



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

## ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA ELECTRIFICACIÓN DEL SERVICIO DE TAXIS COLECTIVOS EN LA CIUDAD DE VALDIVIA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

JAVIER ANDRÉS CONTADOR LABBÉ

PROFESOR GUÍA:

LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

RODRIGO PALMA BEHNKE

GABRIEL GUGGISBERG ALARCÓN

Este trabajo ha sido realizado en colaboración con la Agencia de Sostenibilidad Energética

SANTIAGO DE CHILE

2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Ingeniero Civil Industrial  
POR: Javier Contador Labbé  
FECHA: 08/03/2021  
PROF. GUÍA: Luis Zaviezo Schartzman

## ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA ELECTRIFICACIÓN DEL SERVICIO DE TAXIS COLECTIVOS EN LA CIUDAD DE VALDIVIA

El presente trabajo de título aborda el proceso de electrificación del servicio de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia, se identifican las barreras existentes, desde una mirada sistémica del servicio y el entorno de implementación.

La primera sección de esta memoria, se focaliza en el levantamiento de información sobre el estado del arte de las tecnologías de electromovilidad y el entendimiento de la operación del servicio de taxis colectivos desde un enfoque regulatorio y organizacional de los actores público-privados involucrados.

Posteriormente, a partir de la información entregada por las autoridades locales de Valdivia y las entrevistas realizadas a los representantes legales de las empresas de taxis colectivos en la ciudad, se realiza una caracterización de la operación del servicio de taxis colectivos, considerando recursos disponibles, trazados y operación actual del sistema.

Mediante la caracterización antes descrita, se diseña un modelo de simulación, representando la operación del servicio por medio de taxis colectivos eléctricos. El modelo propuesto busca identificar la factibilidad operacional por medio de flotas eléctricas, bajo distintos escenarios de evaluación respecto a la infraestructura disponible en la ciudad.

Los resultados obtenidos en el modelo muestran, que en base a las condiciones actuales de infraestructura de carga pública de la ciudad y considerando la disponibilidad de carga lenta domiciliaria, un 17% del total de la flota de taxis colectivos es electrificable, siendo necesaria la incorporación de nueva infraestructura de carga pública o privada para lograr la factibilidad operacional del 100% de la flota eléctrica, bajo las condiciones actuales de operación.

En este contexto, se evalúan dos potenciales modelos de suministro de energía (1) infraestructura de carga privada ubicada en las líneas de servicio de taxis colectivos y (2) infraestructura de carga pública disponible para todos los vehículos. Se identifica que la configuración con el menor costo de capital inicial corresponde a la instalación de cargadores semi rápidos (22kW) en los terminales de las líneas, teniendo un costo estimado de inversión que fluctúa entre los MM \$642 y los MM \$1.075 de pesos chilenos.

Finalmente, en base a la información recopilada y los resultados obtenidos, se propone un listado de barreras y recomendaciones respecto al proceso de electrificación del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi familia. A mis padres, Isabel y Jaime, por ser mi principal apoyo en todos estos años, entregando siempre su cariño incondicional e impulsándome a llegar más lejos. A mis hermanos, Nicolas, Natalia, Esteban, Alonso y Lucas, por la complicidad, cariño, risas y momentos inolvidables que siempre quedarán en el recuerdo y que anhelo sigan forjándose en el futuro. A mis tíos, Marcela y Arturo, por la cercanía, consejo y ayuda en cada etapa que me ha tocado vivir. A mis abuelos, Etelvina y Arturo, por ser el pilar fundamental de la familia y un ejemplo a seguir como personas, por quienes mantengo siempre una profunda admiración.

Agradecer a los miembros de la comisión, a mi profesor guía Luis Zaviezo por su apoyo a lo largo de todo este proceso y por siempre estar atento y disponible para todo lo que necesité. A Rodrigo Palma, por enriquecer este trabajo desde su experiencia y mirada crítica. A mi mentor Gabriel Guggisberg y a todo el equipo de la Agencia de Sostenibilidad Energética, por formarme como profesional, desde la rigurosidad, el trabajo en equipo y la confianza.

Gracias a mis amigos de infancia, por estar siempre presentes, por las risas, las juntas y las horas conversadas que siempre nutren el alma. Al 1212, por recibirme en más de una noche de estudio y carrete, se extrañarán esas juntas en las ventanas de la Universidad. Un especial agradecimiento a La Bolgia, por ser mi familia en los dos años viviendo en Francia, con quienes a pesar de la distancia es como si el tiempo no pasara.

También, agradecer a todas las personas que apoyaron este proyecto entregando parte de su tiempo, respondiendo preguntas, compartir información o aportar con un nuevo punto de vista que enriquece la discusión, a Esteban, Isabel, Javier, Cristian, Diland, a las autoridades locales y los taxistas entrevistados, espero que pronto logremos nuestra mirada conjunta de un futuro eléctrico.

Finalmente, agradecer a la vida, por todas las personas, momentos y lugares hermosos que me ha permitido conocer.

# Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Antecedentes del trabajo de título.....	2
1.2.1 Agencia de Sostenibilidad Energética.....	2
1.2.2 Proyecto piloto de monitoreo de taxis colectivos eléctricos.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Alcances.....	3
1.5 Estructura de trabajo.....	4
Capítulo 2: Electromovilidad.....	5
2.1 Estrategia Nacional de Electromovilidad.....	5
2.2 Vehículo eléctrico a batería.....	7
2.2.1 Principales componentes de un vehículo eléctrico a batería.....	7
2.2.2 Precio de un vehículo eléctrico y expectativas a futuro.....	8
2.3 Infraestructura de carga para vehículos eléctricos a batería.....	10
2.3.1 Categorización de la infraestructura de carga.....	11
2.3.2 Costos de la infraestructura de carga.....	12
2.4 Electromovilidad en Chile y el transporte público terrestre.....	12
2.4.1 Eléctromovilidad en el transporte público.....	14
2.4.2 Incentivos para fomentar la electromovilidad en el transporte público menor.....	18
2.5 Barreras que limitan el desarrollo de la electromovilidad.....	20
Capítulo 3: Taxis colectivos.....	23
3.1 Regulación del servicio de taxis colectivos.....	23
3.2 Regulación para taxis colectivos eléctricos.....	25
3.3 Principales actores relacionados al servicio de taxis colectivos eléctricos.....	27
Capítulo 4: Caracterización del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia.....	29
4.1 Entorno de implementación.....	29
4.2 Caracterización del servicio.....	31
4.2.1 Flotas y líneas de servicio.....	31
4.2.2 Recorridos de las líneas.....	34

4.3	Impacto ambiental del servicio de taxis colectivos.....	35
4.4	Entrevista con propietarios de taxis colectivos.....	36
Capítulo 5: Modelo de simulación de taxis colectivos eléctricos.....		39
5.1	Principales supuestos del modelo .....	40
5.2	Datos disponibles.....	41
5.3	Modelo de simulación.....	43
5.3.1	Variables y parámetros del modelo .....	45
5.3.2	Inicialización del modelo.....	47
5.3.3	Selección de taxi colectivo disponible .....	47
5.3.4	Simulación del recorrido .....	47
5.3.5	Carga domiciliaria .....	47
5.3.6	Carga rápida.....	48
5.3.7	Proceso de toma de decisión.....	48
5.3.8	Actualizar autonomía y estación de carga .....	48
5.3.9	Cálculo del porcentaje de falla .....	49
5.4	Escenarios de evaluación .....	49
5.4.1	Caso base – Sin disponibilidad de carga durante el día.....	49
5.4.2	Disponibilidad de carga domiciliaria.....	49
5.4.3	Disponibilidad de carga en terminales y domicilios.....	50
5.4.4	Disponibilidad de carga pública y domiciliaria .....	50
5.5	Resultados obtenidos .....	50
5.5.1	Caso base – Sin disponibilidad de carga durante el día.....	51
5.5.2	Disponibilidad de carga domiciliaria.....	52
5.5.3	Disponibilidad de carga en terminales y domicilios.....	54
5.5.4	Disponibilidad de carga pública y domiciliaria .....	58
5.6	Estimación de montos de inversión por infraestructura de carga .....	62
Capítulo 6: Potenciales barreras identificadas.....		64
6.1	Monto de inversión .....	64
6.2	Autonomía de los vehículos.....	65
6.3	Infraestructura de carga.....	65
6.4	Programa Renueva tu Colectivo .....	66
6.5	Atomización del servicio .....	66
6.6	Proveedores y servicios complementarios .....	66
6.7	Bajo nivel de conocimiento de la tecnología .....	67

