venta y postventa (mantención) a los vehículos eléctricos (color amarillo)**. Entre ellos destacan las automotoras y concesionarias, quienes ofrecen ambos servicios para sus clientes. Estas empresas son la primera opción en caso de que algún automóvil eléctrico tenga fallas o necesite algún tipo de revisión, dado que son los principales proveedores de servicios de mantención. En segunda instancia aparecen empresas privadas que ofrezcan trabajos similares.

Por último, **en celeste resalta la manera en que los conductores de taxis colectivos se conectan entre ellos**. A nivel general, existen gremios de colectiveros (CONTTRAMEN C.G., CONATACOH, entre otros), quienes participan de manera global en este mercado de transporte. La conexión siguiente es la que surge con las líneas de colectivos, quienes ofrecen diferentes recorridos dentro de los servicios de pasajeros. Cada línea define sus propias reglas de trabajo y los dueños de taxis colectivos deben trabajar bajo esa estructura.

El **signo de interrogación señalado en la figura** representa entidades que, a pesar de participar en temas de electromovilidad, no han sido analizados en detalle dentro de las secciones de la tesis. Esta idea permite generar un espacio de acción sobre el cual trabajar, considerando que aquellas entidades no señaladas pueden (llegar a) tener una posición relevante en el mapa de actores.

Luego del análisis realizado sobre los aspectos más importantes que relacionan los mercados de taxis colectivos y de vehículos eléctricos, es posible **estudiar potenciales barreras de entrada que pueden limitar la renovación** que se busca trabajar. Al ser “potenciales” se busca comprender aquellas situaciones que, dentro de las dificultades que puede provocar, es posible que estén siendo trabajadas actualmente, y, por tanto, el efecto esperado podría verse reducido.

5.3. Potenciales barreras de entrada

Estas características representan desafíos que deben ser abordados por las autoridades para ofrecer incentivos óptimos hacia los agentes que trabajan en el mercado de taxis colectivos.

5.3.1. Inversión inicial

El **elevado precio de compra de los vehículos eléctricos** representa la principal barrera de entrada, tanto para los dueños de taxis colectivos como para cualquier persona natural que tenga la intención de comprar un automóvil eléctrico. Esto se ve reflejado en la comparación entre el precio promedio de un colectivo urbano convencional y el precio más económico de la oferta disponible para elegir electromovilidad. El costo del primero es igual a \$10.162.803 CLP, mientras que el segundo tiene un valor de \$27.990.000 CLP, el cual corresponde al Hyundai Ioniq.

Esto debe ser costeado por el comprador, y parte de los subsidios que se han ofrecido a nivel nacional e internacional han buscado disminuir el costo final del auto eléctrico. Aun así, al no ofrecer instrumentos financieros que logren obtener precios competitivos entre un auto convencional y uno eléctrico, los dueños de taxis colectivos no podrán optar a esta alternativa.

Dado esto, **los compradores deberán solicitar un crédito** con el cual costear el valor restante del auto, lo que implica el pago de cuotas mensuales. Si es que estos cobros no pueden ser solventados por los dueños, la entidad financiera a cargo de la entrega de créditos no podrá aceptar el préstamo y no se podrá realizar la renovación del vehículo. Por tanto, **la magnitud del pago mensual debe ser una característica importante al momento de presentar propuestas.**

5.3.2. Infraestructura de carga en el país

La cantidad disponible de puntos de carga en el país depende, en su mayoría, de entidades como Enel X y Copec Voltex, y **han sido instaladas, principalmente, en la zona central del país. Esto es una limitante para los conductores de taxis colectivos que tienen sus trabajos en regiones**, puesto que no cuentan con una oferta suficiente para recargar las baterías en caso de que decidan renovar sus vehículos por autos eléctricos.

Parte de lo que deben evaluar los agentes involucrados en la implementación de infraestructura de carga es la **descentralización de la red para que pueda abarcar a más consumidores**. Actualmente, algunas personas que han comprado autos eléctricos han usado la red propia del hogar para recargar sus vehículos, lo cual no ha sido regulado en su totalidad por el gobierno y está en vías a ser restringido, dado que afecta directamente al consumo energético del país.

5.3.3. Servicio técnico en regiones

Los dueños de taxis colectivos y cualquier persona que conduce algún vehículo se deben preocupar del correcto mantenimiento de su automóvil. Como la electromovilidad es un mercado incipiente en Chile, **no existen talleres exclusivos para atención postventa de autos eléctricos por parte de las empresas que comercializan estos productos**. Cuando un auto eléctrico presenta alguna falla, el dueño debe trasladarse directamente a su lugar de compra.

Esto se complica al momento de analizar los casos de regiones, puesto que **las localidades que no están cerca de las zonas principales (capitales regionales, por ejemplo), no presentan puntos de venta de autos eléctricos** y las personas que se interesen en comprar este tipo de vehículos deben considerarlo para sus mantenciones. Además, no existe una oferta amplia de talleres que sepan trabajar con automóviles eléctricos, dado que **el país recién está empezando a especializar al capital humano en temas de electromovilidad.**

Las automotoras y concesionarias plantean que, si la demanda de autos eléctricos aumenta en regiones, estas instalarán más puntos de venta en estos lugares. Lo anterior implica el caso del huevo o la gallina, dado que los incentivos para las empresas aumentarán si es que la demanda se incrementa, pero también habrá mayores incentivos para la compra de vehículos eléctricos si es que aumentan los puntos de venta.

5.3.4. Problemas con Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Con el aumento de la electromovilidad en el país **se incrementa la energía necesaria para el uso de transporte en Chile**. También, ha existido un **aumento de energías renovables** que sustentan al Sistema Eléctrico Nacional, generando mayor variabilidad en la matriz energética.

El Coordinador Eléctrico Nacional debe **considerar estos factores en su planificación para los próximos años**. El aumento de buses y taxis eléctricos ha motivado el trabajo de proyecciones para el 2040 que está realizando esta entidad, por lo que **esta barrera de entrada puede estar cubierta**. Aun así, se entiende que existirán variaciones en los sistemas de transmisión y distribución, y el algoritmo que maneja el Coordinador debe incluir estos cambios.

5.3.5. Demora en la entrega del subsidio

Para el caso del programa Renueva Tu Colectivo y de otros subsidios en el país, cuando una persona postula al crédito con el Banco (generalmente, Banco Estado), esta entidad define un monto para el préstamo según el historial financiero del dueño de taxi colectivo. Este monto difiere del total que cuesta el vehículo eléctrico, dado que las diferencias económicas entre lo que puede pagar el dueño y el costo total son muy altas.

Lo anterior se solventa con el pago del subsidio asociado al programa. El problema es que la confirmación necesaria por parte de la entidad encargada de entregar los subsidios (SEREMI regional), **demora, a lo menos, 3 meses, por lo que el Banco no tiene garantías para asegurar que el dueño de taxi colectivo podrá pagar la diferencia durante ese periodo**.

Para los Bancos es un problema este desfase, porque no pueden esperar todo ese tiempo para concretar el crédito, obligando a que las condiciones de entrega de los subsidios deban acogerse a los requerimientos temporales de los Bancos para hacerse efectivos. Entonces, **hace falta que alguna entidad cumpla la función de aval para este crédito por el periodo de desfase**, y así, se logar asumir el riesgo.

5.3.6. Cultura social sobre vehículos eléctricos

Existe **desconocimiento en la población respecto a la innovación tecnológica asociada al uso de vehículos eléctricos**. En general, no es un tema que esté constantemente en los medios de comunicación masivos, por lo que existe una falta de cultura tanto ambiental como económica sobre la electromovilidad (ahorro energético, por ejemplo).

La Estrategia Nacional de Electromovilidad para 2050 plantea algunos aspectos sobre este tema, como la **visibilización de los autos eléctricos** con distintivos o el uso de carriles preferenciales, pero la estructura general del incipiente mercado y los altos precios para la compra de vehículos eléctricos implica que sólo la población que tiene altos ingresos aprende más sobre electromovilidad.

Diferencias en las prioridades entre regiones Cada gobierno regional recibe fondos para administrar sus localidades, por lo que **deben decidir en qué enfocar sus esfuerzos según las necesidades de su población.** Esto se ve reflejado, por ejemplo, en los montos totales que fueron otorgados para los programas de Renueva Tu Colectivo para subsidiar la renovación de estos vehículos.

Lo anterior, sumado con las diferencias entre los aportes del gobierno a las arcas fiscales de cada región, representa un desafío para subsidiar la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos a nivel país, puesto que un gobierno regional puede decidir enfocar sus dineros en otras actividades y disminuir los montos para este tipo de subsidios.

5.3.7. Trabajo en conjunto entre entidades públicas y automotoras y concesionarias

En Chile, los subsidios que se han entregado para la renovación de transporte público han sido financiados sólo con dineros de las arcas fiscales del país, **sin la participación activa en la entrega de incentivos por parte de empresas privadas, como automotoras y concesionarias.**

Esto implica que **todos los costos asociados a los subsidios generan un aumento del gasto público del país,** y no se ve reflejado de la misma manera en los gastos finales de las empresas que comercializan vehículos, a pesar de que estas obtienen beneficios por la venta de estos productos.

En países como España y Alemania, existe un trabajo coordinado entre las entidades públicas y privadas, lo que aumenta los incentivos para la introducción eficiente de la electromovilidad. **Esto no está sucediendo en Chile,** y puede terminar afectando negativamente a la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos.

5.3.8. Estallido social y COVID-19 en Chile

Los efectos económicos del estallido social empezado en 2019 y de la pandemia mundial del Coronavirus ocurrida en 2020, pueden afectar directamente a la inversión en Chile. La economía del país puede verse contraída en un porcentaje no menor, y esto obligará a **dejar en segundo plano aquellas acciones que no vayan en línea con las actividades de primera necesidad para la población.**

Esto puede **retrasar la entrega de dineros para subsidios como los que se están estudiando, o disminuir los montos totales** de los programas como Renueva Tu Micro o Renueva Tu Colectivo. Además, dado lo sucedido en el estallido social, puede existir un aumento en el costo de los seguros para automóviles, lo cual puede repercutir directamente a la economía de las personas.

5.4. Estructura de costos

Con la información estudiada y manejando las características principales que afectan a ambos mercados, fue posible construir una estructura de costos sobre la cual **se optimizaron los principales factores que pueden incentivar la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos**. Con esto, se podrá generar un programa de subsidios que incluyeran estos factores, de manera de ofrecer una estrategia atractiva para el beneficiario final (dueño de los vehículos).

El objetivo del modelo fue responder a las potenciales barreras de entrada que se mencionaron anteriormente, para así **determinar el porcentaje óptimo de taxis colectivos por región que se verían beneficiados con un programa de subsidios**. Al final de todos los análisis, el modelo entregó cuál fue este porcentaje principal, y qué porcentajes estuvieron asociados a los incentivos que se deben dar respecto estas barreras.

La primera característica que se buscó analizar tuvo relación con **el precio**, dado que es la principal barrera que puede afectar la decisión de compra de autos eléctricos para la renovación de taxis colectivos, considerando la comparación con el costo de los vehículos convencionales. El modelo buscó optimizar este porcentaje en base a los subsidios ya ofrecidos en las distintas regiones, para así analizar una base sobre la cual obtener conclusiones.

El segundo factor estudiado en el modelo fue la **infraestructura de carga**, considerando que existe una notable centralización de los principales puntos definidos para recargar las baterías de los vehículos eléctricos en Chile. Este ítem buscó incentivar a los dueños de taxis colectivos ofreciendo subsidios para la **instalación de estos puntos en los propios inmuebles de los conductores**, lo cual les permitirá obtener la energía necesaria para trabajar todos los días. Con la alternativa de recargar los automóviles en las noches (por ejemplo), se disminuyó el efecto negativo producido por la barrera de entrada mencionada.

La tercera parte del modelo respondió a la barrera que está relacionada con la **falta de lugares para realizar mantención a los vehículos eléctricos en regiones**. Al tratarse de un mercado incipiente en Chile, no existen suficientes puntos de postventa en las localidades aledañas a las ciudades principales, por lo que el objetivo de este apartado fue entregar un **apoyo económico a los dueños de taxis colectivos en caso de fallas que pueda presentar el vehículo eléctrico**. Esto le permitiría tener un sustento económico con el cual costear parte de los gastos que surgen con las fallas de automóviles, además de solventar parte de las ganancias que se dejarían de generar por no poder trabajar con el taxi colectivo.

Por último, se incluyen **incentivos económicos en los primeros periodos de uso** que tendría el vehículo eléctrico. El objetivo de esta sección fue **disminuir los costos operacionales del taxi colectivo**, al hacerse cargo de parte del gasto relacionado con la carga de los automóviles. Con esto, se pensó en un aspecto que redujera, en cierta medida, las cuotas mensuales.

Entonces, en resumen, el modelo entrega los siguientes resultados finales sobre los cuales se realizó la optimización:

1. **Porcentaje de taxis colectivos que serían renovados en cada región** (y, por tanto, en el país). En esta parte se debe recordar que el objetivo de la tesis es definir si es factible económicamente renovar un 30 % de los taxis colectivos nacionales por vehículos eléctricos.

2. Porcentaje de subsidio al precio final del automóvil eléctrico.
3. Porcentaje de subsidio a la instalación de punto de carga en el hogar.
4. Porcentaje de apoyo económico entregado al dueño de taxi colectivo en caso de falla.
5. Porcentaje de subsidio al costo de recargar el vehículo eléctrico.