6.8	Escasez de información sobre el servicio de taxis colectivos.....	67
6.9	Contingencia actual.....	67
Capítulo 7: Conclusiones.....		68
Capítulo 8: Discusión y Recomendaciones .....		70
Capítulo 9: Bibliografía .....		73

## Índice de tablas

Tabla 2.1: Precio de los cinco modelos eléctricos más vendidos en Chile .....	8
Tabla 2.2: Costos promedio de un proyecto de infraestructura de carga .....	12
Tabla 2.3: Montos asignados programa Renueva tu Colectivo .....	19
Tabla 3.1: Frecuencias mínimas de operación por cantidad de habitantes.....	24
Tabla 3.2: Vehículos eléctricos autorizados para operar como taxis colectivos .....	26
Tabla 4.1: Tabla resumen servicio de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia. ....	32
Tabla 4.2: Perfil de las líneas según recorrido troncal y variante .....	35
Tabla 4.3: Emisiones generadas por el segmento buses y taxis colectivos .....	36
Tabla 5.1: Características de las líneas de servicio .....	42
Tabla 5.2: Velocidades promedio de circulación en la ciudad .....	42
Tabla 5.3: Configuraciones del vehículo eléctrico considerado.....	43
Tabla 5.4: Potencias de carga de la infraestructura evaluada .....	43
Tabla 5.5: Frecuencias máximas de operación por cada línea de servicio .....	45
Tabla 5.6: Variables y parámetros utilizados en el modelo.....	46
Tabla 5.7: Porcentajes de falla del sistema según configuración de tecnologías .....	51
Tabla 5.8: Porcentajes de falla del sistema según configuración de tecnologías .....	52
Tabla 5.9: Requerimiento de cargadores a instalar por línea de servicio, operación invierno .....	56
Tabla 5.10: Requerimiento de cargadores a instalar por línea de servicio, operación verano .....	57
Tabla 5.11: Estimación del costo de inversión de la infraestructura .....	63
Tabla 6.1: Potenciales barreras al proceso de electrificación .....	64

# Índice de Figuras

Figura 2.1: Diagrama de partes de un vehículo eléctrico [5].....	7
Figura 2.2: Estimación de precios (en USD) de componentes eléctricos sobre precio sugerido de venta por modelo [6].....	9
Figura 2.3: Evolución del costo por kWh en baterías de Ion litio [11] .....	10
Figura 2.4: Categorización de la infraestructura de carga [41] .....	11
Figura 2.5: Ventas anuales de vehículos eléctricos livianos y medianos en Chile.....	13
Figura 2.6: Distribución del parque vehicular eléctrico por regiones .....	13
Figura 2.7: Distribución de los puntos de carga instalados por regiones .....	14
Figura 2.8: Modelo de negocio caso Metbus [21].....	15
Figura 3.1: Ejemplo del trazados troncal y variante línea 150 de la ciudad de Valdivia .....	24
Figura 3.2: Ejemplos de taxis eléctricos en distintas ciudades del mundo.....	26
Figura 3.3: Diagrama de actores involucrados con la operación de taxis colectivos eléctricos.....	27
Figura 4.1: Partición modal diaria [13] .....	31
Figura 4.2: Histograma de la antigüedad de la flota de colectivos en Valdivia .....	33
Figura 4.3: Distribución del parque de taxis colectivos por marca del vehículo.....	33
Figura 4.4: Recorridos taxis colectivos de la ciudad de Valdivia .....	34
Figura 4.5: Distribución de las emisiones generadas por el sector transporte.....	36
Figura 5.1: Datos de entrada y salida del modelo.....	43
Figura 5.2: Diagrama genérico del modelo de simulación.....	44
Figura 5.3: Porcentaje de falla por línea sin disponibilidad de carga, operación verano .....	51
Figura 5.4: Porcentaje de falla por línea sin disponibilidad de carga, operación invierno.....	52
Figura 5.5: Porcentaje de falla por línea con carga domiciliaria, operación Verano .....	53
Figura 5.6: Porcentaje de falla por línea con carga domiciliaria, operación Invierno.....	53
Figura 5.7: Requerimiento de infraestructura de carga, operación invierno .....	54
Figura 5.8: Requerimiento de infraestructura de carga, operación verano.....	55
Figura 5.9: Cantidad mínima de cargadores a instalar en terminales, operación invierno.....	57
Figura 5.10: Cantidad mínima de cargadores a instalar en terminales, operación verano .....	58
Figura 5.11: Cantidad mínima de cargadores públicos a instalar, operación invierno.....	59
Figura 5.12: Cantidad mínima de cargadores públicos a instalar, operación verano .....	59
Figura 5.13: Requerimiento de infraestructura de carga, operación invierno .....	61
Figura 5.14: Requerimiento de infraestructura de carga, operación verano.....	61
Figura 5.15: Requerimiento de infraestructura de carga a instalar por caso evaluado .....	62

# Capítulo 1: Introducción

## 1.1 Motivación

En los últimos años, el aumento sostenido de la temperatura de la superficie terrestre es un hecho que ha causado gran preocupación a nivel mundial, pues podría ocasionar consecuencias irreversibles para el planeta tierra afectando la supervivencia humana sobre ésta. Dentro de los impactos que se prevén, se esperan importantes cambios meteorológicos, disminución de la biodiversidad y pérdida de terrenos de cultivo.

El aumento de la temperatura de la Tierra está directamente relacionado a la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) y en particular dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera terrestre, lo que genera el conocido efecto invernadero.

Es por esto, que gran parte de los países se han comprometido con metas tangibles para mitigar el aumento de la temperatura en la tierra, siendo la acción vinculante más reciente el acuerdo de París. Sumándose a esta iniciativa, Chile se compromete a mantener niveles de emisiones absolutas anuales de hasta 95 MtCO<sub>2eq</sub> al año 2030, asumiendo un presupuesto de emisiones de GEI que no superará las 1.100 MtCO<sub>2eq</sub> para el periodo de 2020 – 2030 (Ministerio de Medio Ambiente, 2020) [46].

En Chile, el 35% del consumo energético nacional corresponde al sector transporte, el cual se alimenta principalmente de derivados del petróleo, convirtiendo a este sector en el responsable del 33% de las emisiones de gases de efecto invernadero anuales generadas a nivel nacional (CNE, 2019) [2].

En este contexto, la electromovilidad surge como una gran oportunidad para reducir las emisiones generadas por transporte, teniendo un importante beneficio tanto en la lucha contra el cambio climático como en la calidad de vida de las personas al no generar contaminantes locales (De la Herrán, 2014) [5].

Es por esto, el Gobierno de Chile ideó la Estrategia Nacional de Electromovilidad (Ministerio de Energía, 2017) [3], la cual establece en su última actualización, que para el año 2040 el 100% del transporte público nacional y el 40% de los vehículos privados sean eléctricos (Universidad de Chile, 2021) [47].

Fruto de esta estrategia, se han implementado importantes políticas públicas que buscan acelerar la entrada de los vehículos eléctricos en Chile, ejemplo de esto, es el considerable aumento de buses eléctricos en el servicio de transporte público mayor de la ciudad de Santiago, el cual actualmente presenta una de las flotas con mayor cantidad de estos buses a nivel mundial, con un total de 751 unidades (Galaz, 2020) [20].

Si bien, el avance de la movilidad eléctrica en Santiago ha sido considerable, esto no se ve reflejado a nivel de regional, donde la entrada de vehículos eléctricos aún es limitada tanto en cantidad de autos circulando como en la oferta de servicios que los sustentan.

Considerando la problemática anterior, en el presente estudio se realiza un análisis técnico económico de la operación del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia, con el objetivo de identificar barreras y proponer recomendaciones a su proceso de electrificación, generando así, un primer acercamiento hacia la electrificación del transporte público menor a nivel regional.