Los resultados se obtuvieron con el análisis de **indicadores financieros como el VAN del negocio asociado a los taxis colectivos**, tanto para el caso de comprar vehículos convencionales como eléctricos, para así proyectar los efectos de la decisión de compra del dueño. Además, para cada región se trabajó con la **cantidad total de taxis colectivos urbanos que presentaban** (para marzo del 2020) y con otras características propias de la región.

Todo lo anterior se realizó con los datos mencionados en secciones anteriores y con información que se obtuvo en conversaciones con agentes de Banco Estado, quienes han trabajado con, al menos, 25.000 personas que buscaban créditos para renovar sus vehículos (o para lo que estimasen conveniente), por lo que conocían la estructura crediticia que se ha manejado en este mercado. Esto se debe a que las personas que han querido conseguir préstamos tuvieron que entregar información de sus ingresos, costos y otros detalles financieros que necesitaba la institución..

5.4.1. Definición del modelo de costos para el programa

Basado en las barreras mencionadas, el modelo elaborado fue el siguiente:

$$Prog_{incentivos} = Subsidio_{precioVE} + Apoyo_{fallaVE} + Subsidio_{costosKWH} + Subsidio_{PuntosR} \quad (5.1)$$

Donde:

$$Subsidio_{precioVE} = [Colectivos * \delta_e(\%)] * (\theta(\%) * P_{VE}) \quad (5.2)$$

$$Apoyo_{fallaVE} = [Colectivos * \delta_e(\%)] * [\rho(\%) * S_F * \xi_M(\%)] \quad (5.3)$$

$$Subsidio_{costosKWH} = [Colectivos * \delta_e(\%)] * (C_{kWh} * \mu * \lambda(\%) * R * a) \quad (5.4)$$

$$Subsidio_{PuntosR} = [Colectivos * \delta_e(\%)] * [P_{PdR} * \pi(\%)] \quad (5.5)$$

A continuación, se muestra la caracterización de las variables:

Tabla 5.1: Variables incluidas la estructura y valores para Arica y Parinacota.

Variable	Significado	Valor
<i>Colectivos</i>	Colectivos en región	1.999
$\delta_e(\%)$	Porcentaje esperado (¿30%?)	$\delta_e(\%)$
$\theta(\%)$	Porcentaje de subsidio al precio	$\theta(\%)$
P_{VE}	Precio auto eléctrico	\$27.990.000
$\rho(\%)$	Porcentaje de subsidio en caso de falla	$\rho(\%)$
S_F	Apoyo económico en caso de falla	\$150.000
$\xi_M(\%)$	Probabilidad de falla de los vehículos	9.6%
$\lambda(\%)$	Porcentaje de subsidio a costos por kWh	$\lambda(\%)$
C_{kWh}	Costo por cargar kWh	230
μ	Capacidad batería [kWh]	38.3kWh
R	Cantidad de veces que se recarga al año	312
a	Cantidad de años	2 años
$\pi(\%)$	Porcentaje de subsidio a puntos de recarga	$\pi(\%)$
P_{PR}	Costo de instalar punto de recarga	\$1.400.00

Fuente: Elaboración propia.

Lo que se muestra en estas secciones es la respuesta a la pregunta, **¿qué incluye cada parte del modelo?:**

5.4.1.1. Subsidio al precio del vehículo eléctrico

El objetivo de esta parte fue entregar, para cada dueño de taxi colectivo beneficiado, un subsidio económico que disminuirá el monto final que deberá pagar por la compra del vehículo eléctrico. Esto ya se realiza en el programa Renueva Tu Colectivo, pero no estaba enfocado completamente a automóviles eléctricos como se planteó en este modelo. Entonces, esta sección se relacionó con la cantidad de colectivos totales en cada región (Colectivos) y el porcentaje que se vería apoyado por el subsidio al precio (δ_e), lo cual define cuántos vehículos serían renovados por autos eléctricos en cada lugar. Estas dos variables fueron utilizadas en las cuatro secciones del modelo, por lo que formaron parte central de los resultados finales.

Además, se consideró el precio (P_{VE}) del vehículo eléctrico más económico disponible para ser taxi colectivo dadas sus características (tipo *sedán*, por ejemplo). Finalmente, este monto no puede ser entregado por completo como subsidio, por lo que se definió la variable porcentual (θ) que caracterizó el tamaño del subsidio final para estos automóviles eléctricos.

5.4.1.2. Apoyo económico en caso de falla

Para esta sección se buscó estipular un apoyo económico (tipo seguro) en caso de fallas mecánicas que pudiesen presentar los autos eléctricos. Por tanto, las variables que fueron incluidas en este apartado, además de las dos principales, corresponden al monto entregado en caso de falla (S_F), a la probabilidad de que un automóvil falle posterior a ser comprado (ξ_M), y al porcentaje que sería subsidiado en caso de presentar averías (ρ). Con esto, se pudo determinar cuál era el peso asociado a esta sección en base al parámetro ρ según los valores estipulados en el modelo.

Al definir los resultados de esta sección, se calculó el monto que cada región debe tener para solventar los gastos económicos que involucraría el no poder trabajar con un taxi colectivo eléctrico por presentar fallas. Cabe señalar que estos montos estarían enfocados en regiones, donde no existen suficientes puntos de mantención para vehículos eléctricos.

5.4.1.3. Subsidio a los costos para cargar vehículo eléctrico

La tercera parte del modelo buscó comprender si entregar dineros para costear parte de los gastos mensuales era un incentivo atractivo para la rentabilidad final de los dueños de taxis colectivos. Para esto, se consideró que todas las personas que renovarían su vehículo por un auto eléctrico recibirían este monto para costear parte de los gastos de recargar las baterías. Por tanto, las primeras variables son las dos principales mencionadas anteriormente.

Además, fue incluido el costo de cargar un kWh (C_{KWh}) y la capacidad de la batería (μ) asociada al vehículo eléctrico más económico, con lo cual se obtiene el precio de cargar completamente una sola vez. Luego, se caracterizó para todas las veces que serían cargadas en el año (R), y la cantidad de años que serían definidas para esta sección en el programa (a). Finalmente, el nivel de influencia que tuvo este apartado en el modelo general dependió de la variable (λ), la que permitió entender la relevancia de este subsidio al costo de recargar.

5.4.1.4. Subsidio a la instalación de puntos de recarga

La cuarta sección fue definida para aumentar la red de carga en Chile, entregando subsidios para la instalación de puntos en los hogares de los dueños de taxis colectivos. Con esto, podrían recargar sus baterías en las noches y dejarlas con su capacidad a tope, lo que evitaría problemas por falta de energía en los horarios laborales.

Se consideraron las dos principales variables mencionadas en las secciones anteriores. También, se incluyó el precio de instalación de puntos de carga (P_{PR}) y el porcentaje de subsidio (π) que se entregaría a cada dueño en caso de ser aceptado en el programa. Esta última variable permitió asimilar la magnitud del apoyo económico que debería entregarse respecto al aumento de la infraestructura de carga en Chile.

La decisión de entregar subsidios para puntos de recarga en los hogares radicó en que es la forma más directa y económica de asegurar un abastecimiento completo de energía para las baterías. Otras alternativas eran instalar estos puntos de carga en los lugares donde descansan los dueños de taxis colectivos o incluso construirlos en la vía pública. Como se mostró en la **Tabla 4.9**, los costos de instalación son, al menos, 4 veces más que lo ofrecido para la construcción de puntos en los hogares.

Además, el aumento de la red de carga en la vía pública necesita un estudio de factibilidad energética para conectarse a la matriz nacional, junto con algún análisis relacionado con los lugares óptimos donde se instalarían estos puntos según los beneficiarios directos del programa. Entonces, el modelo se ideó para generar una propuesta simplificada para estos subsidios.

5.4.1.5. Parámetros basales del modelo

En la **Tabla 5.1** se presentaron los parámetros principales que fueron utilizados en el modelo, los cuales se definieron de la siguiente manera.

- *Colectivos*: Cantidad de colectivos totales en la región analizada.
- P_{VE} : Precio del automóvil eléctrico más económico disponible en el mercado chileno. Corresponde al Hyundai Ioniq según la **Figura 4.12**.
- S_F : Precio de un seguro que asume el costo promedio de las aseguradoras (Mateo, 2019)[60] y un delta definido por las ganancias promedio de dos días para un conductor de taxi colectivo (detallada en la próxima sección).
- ξ_M : Porcentaje de falla promedio de vehículos nuevos, definido desde los reclamos recibidos por Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC, 2016)[61].
- C_{KWh} : Costo de carga del vehículo eléctrico explicitado en la **Tabla 4.8**.
- μ : Capacidad de la batería de un Hyundai Ioniq 2020.
- R : Veces que debiese ser recargado el vehículo eléctrico en base a la cantidad de días promedio que trabaja un conductor de taxi colectivo.
- a : Tiempo sobre el cuál se pensó entregar dinero para el apoyo económico a los gasto de recargar el vehículo eléctrico.
- P_{PR} : Costo de instalar un punto de carga en hogares (desde **Tabla 4.9**).

5.4.2. Flujos de caja sin subsidio

Para entender las diferencias de rentabilidad que existirían entre el negocio de un taxi colectivo convencional versus uno eléctrico, se trabajó con flujos de caja en conjunto con Banco Estado, quienes realizaron el análisis general de sus clientes asociados a este mercado. Al estudiar el historial crediticio de estas personas, pudieron concluir lo siguiente:

5.4.2.1. Estimación de ganancias anuales

Esta estimación fue realizada con la idea principal de que mensualmente se trabajan 26 días promedio, con diferentes niveles según la información recopilada en el historial crediticio. El objetivo fue plantear una estructura de beneficios económicos para los dueños de taxis colectivos respecto a sus resultados en años anteriores. Cabe señalar que esta información es para todo Chile. Dado esto, la siguiente tabla resume estos datos:

Tabla 5.2: Ingresos promedios (CLP) de los conductores de colectivos contando 26 días de trabajo mensuales.

	Ganancia diaria	Cantidad de días	Ganancia mensual	Ganancia anual
Día bueno	\$70.000	4	\$280.000	\$3.360.000
Día medio	\$50.000	20	\$1.000.000	\$12.000.000
Día bajo	\$30.000	2	\$60.000	\$720.000
Total		26	\$1.340.000	\$16.080.000

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Estado.

En la **Tabla 5.2** se diferenciaron las ganancias para tres tipos de categorías: días buenos, medios y bajos. Cada una de ellas correspondía a un nivel de ganancia promedio. El día más malo para los dueños de taxis colectivos estaba definido por una ganancia de \$30.000 pesos, el día medio por una ganancia de \$50.000 pesos y el mejor por uno de \$70.000 pesos.

Se estimó que 4 veces al mes tenían días buenos, 20 veces tenían un día medio y 2 veces días bajos, todo en base a la información de años pasados. Al sumar todo para los 12 meses del año se concluye que los dueños de taxis colectivos tuvieron una ganancia de \$16.080.000 pesos, lo que se incluyó en el análisis del modelo a través de los flujos de caja. Con estos estudios se puede definir el nivel de préstamos que pueden otorgar a los dueños de taxis colectivos según su rendimiento financiero.

Para tener un orden de comparación, se observó cómo son los flujos de caja de ambos casos (convencional y eléctricos) sin ningún tipo de subsidio a la compra del auto eléctrico. La tasa de descuento corresponde al 7%, en base a un estudio similar que realizó el Ministerio de Energía (2019)[29] para comparar ambos tipos de vehículos.

5.4.2.2. Taxi colectivo convencional sin subsidio

En primera instancia se estudió el caso del taxi colectivo convencional:

Tabla 5.3: Valores del mercado de taxis colectivos con combustión interna.

Costo del vehículo	\$10.162.803	Recorrido anual [km]	74.880
Interés mensual	1.50 %	Rendimiento [km por litro]	11
Cuota mensual	\$200.443	Precio por litro de gasolina	\$830
Cuota anual	\$2.405.318	Gasto en combustible	\$5.649.356
Mantenición (10.000km)	\$200.000	Seguro	\$480.000
Mantenición anual	\$1.497.600	Permiso de circulación	\$170.000
Días trabajados al mes	26	Gasto operacional	\$650.000
Recorrido diario [km]	240		

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Estado.

En la **Tabla 5.3** se muestran los datos utilizados para realizar el flujo de caja de taxis colectivos convencionales. El costo del vehículo corresponde al promedio obtenido desde la **Tabla 3.6**. La tasa de interés mensual fue estipulada como la oferta que se ha realizado para los préstamos entregados a dueños de taxis colectivos, la que define el valor de la cuota que se cobraría en base al costo total del crédito.

El valor de la mantención fue obtenido en conversaciones con agentes de Nissan, quienes trabajan su modelo Nissan Leaf de la misma manera que el Hyundai Ioniq (respecto al mantenimiento). Es así como, en promedio, calcularon un costo de servicio técnico igual a \$200.000 cada 10.000 kilómetros recorridos. La mantención anual fue en base al dato anterior y según los kilómetros promedio recorridos por los dueños de taxis colectivos, lo cual fue estimado como un promedio del kilometraje diario que utilizan estas personas en sus trabajos. Por tanto, anualmente recorren un aproximado de 74.880 kilómetros (240km por 26 días por 12 meses trabajados).