## **1.2 Antecedentes del trabajo de título**

El presente trabajo de título se realiza en colaboración con el equipo de electromovilidad de la Agencia de Sostenibilidad Energética, bajo el contexto de la puesta en marcha del primer proyecto piloto de monitoreo de taxis colectivos eléctricos implementado en la ciudad de Valdivia.

### **1.2.1 Agencia de Sostenibilidad Energética**

La Agencia de Sostenibilidad Energética (Agencia), es una fundación de derecho privado, autónoma, técnica y ejecutora de políticas públicas en torno a la eficiencia energética que recibe financiamiento público y privado.

Dentro de su marco de acción, la Agencia tiene como misión el promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía, articulando e implementando, tanto a nivel nacional como internacional, iniciativas público-privadas en los distintos sectores de consumo energético, contribuyendo al desarrollo sostenible del país.

Esta organización, es liderada por un directorio compuesto por ocho altos ejecutivos, presididos por el subsecretario de energía don Francisco Javier López y presenta siete líneas técnicas sobre las cuales impulsa proyectos de eficiencia energética.

- Edificación
- Industria y minería
- Medición y verificación
- Educación y capacitación
- Comunidad energética
- Climatización
- Transporte eficiente

El año 2019, surge el equipo de electromovilidad dentro de la línea de Transporte eficiente, que se encarga de impulsar el desarrollo de la movilidad eléctrica a nivel nacional, implementando iniciativas que fomenten la transición hacia esta nueva tecnología tanto en el sector público como privado, además de generar conocimiento sobre esta temática por medio de investigaciones y experiencias de innovación.

## **1.2.2 Proyecto piloto de monitoreo de taxis colectivos eléctricos**

Este proyecto surge como un acuerdo establecido entre la Agencia de Sostenibilidad Energética y la empresa distribuidora de energía SAESA para la implementación de un piloto de monitoreo de taxis colectivos eléctricos en la ciudad de Valdivia.

Bajo este acuerdo, la empresa distribuidora se hace responsable de la adquisición y puesta en marcha de dos taxis colectivos eléctricos que serán conducidos en las líneas de servicio 110 y 150. En tanto que, la Agencia se encargará de la implementación de un sistema de monitoreo que permita levantar datos operacionales de los vehículos por un periodo inicial de 4 meses, expandible a 1 año, además de la generación de conocimiento a partir del piloto.

En este contexto, surge la interrogante sobre cuáles son las barreras que limitan la entrada de taxis colectivos eléctricos en la ciudad y de que manera impulsar la electrificación de este segmento.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

El objetivo general de este trabajo de título es generar recomendaciones sobre el proceso de transición hacia la movilidad eléctrica del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia, por medio de un análisis técnico económico y el modelamiento de su operación con vehículos eléctricos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos son:

- a) Caracterizar el sistema de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia desde una mirada sistémica.
- b) Generar un listado de barreras y recomendaciones en el proceso de electrificación del transporte público menor en la ciudad de Valdivia.

## **1.4 Alcances**

Dado el contexto actual de pandemia, el trabajo presentado se encuentra limitado a los datos y antecedentes actuales del sistema que se lograron recopilar de manera remota. Por lo cual, no fue posible el desplazamiento físico hacia la ciudad con tal de realizar una caracterización más detallada del estado actual del servicio y avance de la movilidad eléctrica a nivel local.

Por otra parte, el estudio solamente contempla el análisis del servicio de taxis colectivos, excluyendo otras modalidades del transporte público menor como taxis básico o radiotaxis,

esto se debe a que la operación de estos últimos no se encuentra delimitada por reglas establecidas de recorridos y frecuencias, haciendo más complejo su análisis sin datos operacionales reales.

## **1.5 Estructura de trabajo**

El trabajo de título está basado en una metodología de cuatro pasos orientados a alcanzar los objetivos propuestos.

1.- En primer lugar, se realiza el levantamiento de información sobre el estado del arte de la electromovilidad enfocado hacia el segmento de transporte público y en particular taxis colectivos. La búsqueda está centrada en estudios nacionales e internacionales sobre la temática y la recolección de antecedentes entregados por sitios de Internet especializados en movilidad eléctrica.

2.- Posteriormente, se realiza una caracterización del servicio de taxis colectivos, considerando sus aspectos operacionales y normativos. De esta forma, se reconocen las líneas de servicio existentes, los recorridos establecidos, tamaño de las flotas y las restricciones regulatorias de la operación.

La caracterización es complementada con un análisis sistémico del entorno de implementación de la ciudad de Valdivia evaluando el estado actual del ecosistema de electromovilidad por medio de la metodología PEST, que analiza el entorno de implementación desde una mirada política, económica, social y tecnológica, facilitando la identificación de elementos externos que pueden afectar el ingreso de vehículos eléctricos al servicio.

La recopilación de información se realiza en base a datos entregados por el Ministerio de Transporte solicitados por medio del mecanismo de transparencia. También, se consideran entrevistas realizadas a los Seremis de Transporte y Energía de la Región de Los Ríos, entrevistas realizadas a los representantes legales de las líneas de servicio de taxis colectivos e información proporcionada por expertos en temáticas de transporte y electromovilidad de la Agencia. Finalmente, se complementa con antecedentes recopilados en internet y documentos oficiales del Gobierno de Chile.

3.- En tercer lugar, se diseña e implementa un modelo de simulación basado en reglas lógicas establecidas para representar la operación de taxis colectivos eléctricos en la ciudad. El modelo propuesto busca evaluar la factibilidad del sistema, identificando las condiciones mínimas a establecer en términos de infraestructura disponible.

El modelo de simulación se implementa por medio del lenguaje de programación Julia, para posteriormente analizar los resultados obtenidos mediante la herramienta Excel.

4.- Finalmente, en base a la información recopilada y los resultados obtenidos se levanta un listado de barreras y recomendaciones sobre el proceso de electrificación del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia.

## Capítulo 2: Electromovilidad

Al analizar las fuentes generadoras de emisiones contaminantes, el sector transporte surge como el responsable del 33% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas anualmente a nivel nacional (CNE, 2019) [2].

Este sector, altamente dependiente de los combustibles fósiles importados en el país, actualmente obtiene el 98% de su requerimiento energético en base a derivados del petróleo, lo que repercute no solo en su importante participación en la generación de GEI a nivel global, sino también en la emisión de otros contaminantes en zonas urbanas, provocando daños a la salud de las personas que ahí habitan (AVEC, 2019) [4].

En este contexto, la electromovilidad, es decir, el uso de vehículos impulsados en base a energía eléctrica (Ministerio de Energía, 2020) [9], surge como una alternativa para reducir las emisiones de GEI globales y eliminar los contaminantes generados por el sector transporte a nivel local (De la Herrán, 2014) [5].

En Chile, se ha iniciado un plan estratégico de largo plazo para impulsar la movilidad eléctrica en el entorno nacional. Este plan surge como el resultado de la colaboración de los Ministerios de Energía, Transporte y Telecomunicaciones y Medio Ambiente, además de la participación de múltiples organismos del sector público privado, generando así la Estrategia Nacional de Electromovilidad (Ministerio de Energía, 2017) [3].

### 2.1 Estrategia Nacional de Electromovilidad

El año 2017 se establece la Estrategia Nacional de Electromovilidad como eje conductor de la transición tecnológica hacia la movilidad eléctrica del sector transporte. En particular, el objetivo planteado corresponde a la electrificación del 100% de la flota de transporte público nacional y del 40% de los vehículos privados al año 2050 (Ministerio de Energía, 2017) [3].

La Estrategia establece 20 líneas de acción agrupadas bajo los siguientes 5 ejes estratégicos que permitirán alcanzar el objetivo planteado (Ministerio de Energía, 2017) [3].

- **Regulación y estándares**

Este eje se focaliza en establecer las normas y reglamentos técnico-económicos que favorezcan y permitan la correcta operación de los vehículos eléctricos en el entorno nacional. Además, se focaliza en la definición de estándares mínimos de eficiencia energética que operen sobre los vehículos que ingresan al parque vehicular chileno.