El rendimiento promedio fue definido en la **Tabla 4.1**, mientras que el precio del combustible fue calculado con los datos diarios de todo el 2019 (como un promedio del precio que estipuló diariamente cada servicentro del país), desde la información entregada por la Comisión Nacional de Energía (2020)[62]. Entonces, el gasto en combustible anual se calculó de la siguiente manera:

$$Gasto_{combustible}(anual) = \frac{Recorrido_{anual}[km] * Precio_{gasolina} \left[\frac{CLP}{litro} \right]}{Rendimiento \left[\frac{km}{litro} \right]} \quad (5.6)$$

Finalmente, los gastos operacionales anuales, que incluyen el seguro contra accidentes y permisos de circulación, fueron estipulados en la **Tabla 4.1**. El horizonte temporal sobre el cual se trabajó es de 8 años, considerando que se debió comparar con el caso de los vehículos eléctricos que tienen un vida útil estimada de 8 años. Entonces, desde los datos obtenidos se construyó el siguiente flujo de caja:

Tabla 5.4: FC para el negocio de taxis colectivos con combustión interna (MM\$CLP).

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos		16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
Gasto en combustible		-5,6	-5,6	-5,6	-5,6	-5,6	-5,6	-5,6	-5,6
Mantención		-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
Gasto operacional		-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
Flujo de caja operacional		8,3							
Cuotas		-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
Inscripción (3% inversión)	-0,3								
Flujo de caja	-0,3	5,9							

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Estado.

La **Tabla 5.4** muestra cómo es el comportamiento financiero de un dueño de taxis colectivos convencionales. Se observan las ganancias definidas en la **Tabla 5.2** y los datos de la **Tabla 5.3**. La sección relacionada con los trámites de inscripción del taxi colectivo al mercado fue calculada como un 3% de la inversión total del vehículo, en base a estudios realizados por trabajadores del Banco (también es este porcentaje para el caso del auto eléctrico).

Con lo anterior, se obtiene que el Valor Actual Neto (VAN) a una tasa del 10% equivale a \$31.05 millones de pesos para 8 años de análisis. Además, la inversión se recuperaría al segundo año (sumando los flujos totales). Cabe señalar que el estudio mostrado en esta parte se mantuvo constante para las demás secciones, dado que es el punto de comparación sobre del trabajo.

5.4.2.3. Taxi colectivo eléctrico sin subsidio

Para el caso del vehículo eléctrico se consideraron los siguientes valores:

Tabla 5.5: Valores del mercado de taxis colectivos eléctricos sin subsidio.

Costo del vehículo	\$27.790.000	Recorrido anual (km)	74880
Interés mensual	1.50 %	Costo por kWh (SPR)	230
Cuota mensual	\$548.108	Capacidad de batería [kWh]	38.3
Cuota anual	\$6.577.297	Costo de cargar sin subsidio	2748408
Mantención (10.000km)	\$140.000	Seguro	\$660.000
Mantención anual	\$1.048.320	Permiso de circulación	\$590.200
Días trabajados por mes	\$26	Gasto operacional	\$1.250.200
Recorrido diario (km)	\$240		

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Estado.

Una de las principales diferencias con el caso del taxi colectivo convencional fue el precio, definido desde el vehículo Hyundai Ioniq en la **Figura 4.12**, lo cual varió el costo de cuota mensual con la misma tasa de interés. A su vez, el costo de mantención fue definido como un 70% de lo que cuesta para automóviles con combustión interna, a través de las conversaciones realizadas con agentes de Nissan. El valor del seguro y del permiso de circulación se establecieron en la **Tabla 4.1**.

Las ganancias totales y el kilometraje anual mantuvieron los mismos valores que en el caso del auto convencional, considerando que cambios en la tecnología no afectarían a esta parte de los resultados. Por otro lado, los gastos anuales de recargar la batería se definieron como sigue:

$$Costos_{anuales} = Días_{trabajados}(año) * Costo_{carga} \left[\frac{\$}{kWh} \right] * Capacidad_{batería}[kWh] \quad (5.7)$$

Donde los días trabajados fueron calculados de la misma manera que para el caso del taxi colectivo convencional (igual a 312). Entonces, estos valores entregan el siguiente flujo de caja:

Tabla 5.6: FC para el negocio de taxis colectivos eléctricos sin subsidio (MM\$CLP).

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos		\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1
Gasto en electricidad		\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7
Mantención		\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0
Gasto operacional		\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3
FC operacional		\$11.0							
Cuotas		\$-6.6	\$-6.6	\$-6.6	\$-6.6	\$-6.6	\$-6.6	\$-6.6	\$-6.6
Inscripción (3% inversión)	\$-0.8								
FC	\$-0.8	\$4.5							

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Estado.

Se observa en la **Tabla 5.6** que el valor de las cuotas anuales para el taxi colectivo eléctrico fue igual a un 275% de lo que se obtuvo en el flujo de caja del vehículo convencional. Por el contrario, los gastos operacionales, en electricidad y mantención fueron menores que en el caso anterior, lo que ha comprobado el efecto positivo en el uso cotidiano que tienen los autos eléctricos por sobre los de combustión interna. Al igual que en el flujo de caja anterior, se incluyó un valor de inscripción de 3% asociado a los costos de tramitación del vehículo para la entrada al parque automotriz.

Desde lo analizado se logró concluir que el Valor Actual Neto (VAN) fue de \$22.94 millones de pesos para 8 años de análisis. Por su parte, la inversión se recuperaría en el año 7, representando una diferencia de 5 años respecto al caso del taxi colectivo convencional. Entre ambos tipos de automóviles, el delta VAN corresponde a:

$$Delta_{VAN} = VAN_{eléctrico} - VAN_{combustible} = -\$8.11 \text{ millones} \quad (5.8)$$

Esto permite distinguir el efecto que tiene el valor del vehículo en el resultado final, determinado en el pago de cuotas anuales dentro del flujo de caja. Dado esto, en la siguiente sección se muestran las restricciones que fueron incluidas en el modelo para responder a esta barrera de entrada.

5.4.3. Restricciones el modelo

Para realizar la optimización se tuvieron que ajustar las características que se querían obtener en base a los objetivos planteados para el programa general. Esto implicó la construcción de restricciones que permitieron obtener los resultados finales. Primero, se definieron las naturalezas de las variables sobre las cuales se realizó la optimización.

$$0\% \leq \delta_e, \lambda, \pi, \rho \leq 100\% \quad (5.9)$$

$$25\% \leq \theta \leq 60\% \quad (5.10)$$

Las primeras tres variables de optimización fueron establecidas como porcentajes del modelo, por lo que sólo podían estar en un rango entre 0% y 100%. Por su parte, la variable θ tuvo una cota superior diferente dado que no era una opción entregarse la totalidad del subsidio al precio para la renovación del taxi colectivo por auto eléctrico. Por su parte, la cota inferior fue analizada desde los montos entregados para Renueva Tu Colectivo, en donde se estipulaba un subsidio al precio de MM\$7 de pesos (**sección 4.3.3.3**), lo que define un 25% del valor del Hyundai Ioniq.

Ahora, para tener una referencia sobre los montos que se esperaban obtener en los subsidios ya existentes del programa Renueva Tu Colectivo, se estipuló un máximo de gasto para el programa según cuánto dinero invirtió cada región, de manera que no existiesen incongruencias respecto a los órdenes de magnitud que se han manejado en las diferentes zonas. Entonces, la restricción mencionada se estructuró de la siguiente forma:

$$Prog_{incentivos} \leq Montos_{RenuevaTuColectivo} \quad (5.11)$$

Esto buscó responder a la barrera de entrada relacionada con la diferencias en las prioridades entre regiones, dado que los montos analizados ya fueron entregados en periodos anteriores para este tipo de programas (**Tabla 4.6**). Por otro lado, como el resultado debía ser rentable para el dueño de taxis colectivos, se definió la siguiente restricción:

$$VAN_{eléctrico} > VAN_{convencional} \quad (5.12)$$

Con esta limitante, en el largo plazo se tendrían mejores rendimientos al comprar el auto eléctrico por sobre el convencional. En esta parte se incluyó el efecto de la cuota anual que pagaría el dueño del taxi colectivo eléctrico, la cual se vería disminuida directamente por el subsidio total sobre el costo final del automóvil. Además, se consideraron para el flujo de caja los efectos del subsidio a los costos de recargar el vehículo eléctrico por dos años. Por tanto, la optimización entrega conclusiones en base al cruce de estos parámetros para obtener los porcentajes óptimos del modelo.

Ahora bien, si la cuota mensual para costear la compra de un taxi colectivo eléctrico fuese muy alta en comparación con los vehículos convencionales existirían casos en que los dueños no podrían pagar estas mensualidades, por lo que se estipuló la siguiente restricción.

$$Cuota_{eléctrico} \leq 1.3 * Cuota_{convencional} \quad (5.13)$$

Esta regla permitió estructurar un máximo de 30% para la diferencia entre la cuota anual del auto eléctrico respecto al convencional, según lo definido en conjunto con otras entidades financieras. Como se mencionó, el valor de la cuota anual afecta de manera directa al flujo de caja, y, por tanto, al valor final del subsidio entregado para el precio. La última restricción fue:

$$Interés_{mensual} = 0.89\% \quad (5.14)$$

Entonces, se estipuló una tasa de interés diferente para las cuotas mensuales respecto a lo ofrecido para taxis colectivos convencionales. Al disminuir esta tasa de interés, el dueño del vehículo tendría que pagar menores costos asociados a los intereses, lo que aumentaría su rentabilidad final. Para confirmar que este valor se ajusta a los términos actuales, se usó como referencia la tasa de interés anual promedio para el año 2019 en Chile, desde los datos entregados por la Comisión para el Mercado Financiero (2020)[63]. Este parámetro correspondió a un 12.82%, lo que entregó una referencia de 1.07% mensual (aproximadamente), y, por tanto, la restricción utilizada está en un orden de magnitud correcto.

Con todas estas restricciones se pudo estructurar el flujo de caja asociado a la compra de taxis colectivos eléctricos con subsidio. Cabe señalar que no existieron variaciones en el caso del flujo de caja para auto convencional dado que el programa no tendría efecto en esos valores.

5.4.4. Taxis colectivos eléctricos con subsidio

En esta sección se muestran los resultados entregados para el flujo de caja de la Región de Arica y Parinacota posterior a la optimización del modelo. Para cada una de las regiones se obtuvo un flujo de caja distinto, según los parámetros que presentó el proceso de optimización. En la próxima sección se muestra cuáles son los porcentajes finales para cada una de las variables en las diferentes regiones, pero este apartado permite observar algunas de las principales características que se vieron afectadas desde las restricciones del modelo.

Tabla 5.7: Valores del mercado de taxis colectivos eléctricos con subsidio. Ejemplo de resultados para Arica y Parinacota.

Costo del vehículo	\$27.790.000	Recorrido diario (km)	240
Subsidio al precio	\$12.179.126	Recorrido anual (km)	74.880
Crédito	\$15.610.874	Costo por kWh (SPR)	\$230
Interés mensual	0,89 %	Capacidad de batería [kWh]	38,3
Cuota mensual	\$242.536	Costo de cargar sin subsidio (SPR)	\$2.748.408
Cuota anual	\$2.910.432	Costo de cargar con subsidio (CPR)	\$2.704.433
Mantenimiento (10.000km)	\$140.000	Seguro	\$660.000
Mantenimiento anual	\$1.048.320	Permiso de circulación	\$590.200
Días trabajados por mes	26	Gasto operacional	\$1.250.200

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Estado.

En la **Tabla 5.7** se presentan los valores relacionados con la entrega de los subsidios que se estipularon en el programa para la compra de vehículos eléctricos. En particular, para la Región de Arica y Parinacota, se obtuvo un porcentaje óptimo de subsidio al precio del automóvil igual a 43.8 %, lo que equivale a un subsidio de \$12.179.126 pesos. Esto implica que el crédito final que debiese pedir el dueño del taxi colectivo correspondería a \$15.610.874 pesos, entregando una cuota mensual de \$232.536 pesos.

Por su parte, el porcentaje asociado al subsidio para el costo de recargar las baterías dio como resultado un porcentaje de 4.96 %, por lo que se entregaría un monto de \$136.750 anuales por dos años para disminuir estos gastos en energía. Esto es para todos los dueños de taxis colectivos que se verían beneficiados con el subsidio del programa.

Cabe señalar que los porcentajes de apoyo económico en caso de falla y de subsidio a la instalación de puntos de recarga no afectan de manera directa al flujo de caja, pero si generó cambios a los valores monetarios presentados en el modelo. Esto se detalla en la próxima sección. Entonces, el flujo de caja para un dueño de taxi colectivo eléctrico con subsidio es:

Tabla 5.8: FC para el negocio de taxis colectivos eléctricos con subsidio (MM\$CLP). Ejemplo para Arica y Parinacota.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos		\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1	\$16.1
Costos variables (CPR)		\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7	\$-2.7
Mantenimiento		\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0	\$-1.0
Gasto operacional		\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3	\$-1.3
Flujo de caja operacional		\$11.1	\$11.1	\$11.0	\$11.0	\$11.0	\$11.0	\$11.0	\$11.0
Cuotas		\$-2.9	\$-2.9	\$-2.9	\$-2.9	\$-2.9	\$-2.9	\$-2.9	\$-2.9
Inscripción (3 % inversión)	\$-0.8								
Flujo de caja	\$-0.8	\$8.2	\$8.2	\$8.1	\$8.1	\$8.1	\$8.1	\$8.1	\$8.1

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Estado.

En la **Tabla 5.8** se muestra el flujo de caja para el caso estudiado, donde destaca una variación mínima entre el flujo de caja operacional del caso con subsidio y sin subsidio, para los dos primeros años (equivalente al subsidio entregado sobre el costo de cargar la batería). La gran diferencia respecto al caso sin subsidio se reflejó en las cuotas anuales, dado que representaron un 43.9% de lo observado en la **Tabla 5.9** (próxima sección). Esto se debió al subsidio estipulado para el precio y a la tasa de interés mensual ofrecida para este caso (0.89%).

Por tanto, el Valor Actual Neto (VAN) para el caso de un dueño de taxi colectivo eléctrico en Arica y Parinacota fue de \$42.58 millones de pesos. Este valor corresponde a un 37.1% más respecto al caso basal del taxi colectivo convencional, y a un 85.6% más respecto al taxi colectivo eléctrico sin subsidio. Entonces, se cumplió la restricción de que el VAN del vehículo eléctrico fuese mayor que el convencional.

Además, se pudo distinguir que la inversión se recuperaría en el cuarto año, equivalente a 3 periodos menos respecto al caso sin subsidio. Como se mencionó, el modelo entregó un flujo de caja diferente para cada una de las regiones, pero la estructura fue similar en todas. Las únicas variaciones estuvieron relacionadas con los porcentajes óptimos de cada región, los cuales se detallan a continuación.

5.4.5. Resultados de la optimización por región

La optimización del modelo se redujo a la siguiente función objetivo desde lo detallado en secciones anteriores, dado que la idea fue proporcionar los mejores incentivos económicos para los dueños de taxis colectivos.

$$\max_{\delta_e, \theta, \pi, \rho, \lambda} Prog_{incentivos} \quad (5.15)$$

Entonces, con las restricciones que fueron descritas, el modelo entregó resultados óptimos relacionados con las 5 variables sobre las cuales se hizo la maximización. Para esto, se utilizó el complemento Solver del software Excel sobre los datos de cada una de las regiones. Cabe señalar que los únicos parámetros iniciales que eran diferentes entre las 16 regiones del país correspondían a los montos máximos del programa Renueva Tu Colectivo y a la cantidad de colectivos totales. Entonces, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5.9: Resultados optimización del modelo. Subsidio al precio del vehículo eléctrico (M\$CLP).

Región	Colectivos región	Renovados δ (%)	Renovados	Subsidio precio θ (%)	Subsidio (\$)	Precio final	Cuota mensual
Tarapacá	256	3.13 %	8	48.9 %	\$13.598	\$14.192	\$220.5
Antofagasta	3.971	1.01 %	40	42.6 %	\$11.839	\$15.951	\$247.8
Atacama	2.199	1.48 %	32	47.4 %	\$13.182	\$14.608	\$227.0
Coquimbo	4.701	2.30 %	108	41.3 %	\$11.477	\$16.313	\$253.4
Valparaíso	8.247	1.13 %	93	41.5 %	\$11.524	\$16.266	\$252.7
O'Higgins	3.287	5.13 %	168	42.0 %	\$11.663	\$16.127	\$250.6
Maule	3.019	4.65 %	140	43.8 %	\$12.179	\$15.611	\$242.5
Bío Bío	3.615	0.92 %	33	39.5 %	\$10.977	\$16.813	\$261.2
La Araucanía	2.556	2.95 %	75	42.9 %	\$11.921	\$15.869	\$246.5
Los Lagos	3.696	1.10 %	41	39.2 %	\$10.893	\$16.897	\$262.5
Aysén	441	3.97 %	17	41.0 %	\$11.405	\$16.385	\$254.6
Magallanes	1.264	1.86 %	23	40.6 %	\$11.276	\$16.514	\$256.6
Metropolitana	10.140	1.01 %	102	37.8 %	\$10.505	\$17.285	\$268.6
Los Ríos	1.140	2.76 %	31	41.1 %	\$11.422	\$16.368	\$254.3
Arica y Parinacota	1.999	1.28 %	25	43.8 %	\$12.179	\$15.611	\$242.5
Ñuble	1.218	3.98 %	48	39.6 %	\$11.018	\$16.772	\$260.6
País	51.749	1.90 %	984	42.1 %	\$11.691	\$16.099	\$250.1

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la **Tabla 5.9** que los porcentajes óptimos de colectivos subsidiados (δ_e) en cada región variaron entre 0.92 % (Bío Bío) y 5.13 % (O'Higgins). A su vez, hubo 8 regiones que presentaron porcentajes entre 1.00 % y 2.00 %, por lo que este es el rango que más se repitió en los resultados.

Respecto a la cantidad óptima de taxis colectivos renovados se obtuvo un total de 984 para todo el país, equivalente al 1.90 % del parque nacional de taxis colectivos urbanos. Las regiones con más vehículos renovados corresponden a O'Higgins (168) y Maule (140). Por el contrario, las regiones menos beneficiadas fueron Aysén (17) y Tarapacá (8). Esto demuestra que un resultado mayor en el porcentaje óptimo de renovación no implicó directamente la presencia de más automóviles renovados respecto al total de Chile.

Sobre la variable θ se pudo notar que los porcentajes obtenidos estuvieron entre un 37.8 % (Metropolitana) y 48.9 % (Tarapacá). El promedio nacional fue de 42.1 %. La mayoría de las regiones (12) presentó un porcentaje óptimo superior a 40 %, por lo que destacó la relevancia de entregar un alto porcentaje de subsidio al vehículo eléctrico, siendo mayor al 25 % que se había ofrecido en el programa Renueva Tu Colectivo.

Lo anterior afectó directamente al monto del subsidio total entregado, el cual varió entre M\$10.505 CLP (Metropolitana) y M\$13.598 CLP (Tarapacá), superando los M\$7.000 CLP ofrecidos hasta ahora. El subsidio promedio fue de M\$11.691 CLP. Además, esto generó efectos sobre el nivel de las cuotas mensuales que debiese pagar el dueño del taxi colectivo eléctrico, donde los resultados variaron entre \$220.500 CLP (Tarapacá) y \$268.600 CLP (Metropolitana). El promedio fue de \$250.100 CLP para todo Chile.

Sobre las otras variables obtenidas desde la optimización se tiene la siguiente tabla:

Tabla 5.10: Resultados optimización del modelo. Subsidio a la instalación de puntos de carga, a costos de recargar y apoyo en caso de falla (M\$CLP).

Región	Subsidio PdR π (%)	Subsidio PdR (\$)	Apoyo falla ρ (%)	Subsidio C_{kWh} λ (%)	Subsidio anual C_{kWh} (\$)
Tarapacá	75.5 %	\$1.057	78.1 %	1.2 %	\$33.0
Antofagasta	81.1 %	\$1.135	79.2 %	0.8 %	\$24.7
Atacama	83.1 %	\$1.163	85.6 %	1.5 %	\$40.6
Coquimbo	81.3 %	\$1.138	88.5 %	4.1 %	\$112.7
Valparaíso	89.2 %	\$1.249	75.1 %	1.6 %	\$44.0
O'Higgins	80.5 %	\$1.127	91.2 %	5.1 %	\$140.9
Maule	79.6 %	\$1.114	78.2 %	4.7 %	\$127.9
Bío Bío	71.7 %	\$1.004	89.1 %	0.9 %	\$25.3
La Araucanía	83.1 %	\$1.163	85.6 %	3.0 %	\$81.2
Los Lagos	83.5 %	\$1.169	88.8 %	1.9 %	\$52.2
Aysén	86.1 %	\$1.205	86.4 %	4.1 %	\$112.7
Magallanes	84.2 %	\$1.179	94.1 %	3.7 %	\$101.7
Metropolitana	81.9 %	\$1.147	76.1 %	1.4 %	\$38.5
Los Ríos	85.1 %	\$1.191	93.2 %	2.8 %	\$75.9
Arica y Parinacota	79.3 %	\$1.110	85.3 %	1.6 %	\$44.0
Ñuble	91.2 %	\$1.277	76.4 %	4.0 %	\$109.4
País	82.3 %	\$1.152	84.4 %	2.6 %	\$72.8

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 5.10** destacan los porcentajes óptimo de subsidio a la instalación de puntos de recarga (π), los cuales variaron entre 71.7 % (Bío Bío) y 91.2 % (Ñuble). El promedio nacional fue de 82.3 %, por lo que, dado un precio estimado de instalación de \$1.400.000 CLP, significó subsidiar \$1.152.000 CLP para aumentar la red de carga en Chile y superar la barrera de entrada asociada a la infraestructura necesaria para recargar las baterías. Los montos de esta parte estuvieron entre M\$1.004 CLP (Bío Bío) y M\$1.277 (Ñuble).

Sobre el porcentaje óptimo de apoyo económico en caso de falla (ρ), los resultados presentaron valores entre 75.1 % (Valparaíso) y 94.1 % (Magallanes), con un promedio nacional de 84.4 %. A pesar de notarse números bastante altos, esto no se reflejó directamente en el monto total otorgado por persona.

Por último, respecto al porcentaje de subsidio a los costos anuales de recargar los vehículos eléctricos (λ) se obtuvieron resultados entre 0.8 % (Antofagasta) y 5.1 % (O'Higgins), con un promedio de todas las regiones igual a 2.6 %. Esto representaron montos que oscilaron entre \$24.700 CLP (Antofagasta) y \$140.900 CLP (O'Higgins), por lo que los dueños de taxis colectivos se verían beneficiados con dineros entre estos valores por dos años. El promedio en Chile fue de \$72.800 CLP.

Como las restricciones aseguraban que el monto máximo para cada región no superara al dinero otorgado en el programa Renueva Tu Colectivo, esto se vio reflejado en los totales regionales asociados a la optimización. A continuación, se detallan cuáles fueron los valores para cada ítem a nivel nacional:

Tabla 5.11: Montos óptimos (CLP) en Chile. Más información en **Anexo A.6**.

	Monto	Proporción del total
Subsidio al precio	\$11.394.967.042	89.6 %
Subsidio a instalación de puntos de recarga	\$1.134.358.400	8.9 %
Apoyo económico por falla	\$11.869.805	0.1 %
Subsidio a costos de energía	\$173.600.563	1.4 %
Monto total de subsidio regional	\$12.714.795.810	

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 5.11** se distingue que la gran parte de los resultados óptimos fueron definidos para el subsidio al precio (89.6 %) en Chile, seguido por los dineros enfocados a subsidiar la instalación de los puntos de recarga (8.9 %). Con porcentajes mucho menores aparecen las dos otras variables analizadas. Con esto se pudo ver cuáles eran las barreras de entrada que más afectaban a la decisión de renovar un taxi colectivo por auto eléctrico, destacándose la parte del precio y de la infraestructura de carga.

Respecto al apoyo económico en caso de falla se puede observar que un total de 79 personas estarían posibilitadas de recibir este sustento en Chile dado el monto obtenido (\$11.869.805 dividido por los \$150.000 otorgados). Además, se desprende de la **Tabla 5.11** que el total asociado a los resultados de optimización corresponde a MM\$12.715 CLP, equivalente a un 99.6 % de lo que se invirtió en el programa Renueva Tu Colectivo (**Tabla 4.6**)

Para responder a la pregunta de investigación relacionada con la factibilidad de renovar un 30 % del total de taxis colectivos en Chile, es posible hacer una estimación de cuánto costaría con los parámetros optimizados en el modelo. Dado que esto implicaría renovar 15.525 vehículos, la inversión equivaldría a MM\$201.931 CLP, superior en 15 veces al resultado óptimo.

5.4.6. Análisis de sensibilidad

Para esta sección se realizó la siguiente tabla:

Tabla 5.12: Análisis de sensibilidad para Arica y Parinacota.

	Inicial	Variación (%)	Variación (#)	Resultado	Sensibilidad
Precio auto eléctrico	\$27.990.000	1 %	\$279.900	\$28.067.900	0.909 %
Precio θ (%)	43.8 %	1 %		44.3 %	0.909 %
Colectivos en región	1.999	1 %	20	2.019	3.645 %
Renovación δ_e (%)	1.28 %	1 %		1.29 %	3.980 %
Colectivos renovados	25	3 %	1	26	0.335 %
P. de carga π (%)	79.3 %	1 %		80.1 %	0.083 %
Instalar P. de carga	\$1.400.000	1 %	\$14.000	\$1.414.000	0.083 %
Apoyo en caso de falla	\$150.000	1 %	\$1.500	\$151.500	0.001 %
Fallas promedio %	9.6 %	1 %		9.7 %	0.001 %
Falla del auto ρ (%)	85.3 %	1 %		86.2 %	0.001 %
Costo por kWh	\$230	1 %	\$2.0	\$232	0.006 %
Capacidad batería [kWh]	38.3	1 %	0.38	38.68	0.007 %
Veces de recarga al año	312	1 %	3	315	0.006 %
Subsidio costos λ (%)	1.6 %	1 %		1.6 %	0.007 %
Años subsidio costos	2	1 %	0.02	2.02	0.007 %

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 5.12** se puede ver la sensibilidad del monto total regional respecto a los parámetros que se utilizaron. Esta se construyó desde los valores iniciales, para luego variar en un 1% cada uno de los parámetros, *ceteris paribus*, y después se obtuvo el porcentaje de variación sobre el monto total de la región. En particular, se muestra sólo el caso de la Región de Arica y Parinacota dado que todas las regiones tuvieron un comportamiento similar, excepto en dos componentes.