Dentro de las acciones presentadas, se destaca el establecimiento de normas de seguridad asociadas a la instalación y operación de infraestructura de carga, definición de estándares de conexión que garanticen la compatibilidad de los puntos de carga con las principales tecnologías vehiculares y el establecimiento de mecanismos de reacción frente a accidentes en estaciones de carga.

- **Transporte público como motor de desarrollo**

La estrategia identifica al transporte público como el segmento en donde se puede desarrollar de forma más natural la electromovilidad debido a su uso intensivo en kilómetros anuales, su predominancia en costos operacionales por sobre el costo de capital y su directa relación con la implementación de políticas públicas y aportes económicos desde el gobierno.

Desde esta perspectiva, se define al transporte público como el motor de desarrollo de la electromovilidad, estableciendo incentivos que favorezcan la puesta en marcha de pilotos y el recambio vehicular hacia tecnologías eléctricas, impulsando de esta forma el aumento en la oferta de la tecnología y servicios asociados (mantención, aseguradoras, operadores de carga) en las ciudades donde se desarrolle.

- **Fomento de la investigación y desarrollo de capital humano**

Este eje, busca impulsar el desarrollo de proyectos de investigación destinados a generar nuevos negocios en el ámbito de la electromovilidad, mediante la suscripción de convenios de cooperación y financiamiento de iniciativas. Por otra parte, se analiza la asignación de recursos destinados al desarrollo humano por medio de programas de magíster, doctorado, y cursos de especialización asociados a la temática.

Además, considera la construcción de mesas de trabajo e instancias participativas, incluyendo a la industria, la academia y el sector público, con el objetivo de analizar las temáticas que deberán ser abordadas a futuro desde el punto de vista tecnológico.

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

Se considera la electrificación de vehículos estatales, estableciendo las condiciones sobre las cuales es recomendable el recambio de estos por flotas eléctricas. Además, se impulsan pruebas piloto en flotas comerciales ofreciendo capacidad técnica para el análisis de resultados y generación de mecanismos de difusión de estos.

Por otra parte, se estudian medidas que favorezcan la masificación del recambio tecnológico por medio de incentivos como la rebaja o exención de tarifas para automóviles eléctricos en nuevas obras concesionadas (peajes de autopistas, estacionamientos públicos, entre otros).

- **Transferencia de conocimiento y entrega de información**

El último eje estratégico se enfoca en la creación de un observatorio de la electromovilidad que entregue de forma constante información relativa a alternativas tecnológicas disponibles en el mercado nacional, entregando costos, estimaciones de consumo energético y comparativas con vehículos convencionales.

Además, se considera la difusión al público general y especializado de los proyectos que se generen durante la implementación de esta estrategia, fomentando instancias de difusión de la información de manera presencial y remota.

## 2.2 Vehículo eléctrico a batería

### 2.2.1 Principales componentes de un vehículo eléctrico a batería

El vehículo eléctrico a batería (BEV, Battery Electric Vehicle) corresponde a un automóvil propulsado únicamente por uno o más motores eléctricos, utilizando energía eléctrica almacenada en baterías recargables, recarga que se realiza mediante distintos tipos de conexiones a la red eléctrica (AVEC, 2019) [4].

Uno de los elementos fundamentales del vehículo es el motor eléctrico, el cual está conformado por el estator y el rotor. Los autos eléctricos pueden contar con dos motores, en las ruedas traseras o en las delanteras, o con cuatro motores, uno en cada rueda (De la Herrán, 2014) [5].

Por otra parte, los otros dos elementos esenciales del vehículo son las baterías, que proporcionan la energía, y el control eléctrico que se encarga de administrar dicha energía de acuerdo con los requerimientos del automovilista y del tráfico (De la Herrán, 2014) [5].

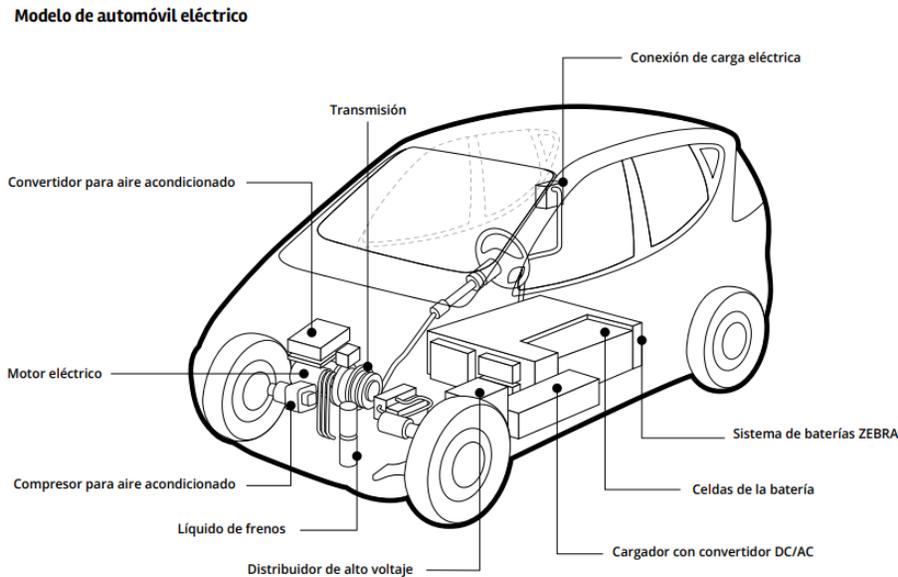


Figura 2.1: Diagrama de partes de un vehículo eléctrico [5]

En la Figura 2.1 se observa la disposición de un vehículo eléctrico común. La batería tiene una posición central en el vehículo y necesita de un cargador con convertidor DA/DC para obtener la energía desde la matriz energética (De la Herrán, 2014) [5].

Un aspecto por considerar en algunos modelos de autos eléctricos es la incorporación del denominado “freno regenerativo”, por medio del cual el vehículo puede aprovechar la energía de frenado para recargar las baterías dado que los motores pueden funcionar como generadores durante el frenado (De la Herrán, 2014) [5].

Finalmente, es importante destacar que, a pesar de que los vehículos eléctricos son más eficientes que sus símiles convencionales, aún existen importantes limitantes que deben ser superadas por la industria, siendo quizás la más sustancial el limitado rango de acción del vehículo y el mayor peso que representan las baterías en comparación al estanque de combustible. A pesar de esto, ninguna de estas dos desventajas es grave para el uso en ciudad con trayectos cortos (De la Herrán, 2014) [5].

## 2.2.2 Precio de un vehículo eléctrico y expectativas a futuro

La tabla 2.1, muestra el precio de mercado de los cinco modelos eléctricos más vendidos en Chile hasta el año 2019, se puede observar que los precios fluctúan entre los \$13.600.000 CLP y los \$42.300.000 CLP siendo el modelo más vendido a la fecha el auto eléctrico Hyundai Ioniq que acumula un total de 116 unidades vendidas (Vicuña, 2019) [40].

Tabla 2.1: Precio de los cinco modelos eléctricos más vendidos en Chile

<b>Modelo</b>	<b>Unidades vendidas</b>	<b>Precio (CLP)</b>
<b>Hyundai Ioniq</b>	116	\$ 25.590.000
<b>BMW i3</b>	57	\$ 42.300.000
<b>Nissan Leaf</b>	51	\$ 28.490.000
<b>Renault Fluence</b>	23	\$ 13.600.000
<b>Citroen Berlingo</b>	21	\$ 27.358.100

Fuente: Elaboración propia con datos de [40]

En relación con el precio, es importante destacar que desde un análisis de costos de producción de la tecnología se estima que entre un 20,1% y un 46,6% del precio total de auto corresponden al costo de producción del sistema de propulsión eléctrico y almacenamiento de energía. Además, se enfatiza el impacto que tiene la batería dentro de este segmento, representando por si solo entre el 12,3% al 30% del costo total del auto (Isla et al, 2019) [6].

La figura 2.2 presenta la estimación de precios por componentes eléctrico sobre el precio sugerido de venta del vehículo, observando que para modelos de alta gama, como los producidos por la marca Tesla, el impacto que tienen los componentes eléctricos tiene una menor participación, entre el 18,8% al 24,2% del precio de venta, mientras que, para autos de menor gama éste puede representar hasta el 46,6% del precio final de mercado (Isla et al, 2019) [6].

Modelo	Tesla Model X	Tesla Model S	BMW i3	VW e-Golf	Nissan Leaf
Variante	90D	90D	Modelo base	Modelo base	Modelo base
Batería	10.395-12.285	10.395-12.285	6.584-7.484	8.646-8.893	6.300-10.800
Motor	3.408-4.544	1.656-2.208	1.134-1.260	935-1.275	880-1.100
Electrónicos (invector, arnés de cableado y convertidor DC/DC)	2.400-2.600	2.400-2.600	1.470-1.570	1.439-1.580	1.590
Cargador a bordo	800-1.000	800-1.000	900	700-850	400-500
Costo total del ePowertrain	17.003-20.429	15.251-18.093	10.088-11.214	11.720-12.598	9.170-13.990
ePowertrain % sobre Precio Retail	20,1%-24,2% (84.300)	18,8%-22,3% (81.100)	22,6%-25,2% (44.450)	24,0%-25,9% (48.634)	30,5%-46,6% (29.990)

Figura 2.2: Estimación de precios (en USD) de componentes eléctricos sobre precio sugerido de venta por modelo [6]

Por otra parte, a partir del año 2010, los costos medios de producción por kWh de almacenamiento se han reducido progresivamente mientras que la densidad de almacenamiento ha aumentado (García, 2019) [10]. En la figura 3.3 se puede observar una tendencia a la baja en los costos de producción de baterías de Ion litio históricos y estimados, desde donde se vaticina que para el año 2030 estos tengan un valor estimado de US\$62/kWh según Bloomberg NEF, 2018 [11].

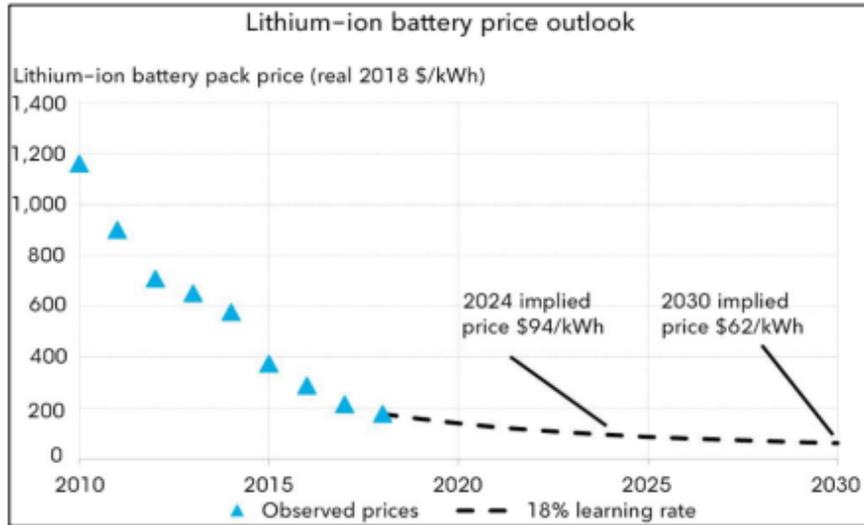


Figura 2.3: Evolución del costo por kWh en baterías de Ion litio [11]

Además, estimaciones realizadas por la International Energy Agency (IEA) consideran que el precio de las tecnologías de movilidad eléctrica se verá fuertemente reducidos para el año 2025, posicionándolos a un nivel competitivo respecto a los vehículos convencionales (García, 2019) [10].

### 2.3 Infraestructura de carga para vehículos eléctricos a batería

A diferencia de la operación actual de vehículos convencionales donde el suministro de combustible se realiza en las bencineras de la ciudad, la infraestructura de carga de un auto eléctrico presenta una mayor gama de posibilidad, desde cargas lentas realizadas en el domicilio de los propietarios hasta cargas rápidas ofrecidas en estaciones de servicios denominadas electrolinerías.

En las siguientes secciones, se propone una categorización de la infraestructura y se levantan datos relacionados al costo de instalar un cargador eléctrico en sus distintas modalidades.

### 2.3.1 Categorización de la infraestructura de carga

La figura 2.4 presenta la categorización propuesta por Rivas et al. [41], quien define dos parámetros sobre los cuales diferenciar los distintos tipos de infraestructura de carga.

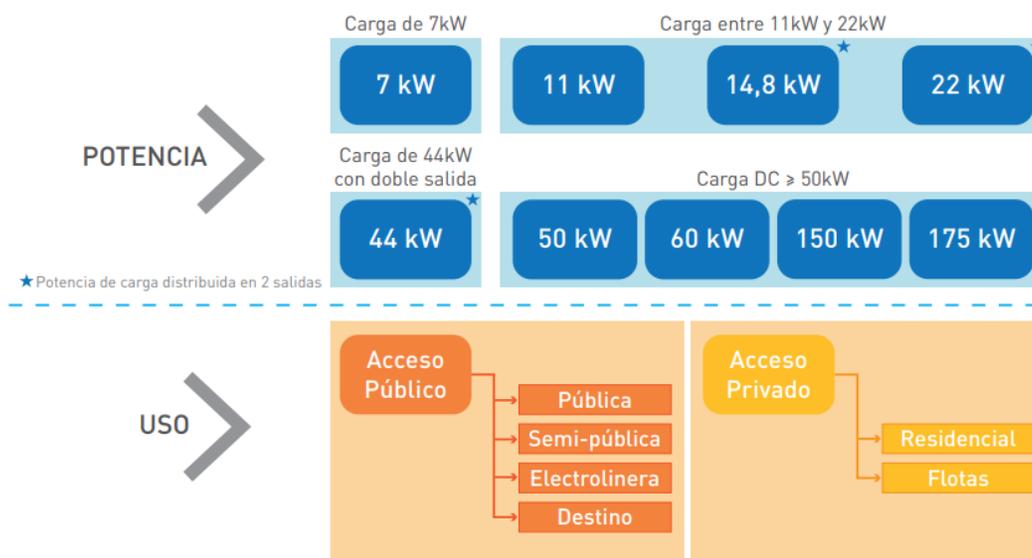


Figura 2.4: Categorización de la infraestructura de carga [41]

En primer lugar, se propone una diferenciación en relación con la potencia de carga ofrecida por la infraestructura, identificando 4 posibilidades (Rivas et al., 2021) [41]:

- Carga AC de 7 kW: Generalmente destinado al uso privado, aunque también utilizado ocasionalmente para carga de acceso público.
- Carga AC entre 11 kW y 22 kW: Presente tanto en uso privado como público.
- Carga AC de 44 kW con doble salida: Principalmente destinada para acceso público.
- Carga DC mayor a 50 kW: Principalmente para carga rápida de acceso público.

Por otra parte, se define una categorización en cuanto al uso de la infraestructura, identificando dos grupos sobre los cuales organizarlas (Rivas et al., 2021) [41]:

- Carga de acceso público: El usuario puede acceder a cargadores mediante el uso de alguna credencial, membresía o aplicación. Puede estar ubicada tanto en espacios públicos como privados. Por ejemplo: Electrolineras, centros comerciales, hoteles, entre otros.
- Carga privada: Los equipos se instalan en sitios sin acceso público, por ejemplo, hogares o estacionamientos de empresas.

Por otra parte, se destaca la existencia de una modalidad de carga privada AC de 2 kW de potencia, conectando directamente el vehículo a la red eléctrica domiciliaria. Este tipo de carga solo debe ser utilizado en situaciones de emergencia cuando no se disponga de una infraestructura de carga disponible.

### 2.3.2 Costos de la infraestructura de carga

En cuanto al costo de la infraestructura de carga, este no se limita exclusivamente al valor del cargador, sino también considerar todos los componentes necesarios para que su operación. Por norma general, los costos de implementación de la infraestructura de carga se relacionan directamente a la potencia del cargador, donde cargadores de mayor potencia suelen presentar costos más elevados.