Destacan las sensibilidades de la cantidad de colectivos en la región y del porcentaje de renovación, donde sus magnitud superan en gran medida a los demás parámetros. Esto tuvo sentido, puesto que estos dos factores están relacionados directamente con los cuatro posibles apoyos económicos que se estudiaron. En particular, la componente más importante fue δ_e con una sensibilidad del 3.98% al variar un 1% el parámetro inicial. Esta variable y la relacionada con la cantidad de colectivos totales en la región, fueron las únicas que presentaron alguna desviación relevante respecto a las demás. En **Anexo A.7** se puede caracterizar esta información, notando que la Región Metropolitana considera una sensibilidad menor en estos parámetros, lo cual se debe a la magnitud de los vehículos totales.

Luego resaltaron las sensibilidades del precio del vehículo y del porcentaje de subsidio al precio (θ), con sensibilidades iguales a 0.909% en ambos casos. Esto implicó que ambos aspectos tienen igual efecto en el modelo con un mismo porcentaje de variación. Esta igualdad se repitió para los casos del costo de instalación de un punto de recarga y el porcentaje de subsidio que se otorgaría para este tema (π), dado que ambos variaron un 0.083% el monto regional total cuando aumentaron en un 1% sus valores iniciales.

Todos los parámetros asociados a entregar apoyos económicos en caso de falla generaron una variación de 0.001% en el resultado final, mientras que todos los parámetros relacionados con los subsidios a los costos de recarga provocaron una variación aproximada de 0.006% en el monto regional, por lo que el comportamiento es similar entre todos los factores de ambas partes. Por otro lado, se hizo la misma evaluación para el caso de los efectos sobre el VAN:

Tabla 5.13: Análisis de sensibilidad respecto al VAN para Arica y Parinacota.

	Inicialmente	Variación (%)	Variación (#)	Resultado	Sensibilidad
Ganancias anuales	\$16.080.000	1%	\$160.800	\$16.240.800	2.0%
Costo del vehículo	\$27.990.000	1%	\$279.900	\$28.067.900	-0.67%
Interés (60 meses)	0.89%	1%		0.90%	-0.13%
Cuota mensual	\$242.536	1%	\$2.425	\$244.961	-0.36%
Mantención	\$140.000	1%	1400	\$141.400	-0.13%
Días trabajados mes	26	2%	1	27	3.58%
Recorrido diario (km)	240	1%	2.4	242	0.44%
Costo kWh	\$230	1%	\$2	\$232	-0.30%
Batería kWh	38.3	1%	0.383	38.7	-0.34%
Seguro	\$660.000	1%	\$6.600	\$666.600	-0.08%
Permiso de circulación	\$590.200	1%	\$5.902	\$596.102	-0.07%
Tasa de descuento	7%	1%		7.07%	-0.37%

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 5.13** se observan los resultados del análisis de sensibilidad sobre el Valor Actual Neto (VAN) dada la variación de un 1% de cada uno de los componentes que afectan al flujo de caja realizado. Para esto, se consideraron los parámetros iniciales y óptimos obtenidos desde el modelo, y luego se les aplicaron un aumento de un 1%, *ceteris paribus*, para así determinar la sen-

sibilidad sobre el VAN. En particular, se muestra el producto del análisis sobre la Región de Arica y Parinacota solamente, ya que para todas las regiones los porcentajes de sensibilidad son similares.

El parámetro que más afectó al VAN fue el de días trabajados por mes con un 3.58%, lo cual se debió a que este valor estuvo relacionado directamente con las ganancias anuales y con los kilómetros totales recorridos al año. Luego resalta la variación generada, únicamente, por el cambio de un 1% en las ganancias totales, lo que provocó un aumento de 2.0% en el VAN. El último valor que generó cambios positivos fue la cantidad de kilómetros recorridos al año con un aumento de 0.44% para el VAN.

Los restantes valores generaron variaciones negativas con un aumento de 1% respecto de sus parámetros iniciales. El que más disminuyó el resultado del VAN fue el costo del vehículo eléctrico, con una variación de -0.67%. La cuota mensual, el costo por cargar un kWh, la capacidad de la batería y la tasa de descuento, generaron disminuciones similares para el VAN, con porcentajes que varían entre -0.30% y -0.37%.

5.5. Estructura de beneficios sociales

Para comprender parte de los beneficios sociales que se obtendrían con la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos, se analizaron los niveles de emisiones que se dejarían de presentar en la atmósfera dado el uso de nuevas tecnologías. Entonces, se utilizaron los precios sociales de la emisión de CO₂, Material Particulado (MP) y NO_x, lo que entregó valores finales de beneficios sociales para cada una de las regiones según los resultados de las optimizaciones realizadas.

5.5.1. Beneficios sociales por disminución de emisiones de CO₂

Como se describió en las secciones iniciales de la tesis, cada vehículo convencional emite CO₂ a la atmósfera para su funcionamiento. Dado esto, la siguiente forma funcional permitió monetizar las emisiones de CO₂ que se evitarían por el uso de autos eléctricos para un solo año:

$$Emisiones_{CO_2} = P_{dolar} * P_{CO_2} * \frac{1}{1.000.000} \left[\frac{ton}{g} \right] * \omega_{CO_2} * k_A * N \quad (5.16)$$

Donde se caracterizaron las siguientes variables:

Tabla 5.14: Variables relacionadas con los beneficios sociales de CO₂.

Variable	Significado	Valor
P_{dolar}	Precio del dólar en pesos chilenos (CLP/USD) ¹⁰	\$812.7
P_{CO_2}	Precio social CO ₂ (\$USD/ton CO ₂)	\$5
ω_{CO_2}	emisiones de gCO ₂ vehículo convencional (gCO ₂ /km)	187
k_A	Kilómetros recorridos al año	74.880
N	Cantidad de taxis colectivos renovados	27

Fuente: Elaboración propia.

¹⁰ Precio promedio del dólar y de la UTM entre enero y junio del 2020 (Servicio de Impuestos Internos).

La **Tabla 5.14** define las variables principales usadas en la monetización de los beneficios sociales de CO2. Esto se estructuró con el precio social de emitir una tonelada de CO2 en Chile (Canals, 2016), la cantidad de emisiones de CO2 por kilómetro que presenta un vehículo promedio (según la **Tabla 2.1**), y la cantidad de colectivos convencionales que dejarían de transitar en las calles por el uso de vehículos eléctricos. Cabe señalar que el precio por tonelada de CO2 definido en Chile es particularmente bajo si se compara con el precio promedio OCDE (32 dólares), equivalente a 6 veces más que el estipulado en Chile (OCDE, 2018)[64].

Para cada región se tuvo un número diferente de taxis colectivos renovados asociados al resultado de la optimización. Los demás parámetros fueron constantes para todas las regiones.

5.5.2. Beneficios sociales por disminución de emisiones de NOx

Los beneficios sociales por no emitir NOx se calcularon con la estimación de impuestos verdes:

$$Emisiones_{NOx} = Impuestos_{verdes} [UTM] * valor_{UTM} * N \quad (5.17)$$

Con la siguiente definición (Canals, 2016)[65]:

$$Impuesto_{verde} [UTM] = \left[\frac{35}{Rendimiento \left[\frac{km}{lt} \right]} + 90 * Emisión_{NOx} \left[\frac{g}{km} \right] \right] * P_{venta} * 0.00000006 \quad (5.18)$$

Esta es la fórmula que se ha utilizado para calcular el valor tributario que se cobra a la primera venta de los vehículos con combustión interna en Chile, a través de los impuestos verdes. En particular, esta forma funcional considera el rendimiento de los vehículos (11 km/litro para el modelo según **Tabla 4.1**), las emisiones de NOx equivalentes a 0.301181 gNOx por kilómetro recorrido (**Tabla 2.1**) y el precio de venta del automóvil convencional (\$10.162.803 pesos en el modelo).

Con lo anterior, y con el valor promedio de la Unidad Tributaria Mensual (UTM) para 2020⁹ (\$50.101 pesos chilenos), se calcularon los impuestos verdes en un año que significarían la compra de taxis colectivos eléctricos en vez de con combustión interna.

5.5.3. Beneficios sociales por disminución de emisiones de MP

Respecto a la estimación de beneficios sociales relacionados con las emisiones de material particulado (MP), se trabajó la siguiente forma funcional:

$$Emisiones_{MP} = P_{MP} * \frac{1}{1000} * (\Phi_{IV} * \Psi_{IV} + \Phi_V * \Psi_V + \Phi_{VI} * \Psi_{VI}) * (k_A * N) \quad (5.19)$$

Donde,

Tabla 5.15: Variables relacionadas con los beneficios sociales de MP.

Variable	Significado	Valor
P_{MP}	Precio social del MP (pesos chilenos)	0.722 (CLP/kg MP)
Φ_{IV}	Cantidad emisiones MP - EURO IV	0.025 gMP/km
Φ_V	Cantidad emisiones MP - EURO V	0.0005 gMP/km
Φ_{VI}	Cantidad emisiones MP - EURO VI	0.000045 gMP/km
Ψ_{IV}	Proporción de vehículos EURO IV	41.86 %
Ψ_V	Proporción de vehículos EURO V	58.03 %
Ψ_{VI}	Proporción de vehículos EURO VI	0.11 %

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 5.15** se distingue cuáles fueron las variables utilizadas para la estimación de beneficios sociales asociados a las emisiones de MP. Para esto, se utilizó la información de la **Tabla 2.1** y las proporciones obtenidas en la misma sección de esa tabla. Por otro lado, el precio social de emitir MP está definido por el Gobierno de Chile y descrito por García (2018)[66].

Con estos valores, y con la cantidad de kilómetros recorridos por los colectivos que fuesen renovados en cada región, se pudo calcular el total de emisiones de MP para cada año del programa.

5.5.4. Beneficios sociales totales

Para calcular el total, se consideró un horizonte temporal de 8 años en base a la vida útil de los vehículos eléctricos. Entonces, en modo de resumen cada automóvil eléctrico entregaría el siguiente beneficio social por cada año:

$$BS_{auto} = \$154.142 \quad (5.20)$$

Este valor corresponde a la suma de los beneficios definidos para un solo vehículo. Cabe señalar que esto no depende de la región dadas formas funcionales estructuradas. Ahora bien, los beneficios por región se calcularon como sigue (según la cantidad de vehículos renovados en cada lugar):

$$BS_{región} = (BS_{CO2} + BS_{NOX} + BS_{MP}) * 8 \quad (5.21)$$

Mientras que el total nacional cumplió con la siguiente función:

$$\sum_{r=1}^{16} BS_{región} \quad (5.22)$$

Los resultados obtenidos fueron los que se muestran a continuación:

Tabla 5.16: Beneficios sociales totales por región (M\$CLP).

Región	# Colectivos	Impuestos verdes (NOx)	CO2 totales	MP totales	BS regional
Tarapacá	8	\$5.922	3.642	302	12.331
Antofagasta	40	\$29.610	18.208	1.508	55.491
Atacama	32	\$23.688	14.566	1.206	49.325
Coquimbo	108	\$79.946	49.161	4.072	147.976
Valparaíso	93	\$68.842	42.333	3.506	120.847
O'Higgins	168	\$124.361	76.473	6.334	171.406
Maule	140	\$103.634	63.727	5.278	183.737
Bío Bío	33	\$24.428	15.021	1.244	43.160
La Araucanía	75	\$55.518	34.140	2.827	96.185
Los Lagos	41	\$30.350	18.663	1.546	53.025
Aysén	17	\$12.584	7.738	641	22.196
Magallanes	23	\$17.026	10.469	867	30.828
Metropolitana	102	\$75.505	46.430	3.845	138.111
Los Ríos	31	\$22.947	14.111	1.169	40.693
Arica y Parinacota	25	\$18.506	11.380	942	33.295
Ñuble	48	\$35.532	21.849	1.810	62.890
País	984	\$728.398	447.912	37.096	1.261.498

Fuente: Elaboración propia.

Desde la **Tabla 5.16** se pudo notar que los beneficios totales de cada región dependían directamente de la cantidad de vehículos que se renovarían, por lo que las regiones que más beneficios entregarían al país serían O'Higgins y Maule. Caso contrario presentaron las regiones de Tarapacá y Aysén, ya que se posicionaron con la menor cantidad de beneficios sociales.

El total beneficios sociales fue de \$1.261.498.460 CLP, equivalente a un 9.9% de los costos totales que se obtuvieron en la optimización del programa. Por su parte, la componente que afectó más positivamente al total de beneficios fue lo relacionado con la emisión de NOx con un 57.7% de los BS calculados. El resto lo completaron las emisiones de CO2 y MP con un 35.5% y un 2.9% del total, respectivamente.

Ahora bien, se analizó un rango para el precio del CO2 considerando que Chile tiene uno de los más bajos dentro de los países OCDE. Al usar el precio promedio (32 dólares), los beneficios sociales totales para CO2 aumentaron a \$2.866.637.420 CLP (640%), y el total nacional relacionado con todas las emisiones subió a \$3.680.223.783 CLP (292%). Con esto, los beneficios totales serían iguales a un 28.9% de los costos totales del programa.