La tabla 2.2 presenta los costos promedios de un proyecto de infraestructura de carga en el mercado nacional

Tabla 2.2: Costos promedio de un proyecto de infraestructura de carga

<b>Potencia del cargador</b>	<b>Costo promedio del proyecto</b>
7 kW	\$ 1.707.077
11 kW – 22 kW	\$ 9.432.217
44 kW	\$ 10.256.649
50 kW – 60 kW (DC)	\$ 40.813.109

Fuente: Elaboración propia [41]

Según información entregada por Isla et al. [6], se espera que los costos de la infraestructura de carga tengan una disminución estimada de hasta un 40% para el año 2025. Esta disminución estaría asociada al incremento de la demanda por cargadores, el ingreso de nuevas empresas proveedoras y la evolución en el uso de tecnologías y materiales relacionados a la manufactura.

## 2.4 Electromovilidad en Chile y el transporte público terrestre

A pesar que, en Chile, se presentan múltiples ejemplos de movilidad eléctrica como metro, trenes o trolebuses, entre otros, el estado de penetración de estas tecnologías en el segmento automovilístico (autos y buses) aún se mantiene bastante limitado.

En relación con este último segmento, la figura 2.5 representa el total de ventas de autos eléctricos livianos y medianos que se han generado en el mercado nacional entre el año 2012 y 2019. Se puede observar, que a partir del año 2017, se inicia un proceso de aceleración de las ventas de autos eléctricos los cuales alcanzan una tasa de penetración del 0.088% por sobre el total de ventas de autos realizadas en el último año presentado.

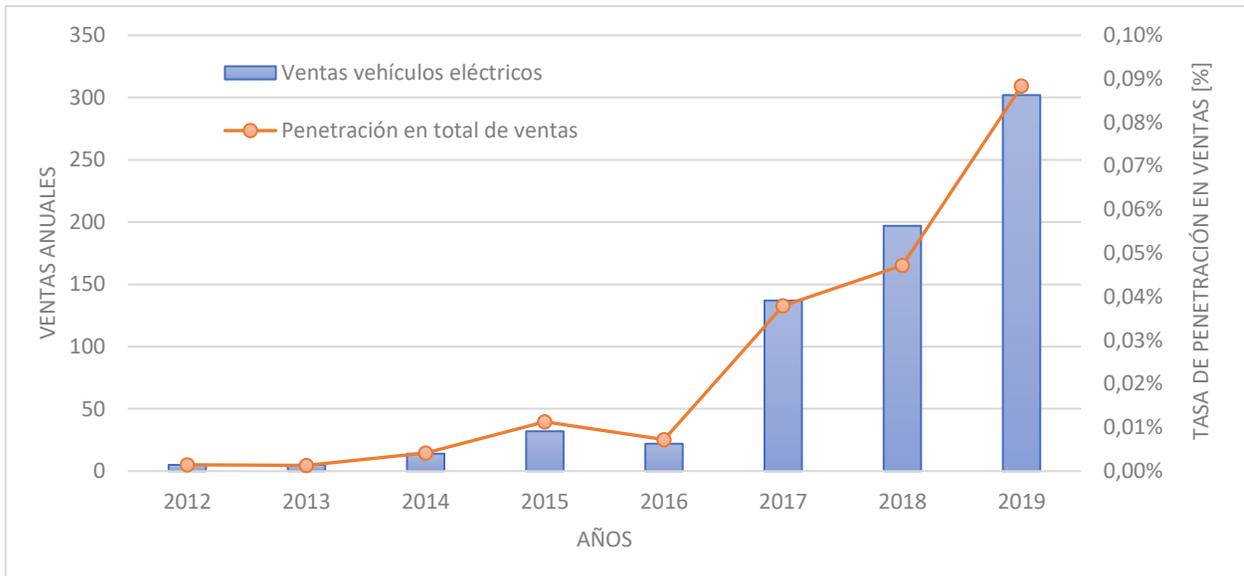


Figura 2.5: Ventas anuales de vehículos eléctricos livianos y medianos en Chile  
Fuente: Elaboración propia [32]

Por otra parte, según datos registrados por la Superintendencia de Electricidad y Combustible en Chile existe un total de 833 puntos de carga instalados con fecha de octubre del año 2020, siendo la mayor parte de estos destinados a la carga del transporte público en la Región Metropolitana.

Las figuras 2.6 y 2.7 representan la distribución por regiones del parque vehicular eléctrico y los puntos de carga instalados respectivamente. En estas, se puede observar que la Región Metropolitana dista respecto al resto del territorio nacional en cuanto al desarrollo de la movilidad eléctrica, concentrando un total del 65,6% de los autos eléctricos registrados y el 81% de los puntos de carga actuales.

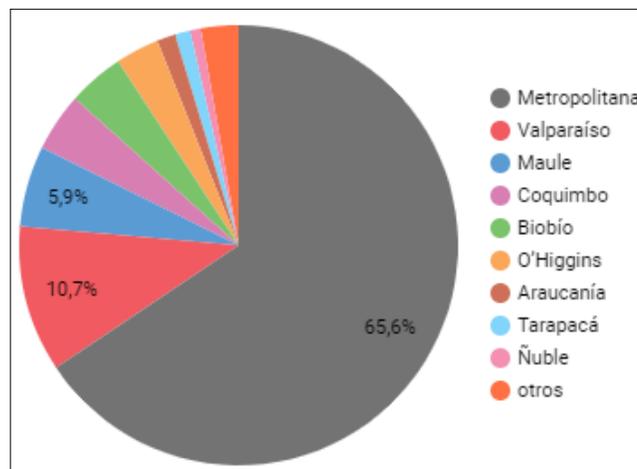


Figura 2.6: Distribución del parque vehicular eléctrico por regiones  
Fuente: Elaboración interna de la Agencia de Sostenibilidad Energética

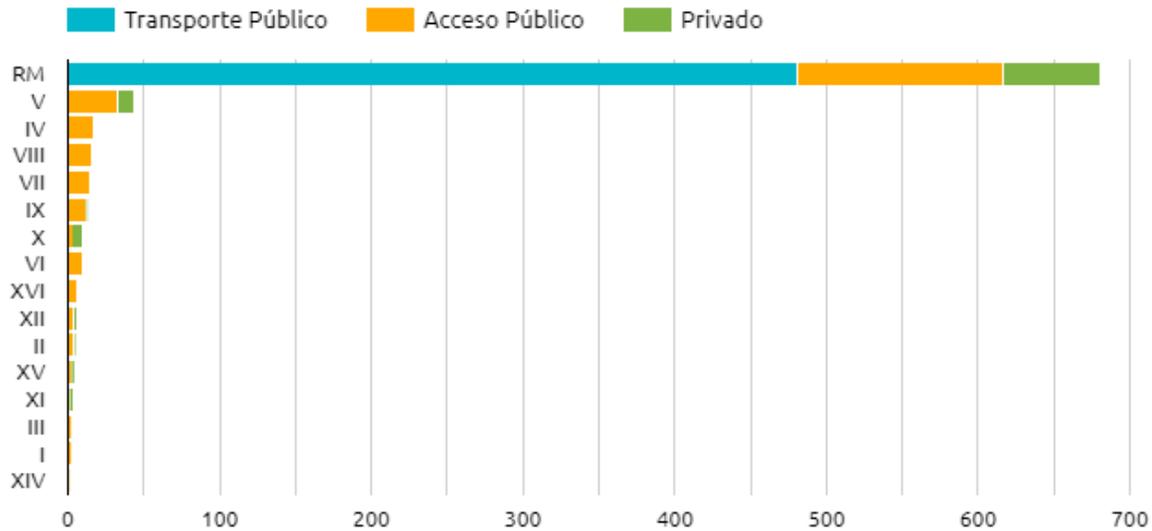


Figura 2.7: Distribución de los puntos de carga instalados por regiones  
Fuente: Elaboración interna de la Agencia de Sostenibilidad Energética

Desde esta perspectiva, se destaca la brecha existente en la entrada de la tecnología a nivel regional, siendo la Región de los Ríos (XIV) una de las menos avanzadas según las métricas presentadas anteriormente.

### 2.4.1 Eléctromovilidad en el transporte público

La entrada de la electromovilidad al segmento del transporte público vehicular cumple un rol fundamental en cuanto al impacto que esto genera al desarrollo del ecosistema de movilidad eléctrica local, generando la demanda inicial necesaria para incentivar el aumento de la oferta de nuevos proveedores de tecnología y servicios complementarios que puedan masificarse a otros segmentos.

Por otra parte, la electrificación de este segmento, tiene una justificación económica relacionada con el menor costo de operación de las tecnologías eléctricas relacionado al menor gasto en combustible y la disminución del costo de mantenimiento. Los cuales, en función de los kilómetros recorridos por el vehículo, pueden superar la brecha inicial de inversión asociada a la tecnología en el periodo total de operación del vehículo.

En este contexto, la electrificación del transporte público, al ser un segmento exigente en kilómetros anuales recorridos, responde a una lógica económica la cual dependerá de cada caso en función del costo total de propiedad de los vehículos en evaluación.

A continuación, se presentan las experiencias más representativas de implementación de la movilidad eléctrica en el sector del transporte público nacional destacando el proceso de electrificación, escala del proyecto y resultados obtenidos para cada caso.

### 2.4.1.1 Transantiago

La electrificación del servicio de buses de la ciudad metropolitana Transantiago, actualmente RED, se destaca como el principal caso de éxito en cuanto a electrificación de transporte público mayor se refiere.

El camino hacia la electrificación del servicio inició con los primeros proyectos demostrativos durante los años 2011 y 2013, generando la primera entrada concreta de un bus eléctrico a la operación regular del transporte el año 2017. Esta última, surge como resultado de la alianza entre la empresa operadora Metbus, la proveedora de buses ByD y la empresa distribuidora de energía Enel, por medio de su subsidiaria Enel X (Galaz, 2020) [20].

Como resultado de esta alianza, se incorporaron los primeros dos buses eléctricos ByD K9FE de 12 metros a la ruta 516, recorriendo durante el transcurso de un año una distancia de 105.981 km con una tasa de disponibilidad de 99.23%. Por otra parte, se calcularon costos de operación de US\$0.10/km en base a un precio de US\$0,10/kWh, inferior al caso referencial diésel con un costo estimado de US\$0,43/km (Galaz,2020) [20].

Como resultado del piloto, el año 2019 se amplía la operación y se añaden 100 unidades adicionales de ByD K9FE al recorrido, implementando un modelo de negocio innovador entre las empresas involucradas (Ver figura 2.8). Enel X actúa como agente financiero y proveedor de energía y tiene los autobuses arrendados a Metbus durante 10 años; Metbus, a su vez, opera los autobuses y proporciona el mantenimiento básico, mientras que BYD está a cargo de las operaciones de mantenimiento más importantes, incluyendo los paquetes de baterías y el tren de potencia eléctrica (Galaz, 2020) [20].

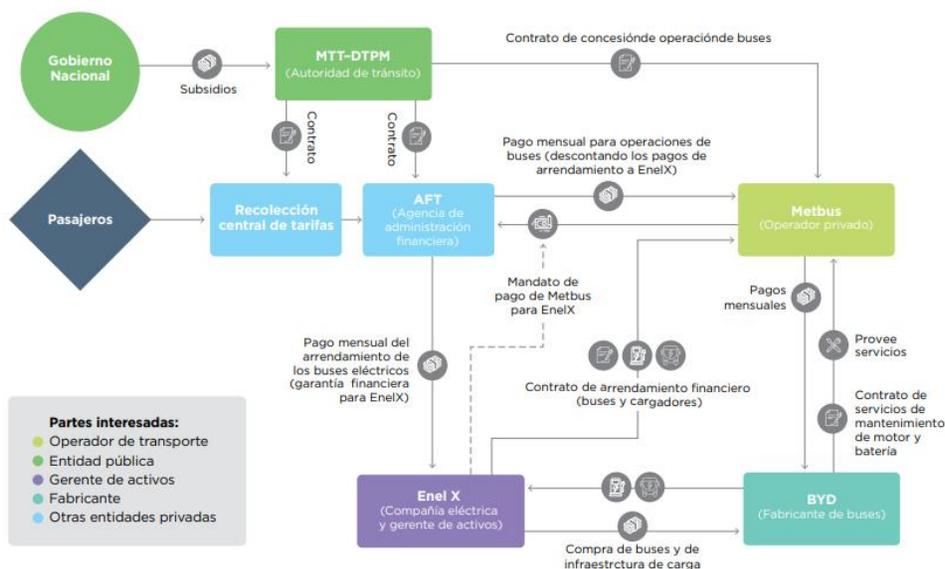


Figura 2.8: Modelo de negocio caso Metbus [21]

En cuanto a la infraestructura de carga, Metbus instala 100 cargadores CA 080KI BYD EVA que suministran hasta 80 kW de potencia y firma un acuerdo con la distribuidora Enel para proporcionar energía renovable certificada con un 40% de descuento, aproximadamente a 0,06 dólares por kW, disminuyendo así los costos operacionales de los buses (Galaz, 2020) [20].

De forma paralela, el año 2017, una asociación similar entre la empresa de energía Engie, el concesionario de automóviles Gildemeister y la empresa de buses Vule obtienen resultados favorables en el piloto de un bus eléctrico Yutong E12. Resultado en la incorporación de 100 nuevas unidades financiadas por parte de la empresa Engie a finales del año 2018 operados por las empresas de buses STP y buses Vule (Galaz, 2020) [20].

Iniciativas similares han demostrado tener buenos resultados, lo que ha expandido la flota de buses eléctricos de la ciudad alcanzando un total de 751 unidades al año 2020 (Galaz, 2020) [20] siendo una de las flotas de buses eléctricos más importantes del mundo.

Una de las principales lecciones aprendidas fue la necesidad de formalización de los operadores de autobuses urbanos destacándose como un elemento fundamental para los despliegues a gran escala de buses eléctricos, siendo este un problema de voluntad política y no de tecnología (Galaz, 2020) [20].

#### **2.4.1.2 Taxis eléctricos**

Al contrario de lo ocurrido en el caso de los buses eléctricos, los taxis y colectivos eléctricos no han tenido un desarrollo importante hasta el momento a nivel país, sin embargo, se identifican iniciativas a nivel regional para impulsar la entrada de la tecnología en este segmento. A continuación, se revisa la situación de las regiones que poseen taxis eléctricos en sus múltiples modalidades.

- **Región Metropolitana**

En el año 2018, se presenta la primera gran flota de taxis eléctricos para operar en la Región Metropolitana compuesta por un total de 60 vehículos eléctricos modelos Hyundai Ioniq con una autonomía nominal de 280 kilómetros, entre 200 y 220 kilómetros reales (Teletrece, 2018) [22], estos vehículos fueron entregados por medio de un proceso licitatorio siendo la empresa Engie Chile quien se adjudicó el 50% de los vehículos, convirtiéndose en el mayor adjudicador de la operación y único actor de la industria energética en participar del concurso.

- **Región de Valparaíso**

En diciembre del año 2018, se lanza la licitación para adjudicar 120 nuevas patentes de taxis eléctricos para la región, los cuales estarán distribuidos entre Valparaíso, Viña del Mar y San Antonio (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2018) [25]. Aun cuando el proceso de postulación ha finalizado, aún no se ha entregado una actualización oficial que confirme si los requisitos fueron cumplidos o se extiende el plazo de postulación (Taborelli, 2021) [24].

A pesar de esto, de acuerdo con la subsecretaría de Transporte, se registran 2 taxis eléctricos operando en la región a finales del año 2019 (Revista Electricidad, 2019) [23].

- **Región de Aysén**

En mayo de 2019, la región lanza un programa piloto de dos taxis colectivos eléctricos en la ciudad de Coyhaique, con el fin de realizar distintos estudios sobre el impacto que tiene el reemplazo de vehículos convencionales por eléctricos en el transporte público, y de esta manera en un futuro poder considerar la electromovilidad como una solución a la alta contaminación de la ciudad (Revista Electricidad, 2019) [26].

Este piloto fue financiado por la empresa distribuidora de energía SAESA, entregando dos vehículos eléctricos modelo Hyundai Ioniq 2017 que operan en las líneas 6 y 21 de la ciudad. Además, la empresa distribuidora instaló en el domicilio de cada uno de los conductores un cargador wallbox de 7,4 kW de potencia sujeto a la tarifa Ecosur sin límite de invierno.<sup>1</sup>

El proyecto, contó con el apoyo del centro educacional INACAP, quienes por medio del seguimiento del consumo energético de los vehículos durante un plazo de un año lograron evaluar un costo en energía de 19,2\$/km para el caso del taxi eléctrico en contraste con los 63,2\$/km estimados para el caso de un auto a gasolina, generando un ahorro de \$70.000 pesos mensuales en términos de combustible ahorrado (Electromov, 2020) [27].