5.6. Breve análisis macroeconómico

Con el fin de analizar los resultados de la optimización realizada respecto a lo que ha sucedido en otros países, se trabajó en el estudio de factores macroeconómicos que tuvieron los países más desarrollados en electromovilidad, para así compararlos con lo definido en el programa de incentivos mencionado. Entonces, se construyó la siguiente tabla (Diario Expansión, 2020)[67]:

Tabla 5.17: Indicadores macroeconómicos de países 2019 (USD).

	Costa Rica	Chile	Colombia	Países Bajos	España	Canadá	Alemania
PIB anual (MM)	\$65.112	\$298.200	\$331.000	\$956.091	\$1.468.813	\$1.830.075	\$4.053.548
PIB per cápita	\$12.966	\$13.457	\$5.804	\$55.118	\$31.199	\$49.469	\$48.793
Gasto público (MM)	\$11.887	\$64.011	\$78.723	\$401.486	\$615.900	\$695.336	\$1.839.359
Gasto público per cápita	\$2.367	\$3.418	\$1.580	\$23.231	\$13.077	\$18.796	\$22.156
Gasto público (%PIB)	19,70 %	25,40 %	28,10 %	41,90 %	41,90 %	40,70 %	45,40 %
I+D (%PIB)	3.06 %	0.36 %	0.24 %	2.16 %	1.24 %	1.55 %	3.13 %
Ranking innovación	54°	47°	63°	2°	28°	18°	9°
Salario mínimo	\$487	\$376	\$221	\$1.930	\$1.308	\$1.746	\$1.869
Salario medio (anual)	\$9.710	\$12.755	\$3.313	\$62.774	\$32.494	\$43.761	\$61.578
IVA	13 %	19 %	19 %	21 %	21 %	5 %	19 %
Población (M)	5.022	18.729	49.834	17.282	47.100	36.994	83.019

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 5.17** fue construida con el fin de comparar el caso chileno respecto a algunos de los países que más incentivos han entregado para fomentar la electromovilidad. Destacan algunos aspectos macroeconómicos que permitieron analizar el comportamiento de Chile según lo que han hecho otros países. En otras palabras, se buscó definir cuáles países tienen características similares a las nacionales para entender el nivel de inversiones que han hecho en electromovilidad.

Por ejemplo, si se compara la población total entre países, se pudo ver que Chile contaba con una cantidad similar a lo que presentaba Países Bajos en 2019, mayor a lo que tenía Costa Rica, pero menor a lo vivido por Alemania. Respecto al ranking de innovación, Chile se ubicaba en la posición 47 a nivel mundial, por detrás de una nación pionera en este sentido como Países Bajos.

Al analizar los salarios mínimos, se pudo distinguir que Chile estaba muy por debajo de lo que vivían Canadá y los países europeos. Algo similar sucedía con los sueldos medios, lo que permitió entender las diferencias que existían respecto a la barrera de entrada del precio descrita anteriormente. Esto pues, los precios elevados de los vehículos eléctricos tenían efectos mucho más limitantes en Chile por tener salarios medios menores que países del primer mundo, por tanto, un programa con optimizaciones como el que se estudió tendría mayor relevancia en países como Chile.

Un aspecto interesante fue el relacionado con la tasa de Gasto Público respecto al PIB, considerando que dentro de este monto se involucran las inversiones en temas como electromovilidad. Se distingue que Chile es el segundo país peor posicionado respecto a los comparados en la **Tabla 5.17** con un 25.36 % del PIB. Países pioneros en electromovilidad como Alemania (45.4 %) y Países Bajos (41.9 %) han invertido casi el doble en Gasto Público. Al enfocarse en inversiones para I+D, resalta lo realizado por Costa Rica al invertir un 3.05 % de su PIB, lo cual respondió a la idea presentada anteriormente respecto a los incentivos en electromovilidad que ese país concretado.

Más en detalle, se comparó el resultado obtenido en la optimización respecto a porcentaje del Gasto Público y al porcentaje del PIB para 3 países pioneros en electromovilidad. En particular, se trabajó con la tasa de cambio definida anteriormente (812.7 CLP/USD).

Tabla 5.18: Comparación de inversión en electromovilidad.

	Inversión	Años	Inversión anual	% del Gasto Público	% del PIB
Alemania	\$1.012.761.600.000	4	\$253.190.400.000	0.0169 %	0.0077 %
Canadá	\$42.666.750.000	0.5	\$85.333.500.000	0.0151 %	0.0065 %
España	\$37.978.560.000	1	\$37.978.560.000	0.0076 %	0.0036 %
Chile	\$12.714.795.810	5	\$2.542.959.162	0.0049 %	0.0010 %

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 5.18** se presentaron las inversiones realizadas para fomentar la electromovilidad en distintos países (desde los datos obtenidos en secciones previas), junto con el valor final del programa optimizado estudiado anteriormente. Esto permitió comparar estos valores con el PIB y el Gasto Público de cada zona, y así se pudo distinguir la magnitud de las inversiones en esta materia.

Entonces, se observa que el resultado del modelo equivaldría a un 0.0049 % del Gasto Público chileno y un 0.001 % del PIB, aunque este valor es complemento de otras inversiones realizadas en electromovilidad (como buses eléctricos en sistema RED (ex Transantiago), por ejemplo). Al comparar con otros países, destacaron Alemania y Canadá con inversiones que superan el 0.017 % del Gasto Público, demostrando el nivel de incentivos que han entregado para fomentar la electromovilidad en sus localidades. Chile tendría que invertir, al menos, 3 veces lo calculado en el modelo para alcanzar un resultado similar a lo realizado por Alemania o Canadá, y así manejar un orden de magnitud semejante en este ámbito respecto al porcentaje del PIB.

Además, para tener un orden de magnitud respecto a la propuesta inicial de renovar un 30 % de taxis colectivos, se obtuvo anteriormente que esto necesitaría una inversión de MM\$201.931 CLP, lo cual corresponde a un 0.078 % del Gasto Público y a un 0.0167 % del PIB del año 2019. Considerando que en este año se invirtió un 1.85 % del PIB en todo el sector del transporte (Fundación Observatorio Fiscal, 2019)[68], una inversión de este tamaño es desproporcionada al pensar que es sólo en un sector del transporte, enfocado en los taxis colectivos urbanos.

Capítulo 6

Propuestas y recomendaciones

Con la información y resultados mostrados en la tesis es posible presentar algunas propuestas y recomendaciones relacionados con los temas tratados. Algunas de estas ideas se definen sobre aspectos generales relacionados con la electromovilidad en Chile y otras se plantean directamente desde el modelo optimizado que se realizó:

6.1. Propuestas generales

1. **Incentivar electromovilidad público-privada:** Es necesario impulsar el trabajo en conjunto entre entidades públicas y privadas siguiendo los lineamientos de la Estrategia Nacional de Electromovilidad para el 2050. En este sentido, se debe considerar que las empresas privadas como automotoras, concesionarias y otras ligadas a la eletromovilidad se verían beneficiadas en gran medida con un crecimiento del mercado, y, por tanto, también deberían invertir en la entrega de incentivos económicos para la población, tal como se hace en Alemania, Noruega y otros países pioneros en el mundo.
2. **Desarrollar capital humano especializado:** Parte de los esfuerzos para incrementar el conocimiento sobre electromovilidad en Chile deben estar enfocados en el desarrollo de capital humano capacitado en el tema. Con la Estrategia para 2050 se ha potenciado este proceso a través de la creación del Centro Nacional de Electromovilidad, el cual tiene como uno de sus objetivos el aumentar la cantidad de técnicos y profesionales especializados en este ámbito. Es así como en el corto y mediano plazo podrían haber más personas expertas en mantención, construcción e innovación de vehículos eléctricos en Chile, mejorando la posición del país en estos temas a nivel mundial.
3. **Puntos de recarga públicos con fuentes de energías renovables:** Aumentar la cantidad de puntos de recarga públicos en Chile debe estar alineado con la tendencia de Copec Voltex, quienes lo están haciendo en base al uso de fuentes de energías renovables. Esto debe realizarse desde todas las empresas que son partícipes de la infraestructura de carga nacional, considerando que el objetivo principal de los vehículos eléctricos es no contaminar en todos los procesos relacionados con el funcionamiento del automóvil.
4. **Sobre la demora en la entrega de los subsidios,** no se consiguieron mayores avances que disminuyan el efecto potencial de esta situación. Aun así, sería interesante que alguna entidad pública tomara el rol de aval durante el desfase temporal existente entre la entrega del subsidio y la aceptación del crédito.

5. **Aumentar la inversión total en electromovilidad a nivel país (% del PIB):** Para alcanzar los resultados que han existido en lugares como Noruega, Alemania o Países Bajos, se debe incrementar el porcentaje del Gasto Público chileno utilizado en electromovilidad. Ahora bien, esto debe ser decidido respecto al PIB nacional y con visión de largo plazo, considerando aspectos claves del país, como población, sueldo mínimo y medio, extensión geográfica, entre otros, junto con las prioridades que el gobierno defina para los próximos periodos.
6. **Visibilizar electromovilidad en Chile:** Parte los dineros que se inviertan en electromovilidad deben ir enfocados en mostrar este incipiente mercado al país en todos los niveles socioeconómicos. La implementación de taxis colectivos eléctricos sería un aporte en esta materia, considerando que las personas que usan este medio de transporte en su vida cotidiana pertenecen a todos los sectores sociales del país. En este sentido, sería interesante diseñar programas potentes de visibilización de automóviles eléctricos, tanto en televisión, redes sociales y otras plataformas disponibles.
7. **Incentivos económicos para la población general:** Ahora bien, es claro que los niveles de precios que se manejan en el mercado de electromovilidad están fuera del presupuesto de gran parte de la población de Chile, dados los sueldos mínimos y medios que se mostraron en la discusión. Por tanto, la Estrategia Nacional de Electromovilidad hacia el 2050 debe ser apoyada con fuertes incentivos económicos para alcanzar la meta planteada de que un 40 % de autos particulares sean eléctricos.

6.2. Propuestas sobre la renovación de taxis colectivos por autos eléctricos

1. Desde los resultados obtenidos en la optimización con los dineros que se habían invertido en el programa Renueva Tu Colectivo, es posible **implementar un programa nacional** con las siguientes características:
 - a) Programa de 5 años para que los dueños de taxis colectivos postulen a los subsidios, con una inversión nacional de aprox. MM\$2.542 de pesos chilenos por año.
 - b) Comienzo del programa entre 2022 y 2024.
 - c) Renovación de 984 taxis colectivos por vehículos eléctricos en el país.
 - d) Subsidio al precio con un promedio nacional de 42.1 %, equivalente a otorgar M\$11.691 CLP para cada dueño de taxi colectivo.
 - e) Subsidio a la instalación de puntos de recarga en los hogares de los beneficiarios con un promedio nacional de 82.3 %, equivalente a entregar M\$1.152 CLP a cada persona.
 - f) Apoyo económico en caso de falla del vehículo eléctrico comprado con un promedio nacional de 84.4 %. En esta sección el objetivo inicial era otorgar \$150.000 CLP a los dueños de taxis colectivos en caso de falla, y según el total optimizado se podría apoyar a 79 personas en todo Chile con este monto.
 - g) Subsidio al costo de recargar las baterías por los dos primeros años con un promedio nacional de 2.6 % de estos costos, equivalente al apoyo de \$72.800 CLP por persona.

2. Se debe considerar que **los beneficios sociales relacionados con el programa**, al renovar 984 taxis colectivos equivalen a 9.9% de los costos totales que se deben invertir. Por otro lado, al utilizar como referencia el precio promedio OCDE por tonelada de CO2 emitida (32 dólares), los beneficios sociales aumentan al 29.2% de los costos, muy superior al porcentaje obtenido con el precio actual en Chile (5 dólares por tonelada de CO2).
3. **Respecto a la idea de renovar el 30% de taxis colectivos nacionales por vehículos eléctricos** (entonces, $\delta_e = 30\%$, equivalente a 15.525 automóviles), si es que se usaran los promedios obtenidos en cada porcentaje del programa ($\theta = 42.1\%$; $\pi = 82.3\%$; $\rho = 84.4\%$; $\lambda = 2.6\%$), el monto total que sería necesario corresponde a MM\$201.931 CLP, lo cual es muy alto (0.0167%) para los valores invertidos en transporte respecto al PIB del 2019 en el país (1.85%). Por tanto, según este análisis, no es factible económicamente renovar esta cantidad de taxis colectivos por autos eléctricos dados los altos costos enfocados en un solo sector, aunque un comienzo óptimo sería el planteado en el programa.
4. **Sobre el apoyo en caso de falla de los vehículos**, esto podría realizarse como una licitación para empresas aseguradoras de manera de que compitan en precio y calidad de las ofertas. Al generarse esta instancia los precios estimados podrían disminuir, lo que afectaría al total asociado a esta sección del programa y se podría invertir en los otras componentes (precio, infraestructura o costos de cargar). Cada aseguradora tendría una estimación diferente de las tasas de falla, y por tanto el precio dependerá de esos análisis.
5. La propuesta de ofrecer subsidios para **la instalación de puntos de recarga en los hogares es una forma simplificada de aumentar la infraestructura nacional**. Una opción más compleja y costosa sería la construcción de estos puntos en la vía pública, lo cual necesitaría de estudios de viabilidad energética y de optimización para definir dónde instalar según la residencia de los beneficiarios. A pesar de esto, podría ser interesante analizar esta alternativa, considerando que el gobierno tendría mayores incentivos para aumentar la red pública por sobre la instalación privada de puntos de recarga en los hogares.
6. **Precio de los vehículos eléctricos:** El efecto del precio actual en los resultados del modelo presenta relevancia, considerando que, por ejemplo, el valor del Hyundai Ioniq subió aproximadamente \$2.500.000 CLP (equivalente a un 9.8% del valor anterior analizado en 2018) por la contingencia vivida en Chile durante el 2019 y 2020. Esto podría generar variaciones importantes de los resultados si es que los precios volvieran a su punto inicial, por tanto, sería una opción factible esperar a que los precios se normalizaran posterior a la estabilización de la economía nacional, puesto que esto permitiría apoyar a una cantidad mayor que los 984 vehículos obtenidos en los resultados.
7. **Ganancia por venta de autos convencionales:** En el ejercicio de analizar la rentabilidad de los dueños de taxis colectivos no se consideró el hecho de vender el vehículo antiguo, considerando lo variable que puede ser este valor según años de uso, nivel de mantenimiento u otras características propias del automóvil. Esto puede ser un estudio interesante, ya que agrega un nivel de saldo positivo en el periodo inicial del flujo de caja.
8. **Incentivos desde automotoras:** El programa sólo consideró gastos fiscales para proporcionar incentivos a la renovación por autos eléctricos. Sería interesante contar con apoyos monetarios desde las empresas privadas que comercializan estos vehículos, tal como se hace

en países de Europa donde aportan con un porcentaje del precio final del automóvil eléctrico. Esto disminuiría los costos totales para los compradores, y, por tanto, existirían mayores motivaciones para decidirse por electromovilidad. Cabe señalar que, con un aumento de estas ventas, las automotoras también se ven beneficiadas, por lo que, si incrementan sus incentivos podrían aumentar sus utilidades.

9. **Monitoreo de los taxis colectivos eléctricos:** Como la electromovilidad es un mercado incipiente en Chile, se propone que los dueños de taxis colectivos eléctricos deben permitir el monitoreo constante del rendimiento de sus vehículos, para obtener aprendizajes de su funcionamiento que puede ser utilizado para la investigación nacional de estos temas.
10. **Ofrecer el programa para líneas de colectivos:** Dado que existen 2.000 líneas de colectivos en Chile, sería interesante ofrecer la renovación de taxis colectivos para dueños que pertenezcan a una misma flota con precios preferenciales u otros incentivos generales. Esto permitiría tener un trabajo en conjunto entre personas de un mismo sector, y obtener mayores aprendizajes sobre los autos eléctricos desde funcionamientos similares. Además, si es que requieren renovar una cantidad importante de vehículos, estas personas **tendrán un poder de negociación mayor sobre la tasa de interés que ofrezca el Banco**, considerando que los montos solicitados para los créditos serán más altos por tratarse de un grupo de conductores. Con esto, se lograría diversificar el riesgo asociado al préstamo de un solo individuo.
11. **Stock de Hyundai Ioniq en Chile:** Un punto que no fue indagado en la tesis es el stock de vehículos eléctricos necesarios para el programa. Se trabajó con el supuesto de que existirán suficientes Hyundai Ioniq para abastecer a los 984 beneficiarios del programa. En caso de que esto no fuese posible, sería necesario considerar alguna alternativa de automóvil.
12. **Estallido social y Covid-19:** Como aún no existe certeza sobre los efectos económicos de estas situaciones, sería recomendable esperar algunos periodos para empezar un programa de este tamaño. El tiempo adecuado dependerá del momento en que se estabilicen las economías mundiales, lo cual puede suceder en 2 o 3 años más.

Capítulo 7

Conclusiones

El uso de electromovilidad ha ido en aumento desde hace varios años en el mundo. Algunos países han invertido grandes sumas de dinero para fomentar este mercado e incentivar a las entidades públicas y privadas a elegir este tipo de transporte por sobre los que funcionan con combustión interna. Todo esto debido a los efectos negativos que se están presentando en el mundo por el calentamiento global, el cual tiene como una de sus causantes la utilización de combustibles fósiles.

Casos como los de Países Bajos, Noruega o Alemania han sido pioneros en temas de electromovilidad, tanto por sus inversiones en esta materia como por la **implementación de políticas públicas que han motivado el trabajo en conjunto entre entidades privadas y gubernamentales**. A nivel latinoamericano, Costa Rica se posiciona como uno de los países más relevantes al analizar sus políticas para fomentar la electromovilidad.

Chile comenzó su entrada en estos temas hace pocos años con el uso de dineros fiscales para renovar el transporte público y apoyar a algunas empresas relacionadas con electromovilidad, junto con aumentar la infraestructura de carga existente en el país. Aun así, **no se ha enfocado todavía en definir responsabilidades para cada uno de los agentes que están involucrados en las decisiones relacionadas con la electromovilidad nacional**. Las empresas privadas han trabajado por separado para sus propios beneficios, y el Estado ha realizado pocas actividades para unificar a estas entidades y a las públicas hacia un objetivo definitivo.

A pesar de lo anterior, la Estrategia Nacional de Electromovilidad para 2050 puede ser analizada como el **comienzo de un nuevo enfoque para el transporte nacional**. En esta Estrategia se definieron los lineamientos para trabajar en el corto y mediano plazo, por lo que se deben cumplir las metas ahí descritas para que Chile se posicione como un país relevante en materias de movilidad eléctrica.

En esta Estrategia se destacó la **importancia del transporte público como motor de cambio hacia vehículos eléctricos en Chile**. Entonces, en esta tesis se comprendieron algunas características que pueden afectar a la decisión de un dueño de taxi colectivo para renovarlo por un automóvil eléctrico. Una potencial barrera de entrada fue el tamaño de la inversión inicial que deberían realizar estas personas, dado el precio de los vehículos disponibles en el mercado.

Además, destaca como potencial barrera de entrada la cantidad de puntos de recarga que existen en el país y el nivel de centralización de estas, **considerando que gran parte de los taxis**

colectivos circulan en regiones. Otros puntos relevantes fueron la dificultad que podrían tener los conductores para mantener sus vehículos, puesto que no existe suficiente oferta de puntos de mantención en regiones al tratarse de un mercado incipiente.

Dado lo anterior, **se definió un programa con un modelo de costos** para comprender si era factible económicamente renovar un 30 % de los taxis colectivos por vehículos eléctricos en Chile. Para esto, se consideró la información de incentivos que ya se habían entregado en cada una de las regiones, y así manejar un orden de magnitud óptimo en base a decisiones anteriores (respecto a los montos otorgados). **El modelo consideró algunas de las potenciales barreras de entrada descritas en la tesis**, lo que permitió obtener resultados que estuviesen alineados con estos temas. Además, se trabajó con los rendimientos esperados de cada negocio, tanto para el caso de un taxi colectivo eléctrico como uno convencional.

En particular, **la estructura de costos se basó en los montos otorgados por cada gobierno regional para el programa Renueva Tu Colectivo.** Las componentes del modelo estuvieron relacionadas con subsidiar parte del precio del vehículo eléctrico, subsidiar la instalación de puntos de recarga en hogares, apoyar económicamente a los beneficiarios en caso de falla de los automóviles y subsidiar parte de los costos de recargar las baterías por dos años.

Los resultados de la optimización permitieron concluir que gran parte de los incentivos deben enfocarse en subsidiar el precio de los automóviles eléctricos, lo que concluye que esta es la principal barrera de entrada para este tipo de vehículos. En segunda instancia resaltó el subsidio a la instalación de puntos de carga, concluyendo que esta es otra barrera de entrada importante.

Respecto a la pregunta de investigación, **se concluye que no es factible renovar el 30 % de taxis colectivos por autos eléctricos en Chile**, dado que esto necesitaría un nivel de inversión superior a lo comprometido hasta la fecha en temas de electromovilidad nacional y muy alto en comparación con lo gastado en transporte a nivel global respecto al porcentaje del PIB del 2019. Aun así, es factible renovar un 1.9 %, de estos vehículos desde los resultados obtenidos en la optimización. Esto significaría una estimación de beneficios sociales importante según las emisiones que se dejarían de presentar por el uso de movilidad eléctrica.

Por último, es posible concluir que dada la contingencia nacional y mundial que se vivió en Chile por el estallido social y la pandemia del Coronavirus, muchas de las inversiones que se esperaban realizar en materias de innovación y desarrollo **se verán disminuidas en cantidad y postergadas después de que la economía nacional se estabilice.** Por tanto, programas de incentivos como el planteado en la tesis deberán pasar a segundo plano para priorizar temas sociales en Chile.

Bibliografía

1. Organización de las Naciones Unidas – ONU. (2017). El trabajo de la FAO sobre el cambio climático. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2017. Páginas 4 – 8. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>
2. Asociación Gremial de Vehículos Eléctricos de Chile – AVEC. (2019). Electromovilidad en Chile 2019. Informe del estado actual de la industria.
3. Electricidad, la revista energética. (2018). ElectroMov, referente para la electromovilidad. Revista EI online. Disponible en línea. Visitado por última vez el 10 de junio de 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
4. Granda, M. (2019). China encabeza la carrera del coche eléctrico con el 56 % de las matrículas. CincoDías, Diario El País. Disponible en línea. Visitado por última vez el 10 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
5. Agenda País. (2019). Llegan a Chile 100 nuevos buses eléctricos para incorporarse al sistema de transporte público. Diario El Mostrador. Disponible en línea. Visitado por última vez el 10 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
6. Ministerio de Energía. (2017). Estrategia Nacional de Electromovilidad. Un camino para los vehículos eléctricos. Ministerio de Energía, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. [Disponible en línea](#)
7. Ministerio de Transporte. (2020). Bases de datos de parques vehiculares. Parques vehiculares para marzo del 2020. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 10 de marzo del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
8. Pérez, D. (2017). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *Research Journal 2017*. Vol 2, No. 23-34. ISSN 2477-9024.
9. Colprensa. (2018). ¿Cuánto carbono producen los distintos tipos de vehículos? Revista Turbo. buses eléctricos para incorporarse al sistema de transporte público. Diario El Mostrador. Disponible en línea. Visitado por última vez el 10 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
10. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2020). Consumo de combustible y emisiones de CO₂, vehículos homologados 2020. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 10 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
11. AdBlue. (2017). Normativa Euro VI sobre emisiones. Normativas y reglamentos. Disponible en línea. Visitado por última vez el 10 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
12. Servicio de Impuestos Internos – SII. (2017). Consultar rendimiento urbano y emisiones contaminantes. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 26 de abril del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)

13. Sánchez, C. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*. 2016; 33(1):128-38. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2016.331.2014>
14. De la Herrán, J. (2014). El auto eléctrico: una solución apremiante. Ciencia de Boletín. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC).
15. Duque, S. (2017). Blackspeed, parte I. Postgrado de la Facultad de Economía y Negocios. Universidad de Chile. **Disponible en línea.**
16. Natividad-Viego, V. Belen-Volonté, C. (2017). Estimaciones del tráfico urbano de pasajeros de colectivos de Bahía Blanca, Argentina. 2007-2014. *Economía, sociedad y territorio*, 17(55), 561-580. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.22136/est20171040>
17. Figueroa, O. (2005). Transporte urbano y globalización: Políticas y efectos en América Latina. *URE (Santiago)*, 31(94), 41-53. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612005009400003>
18. Comisión Nacional de Productividad. (2018). Tecnologías disruptivas. Regulación de las plataformas digitales. Capítulo 3 – Plataformas de transporte. Gobierno de Chile. **Disponible en línea.**
19. Ministerio de Hacienda. (2016). Modifica artículo 6° de la Ley N° 18.502, autoriza importación de vehículos que señala y establece normas sobre transporte de pasajeros. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile – BCN*. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. **Click para acceder al enlace.**
20. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2016). Decreto 212. Reglamento de los servicios nacionales de transporte público de pasajeros. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile – BCN*. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. **Click para acceder al enlace.**
21. Cabrera, F. García, N. (2019). Políticas de Fomento a la Electromovilidad. Antecedentes y revisión de las políticas en Francia, Alemania, China, India y Noruega y el avance en Chile. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile – BCN*.
22. European Environment Agency - EEA. (2017). Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras. Unión Europea.
23. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (2019). Electromovilidad, tecnología para la carga de vehículos eléctricos. Informe de tecnologías de dominio público. Edición 98. Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI). Gobierno de Chile.
24. García, N. (2019). Electromovilidad. Tendencias y experiencia nacional e internacional. Comisión de Transporte y Telecomunicaciones del Senado. Gobierno de Chile. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile – BCN*.
25. Corporación de Fomento y Producción – CORFO. (2017). CORFO se compromete con la Estrategia Nacional de Electromovilidad. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 25 de junio del 2020. **Click para acceder al enlace.**
26. Isla, L., Singla, M., Rodríguez, M. Granada, I. (2019). Análisis de tecnología, industria y mercado para vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0001638>
27. Fundación Vida Sostenible – FVS. (2011). El coche eléctrico. **Disponible en línea.**

28. Electromov. (2020). ¿Regreso de vacaciones? Conoce el nuevo servicio de taxis eléctricos que te trae del aeropuerto. ElectroMOV.cl, para estar al día en electromovilidad. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
29. Ministerio de Energía. (2019). Buenas prácticas en Movilidad Eléctrica. Gobierno de Chile. [Disponible en línea.](#)
30. Bloomberg NEF. (2018). New Energy Outlook 2018: BNEF's annual long-term economic analysis of the world's power sector out to 2050.
31. Álvarez, S. (2020). Mantenimiento de un coche eléctrico: qué se revisa, y cómo es con respecto a un coche de combustión interna. Diario Motor. Disponible en línea. Visitado por última vez el 21 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
32. Empresa Nacional de Electricidad – ENEL. (2020). A partir de 2023, las diferencias de precio con los autos tradicionales no van a ser significativas. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
33. Vicuña, J. (2019). Cuánto cuestan y consumen los cinco autos eléctricos más vendidos de Chile. Diario La Tercera. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
34. Organización de las Naciones Unidas – ONU. (2018). Movilidad eléctrica: avances en América Latina y el Caribe y oportunidades para la colaboración regional. Informe Regional de Movilidad Eléctrica 2018. Euroclima+. ONU Medioambiente.
35. Figueroa, E. (2018). Caracterización de la demanda por vehículos eléctricos en Santiago, Chile. Universidad de Chile. [Disponible en línea.](#)
36. Reuters, J. (2016). Alemania incentivará el uso de autos eléctricos. Deutsche Welle (DW). Made for minds. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
37. Gutiérrez, D. (2020). Alemania aumentará las subvenciones para comprar coches eléctricos e incluye coches usados. Revista Híbridos y Eléctricos, ecotecnología del vehículo. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
38. Wettengel, J. (2020). March marks record e-car month in Germany with over 10.000 new registrations. Clean Energy Wire Journal. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
39. DutchNews. (2018). Climate change plans: slash taxes on electric cars to boost sales. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
40. García, G. (2019). ¿Qué tiene Holanda para que un coche eléctrico de lujo lidere las listas de ventas? Revista Híbridos y Eléctricos, ecotecnología del vehículo. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
41. Raya, A. (2020). El ejemplo holandés: Tesla y los eléctricos ya son los coches más vendidos. Diario El Español. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
42. Regjeringen. (2019). Prop. 1 LS (2019-2020). Proposisjon til Stortinget (forslag til lovvedtak og stortingsvedtak). Det Kongelige Finansdepartement. Ministerio de Finanzas. Noruega.

43. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2019). Plan MOVES II. Segunda edición del programa de incentivos a la Movilidad Eficiente y Sostenible. Gobierno de España. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
44. Mezcua, U. (2019). Los incentivos para vehículos limpios sólo se agotan en tres autonomías. Diario ABC, reportajes. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
45. Transport Canada. (2020). Zero-emission vehicles. Gobierno de Canadá. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
46. Laborda, A. (2019). Canadá alienta la compra de autos eléctricos. Radio Canadá Internacional (RCI). Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
47. Electricidad, la revista energética. (2018). Engie se adjudica 50 % de taxis eléctricos licitados por Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones para operar en Región Metropolitana. Revista EI online. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
48. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones – MTT. (2018). Gobierno adjudica primeros 60 taxis eléctricos en Santiago y reafirma su compromiso con la electromovilidad. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
49. Electromov. (2019). Abren licitación de taxis eléctricos para Valparaíso, Viña del Mar y San Antonio. ElectroMOV.cl, para estar al día en electromovilidad. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
50. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones – MTT. (2020). Montos de subsidio. Programa Nacional de Renovación de Buses. Renueva Tu Micro. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
51. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2019). Renueva Tu Colectivo. Proceso de postulación Programa de Modernización Transporte Público Mayor y Taxis Colectivos. Gobierno de Chile.
52. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2020). Renueva Tu Colectivo. Subsidio por rendimiento urbano 2020. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
53. Electromov. (2020). Ignacio Santelices: “Generaremos toda industria de servicios en torno a la electromovilidad”. ElectroMOV.cl, para estar al día en electromovilidad. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
54. Iberdrola. (2018). El vehículo eléctrico: tipología y principales características. [Disponible en línea.](#)
55. Página oficial de Copec. Costos y tarifas de Copec Voltex. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
56. Superintendencia de Electricidad y Combustibles – SEC. (2020). Definición del TE-6. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)

57. Asociación Gremial de Vehículos Eléctricos – AVEC. (2020). Mapa electrolinerías. Disponible en línea. Visitado por última vez el 19 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
58. Ministerio de Energía. (2020). Electromovilidad y energías renovables. Plataforma de electromovilidad. Disponible en línea. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
59. Ministerio de Energía. (2019). Planificación energética de largo plazo. Período 2018 – 2022. Informe de actualización de antecedentes 2019. Gobierno de Chile.
60. Mateo, M. (2019). ¿Cuánto cuesta, en promedio, un seguro de auto? RankiaPro. La web para los profesionales de la gestión patrimonial. Disponible en línea. Visitado por última vez el 29 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
61. Servicio Nacional del Consumidor – SERNAC. (2016). Ranking de Reclamos Mercado Automotriz: Autopistas, Venta de Vehículos y Empresas de Crédito Automotriz. Primer semestre 2016 – Primer semestre 2015. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Gobierno de Chile.
62. Comisión Nacional de Energía. (2020). Precios históricos de bencina en línea. Gobierno de Chile. Disponible en línea. Visitado por última vez el 29 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
63. Comisión para el Mercado Financiero – CMF. (2020). Tasa de Interés Corriente y Máxima Convencional. Tasas vigentes al 31/12/2019. Disponible en línea. Visitado por última vez el 9 de agosto del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
64. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico – OECD. (2018). Effective Carbon Rates. [Disponible en línea.](#)
65. Canals, J. (2016). Impuestos Verdes en Modernización Tributaria. Subsecretaría del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.
66. García, N. (2018). Decreto 212. Implementación del Impuesto Verde en Chile. Art. 8° ley N°20.780. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile – BCN*. Gobierno de Chile.
67. Diario Expansión. (2020). Análisis comparativo de datos macro entre países. Expansión, Diario económico e información de mercados. Disponible en línea. Visitado por última vez el 29 de junio del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)
68. Fundación Observatorio Fiscal. (2019). ¿En qué gasta el Estado? Por área de gasto 2019. Disponible en línea. Visitado por última vez el 09 de agosto del 2020. [Click para acceder al enlace.](#)

Anexo A

Información adicional

Tabla A.1: Cantidad de líneas de taxis colectivos con N cantidad de vehículos en su flota para marzo del 2020, desagregado por regiones.

Rango	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	RM	R14	R15	R16	Total
[1 - 2]	3	1	0	0	5	0	1	0	1	0	0	0	3	0	0	0	14
[3 - 10]	7	2	1	2	18	3	4	13	0	10	1	4	28	0	2	2	97
[11 - 25]	7	5	12	10	60	15	14	26	6	16	12	9	127	5	3	11	338
[26 - 40]	1	9	5	12	43	15	18	26	13	17	5	6	92	2	2	8	274
[41 - 75]	1	18	11	17	47	22	32	32	10	25	1	6	63	9	6	13	313
[76 - 120]	0	12	8	13	19	8	3	4	4	12	0	4	13	5	7	1	113
[121 - 170]	0	9	1	6	5	2	0	1	4	2	0	1	0	0	2	0	33
[171 - 200]	0	1	0	3	2	1	1	0	3	0	0	0	0	0	2	0	13
[201 - 300]	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
[300 - 400]	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Total	19	57	39	65	200	66	73	102	41	82	19	30	326	21	25	35	1.200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.2: Stock (miles) de BEV y HEV entre 2013 y 2017.

	2013	2014	2015	2016	2017
China	32.22	105.39	312.77	648.77	1227.77
USA	171.44	290.22	404.09	563.71	762.06
Japón	69.46	101.74	126.4	151.25	205.35
Noruega	15.67	35.44	69.17	114.05	176.31
Reino Unido	9.34	24.08	48.51	86.42	133.67
Países Bajos	28.67	43.76	87.53	112.01	119.33
Francia	18.91	31.54	54.49	84	118.77
Alemania	12.19	24.93	48.12	72.73	109.56
Otros	9.35	18.73	37.17	61.63	103.44
Suecia	2.66	7.32	15.91	29.33	49.67
Canadá	5.66	10.73	17.69	29.27	45.95
India	2.95	3.35	4.35	4.8	6.8
Finlandia	0.47	0.93	1.59	3.29	6.34
Nueva Zelanda	0.09	0.41	0.91	2.41	5.88
México	0.1	0.15	0.25	0.66	0.92
Brasil		0.06	0.15	0.32	0.68
Chile	0.02	0.03	0.07	0.1	0.25
Total	381.31	703.64	1239.47	1982.07	3109.05
Crecimiento	113.0%	84.5%	76.2%	59.9%	56.9%

Fuente: Cabrera & García, 2019 [24].

Tabla A.3: Montos asociados al subsidio del Programa Renueva Tu Colectivo (en pesos chilenos), con enfoque en vehículos a gasolina.

Rendimiento urbano [Km/L]	Monto (\$)
5.0 - 10.4	\$300.000
10.5 - 10.9	\$1.600.000
11 - 11.9	\$1.700.000
12 - 12.9	\$2.300.000
13 - 13.9	\$2.400.000
14 - 14.9	\$2.600.000
15 - 15.9	\$3.000.000
16 - 16.9	\$3.300.000
17 o superior	\$3.600.000

Fuente: MTT, 2020 [52].

Tabla A.4: Montos asociados al subsidio del Programa Renueva Tu Colectivo (en pesos chilenos), con enfoque en vehículos a diésel.

Rendimiento urbano [Km/L]	Monto (\$)
5.0 - 12.9	\$300.000
13 - 13.9	\$1.500.000
14 - 14.9	\$1.700.000
15 - 15.9	\$2.300.000
16 - 16.9	\$2.600.000
17 o superior	\$3.000.000

Fuente: MTT, 2020 [52].

Tabla A.5: Montos asociados al subsidio del Programa Renueva Tu Colectivo (en pesos chilenos), con enfoque en vehículos híbridos.

Rendimiento urbano [Km/L]	Monto (\$)
5.0 - 10.4	\$300.000
10.5 - 10.9	\$1.600.000
11 - 11.9	\$1.700.000
12 - 12.9	\$2.300.000
13 - 13.9	\$2.400.000
14 - 14.9	\$2.600.000
15 - 15.9	\$3.000.000
16 - 16.9	\$3.300.000
17 - 17.9	\$3.600.000
18 - 18.9	\$3.900.000
19 - 19.9	\$4.200.000
20 o superior	\$4.500.000

Fuente: MTT, 2020 [52].

Tabla A.6: Montos óptimos (M\$CLP) para el total de las regiones.

Región	Subsidio al precio	Subsidio al PdR	Subsidio por falla	Subsidio a costos	Monto total
Tarapacá	\$108.786	\$8.456	\$90.0	\$528.5	\$117.861
Antofagasta	\$473.542	\$45.416	\$456.2	\$1.984	\$521.398
Atacama	\$421.828	\$37.229	\$394.4	\$2.640	\$462.091
Coquimbo	\$1.239.545	\$122.926	\$1.376	\$24.368	\$1.388.215
Valparaíso	\$1.071.743	\$116.138	\$1.006	\$8.223	\$1.197.110
O'Higgins	\$1.959.395	\$189.336	\$2.206	\$47.480	\$2.198.417
Maule	\$1.705.078	\$156.016	\$1.577	\$35.941	\$1.898.611
Bío Bío	\$362.243	\$33.125	\$423.4	\$1.685	\$397.476
La Araucanía	\$894.082	\$87.255	\$924.5	\$12.258	\$994.520
Los Lagos	\$446.607	\$47.929	\$524.3	\$4.246	\$499.307
Aysén	\$193.886	\$20.492	\$211.5	\$3.944	\$218.533
Magallanes	\$259.348	\$27.112	\$311.7	\$4.779	\$291.552
Metropolitana	\$1.071.471	\$116.953	\$1.118	\$7.881	\$1.197.424
Los Ríos	\$354.072	\$36.933	\$416.0	\$4.784	\$396.206
Arica y Parinacota	\$304.478	\$27.755	\$307.1	\$2.243	\$334.783
Ñuble	\$528.863	\$61.286	\$528.1	\$10.615	\$601.293
País	\$11.394.967	\$1.134.358	\$11.870	\$173.601	\$12.714.796

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.7: Análisis de sensibilidad de resultados en la Región Metropolitana, respecto a las variaciones del monto total del programa.

	Inicial	Variación (%)	Variación (#)	Resultado	Sensibilidad
Precio auto eléctrico	\$27.990.000	1%	\$279.900	\$28.067.900	0.895 %
Precio θ (%)	37.8%	1%		38.2%	0.947 %
Colectivos en región	10.140	1%	101	10.241	0.884 %
Renovación δ_e (%)	1.01%	1%		1.02%	0.884 %
Colectivos renovados	102	3%	1	103	0.097 %
P. de carga π (%)	81.9%	1%		82.7%	0.095 %
Instalar P. de carga	\$1.400.000	1%	\$14.000	\$1.414.000	0.098 %
Apoyo en caso de falla	\$150.000	1%	\$1.500	\$151.500	0.001 %
Fallas promedio %	9.6%	1%		9.7%	0.001 %
Falla del auto ρ (%)	76.1%	1%		76.9%	0.001 %
Costo por kWh	\$230	1%	\$2.0	\$232	0.006 %
Capacidad batería [kWh]	38.3	1%	0.38	38.68	0.007 %
Veces de recarga al año	312	1%	3	315	0.006 %
Subsidio costos λ (%)	1.4%	1%		1.4%	0.007 %
Años subsidio costos	2	1%	0.02	2.02	0.007 %

Fuente: Elaboración propia.