- **Región de Los Ríos**

Finalmente, se destacan las 10 nuevas inscripciones de taxi colectivo eléctrico para la ciudad de Valdivia que lanzó la Seremi de Transporte Regional durante el mes de agosto del año 2020 (MTT, 2020) [14]. Como resultado de este proceso se adjudican 3 nuevos cupos de taxi colectivo eléctrico en la comuna (MTT, 2020) [28].

Dos de estos vehículos fueron financiados por la empresa SAESA en un modelo similar al implementado en la ciudad de Coyhaique, aportando también la infraestructura de carga domiciliaria y una tarifa sin límite de invierno para la carga del auto. Además, el modelo propuesto por SAESA, ofrece a los conductores del piloto la oportunidad de compra de los vehículos una vez finalizado el periodo de prueba de un año.<sup>2</sup>

Por otra parte, estos dos autos forman parte del programa piloto de monitoreo de vehículos eléctricos de la Agencia de Sostenibilidad Energética, lo que permitirá generar datos reales de operación por medio de telemetría, permitiendo evaluar aspectos importantes de la operación como rendimiento real del vehículo, estado de salud de las baterías, impacto de las condiciones climatológicas de la zona, entre otros.

---

<sup>1</sup> Información entregada por entrevistado de la empresa SAESA.

<sup>2</sup> Información entregada por entrevistado de la empresa SAESA

## **2.4.2 Incentivos para fomentar la electromovilidad en el transporte público menor**

### **2.4.2.1 Programa Renueva tu Colectivo**

El principal incentivo económico entregado al segmento del transporte público menor es el programa “Renueva tu Colectivo”. Este, de forma similar al programa Renueva tu micro, corresponde a un subsidio directo entregado por los gobiernos regionales destinado a la renovación de flotas de taxis colectivos (excluye otras modalidades de taxis, las cuales no cuentan con un subsidio similar) con una antigüedad mínima de 4 años, bajo dos posibles causales: recambio por un vehículo menos contaminante o recambio por mejores prestaciones para los clientes.

Este programa surge tras la promulgación de la ley 20.378 en el año 2009, donde se incorpora la necesidad de otorgar proporcionalidad a la inversión pública entre Santiago y el resto de las regiones del país. Se define entonces, que los montos inyectados al transporte público en Santiago deben ser invertidos de igual manera en regiones, creándose el Fondo de Apoyo Regional (FAR) (MTT, 2009) [29]. Es de este fondo que se desprende una fracción del dinero destinada a la ejecución del programa Renueva tu Colectivo.

Para la ejecución del programa, es el Intendente Regional quien debe presentar el proyecto priorizado al Consejo Regional, en caso de ser aprobado, el Gobierno regional podrá ejecutar el presupuesto contemplado siendo la Seremi de Transporte el organismo encargado de actuar como contraparte técnica del proceso de postulación.

Si bien el fondo fue creado en primera instancia para fomentar el desarrollo del transporte público en regiones, suele ser destinado por los gobiernos regionales para otros fines bajo el alero por el cual fue constituido que permite su utilización para proyectos de desarrollo regional (MMT, 2009) [29].

El proceso de postulación se basa en dos etapas principales, en primer lugar los postulantes deben acreditar que el vehículo saliente y entrante cumplen con los requisitos solicitados, además de adjuntar la documentación solicitada (Anexo 1) (Gobierno regional, Región de los Ríos, 2019) [30].

En segundo lugar, los postulantes seleccionados, deberán validar la compra y requisitos necesarios del vehículo entrante entregando los documentos solicitados (Anexo 2) e inscribiéndolo en el registro nacional de transporte público de pasajeros (Gobierno regional, Región de los Ríos, 2019) [30].

Finalmente, los montos entregados son designados según tipo de tecnología y rendimiento del vehículo entrante, obtenidos en el proceso de homologación correspondiente realizado por el Centro de Control y Certificación Vehicular. La tabla 2.3 presenta los montos establecidos por el Ministerio de Transporte para el año 2020 (MTT, 2020) [31].

Tabla 2.3: Montos asignados programa Renueva tu Colectivo

Diesel		Gasolina		Híbrido		Eléctrico	
Rendimiento urbano (km/l)	\$MM	Rendimiento urbano (km/l)	\$MM	Rendimiento urbano (km/l)	\$MM	Rendimiento urbano (km/l)	\$MM
5,0 – 12,9	0,3	5,0 – 10,4	0,3	5,0 – 10,4	0,3	50 o superior <sup>3</sup>	7,0
13 – 13,9	1,5	10,5 – 10,9	1,6	10,5 – 10,9	1,6		
14 – 14,9	1,7	11 – 11,9	1,7	11 – 11,9	1,7		
15 – 15,9	2,3	12 – 12,9	2,3	12 – 12,9	2,3		
16 – 16,9	2,6	13 – 13,9	2,4	13 – 13,9	2,4		
17 o superior	3,0	14 – 14,9	2,6	14 – 14,9	2,6		
		15 – 15,9	3,0	15 – 15,9	3,0		
		16 – 16,9	3,3	16 – 16,9	3,3		
		17 o superior	3,6	17 – 17,9	3,6		
				18 – 18,9	3,9		
				19 – 19,9	4,2		
				20 o superior	4,5		

Fuente: Elaboración propia con datos del MTT [31]

Respecto al programa, se identifican barreras en cuanto al proceso de postulación que pueden desincentivar el recambio por vehículos eléctricos presentadas a continuación.

- Tanto en la 1<sup>era</sup> como en la 2<sup>da</sup> Etapa, se solicitan documentos que se entregan en el sitio oficial de postulación ([www.dtp.r.gov.cl](http://www.dtp.r.gov.cl)) los cuales no están disponibles para vehículos eléctricos, indicados en los anexos 1 y 2 respectivamente.
- El Formulario N°1 para postular a la 1<sup>era</sup> Etapa solicita información que no se adapta a las especificaciones técnicas de un vehículo eléctrico, como es el rendimiento urbano solicitado en km/L siendo que el rendimiento de un vehículo eléctrico se mide en km/kWh.
- Para entrar a la 2<sup>da</sup> Etapa del programa, se solicita inscripción del vehículo como colectivo vigente y factura de primera compraventa a nombre del postulante, es decir, se requiere que el vehículo esté comprado y operando antes de ser adjudicado el subsidio. Si bien esta consideración se aplica a todos los postulantes por igual, toma mayor relevancia en cuanto a los vehículos eléctricos debido a que el crédito de compra es de un monto mayor, lo que repercute en un mayor riesgo para el propietario y cuotas mensuales más elevadas.
- La asignación del monto del beneficio, indica que para el caso de un vehículo eléctrico este debe tener un rendimiento de 50 km/l o superior. Se hace referencia a que la transformación de kWh a litro equivalente se realiza utilizando la energía contenida en un litro de gasolina, pero no se especifica el modo de calcularlo.

<sup>3</sup> Las bases de postulación establecen que la transformación de kilowatt hora a litro equivalente, se realiza utilizando la energía contenida en 1 litro de gasolina.

### 2.4.2.2 Créditos verdes

Por otra parte, se destaca el lanzamiento de créditos verdes emitidos por el Banco Estado para incentivar la compra de vehículos eléctricos otorgando condiciones favorables en cuanto a tasas de interés y facilidades de pago.

Las características del financiamiento ofrecido corresponden a un crédito de consumo con tasa de interés mensual del 0,56% (según evaluación crediticia del cliente), para un monto máximo de UF 1.500 con un plazo de hasta 60 meses. Además, consideran hasta 90 días para el pago de la primera cuota y hasta dos meses en el año, no consecutivos, de no pago de cuotas (Banco Estado, 2020) [43].

### 2.4.2.3 Nuevos cupos destinados a vehículos eléctricos

Finalmente, se destaca el lanzamiento de nuevos cupos destinados hacia el servicio de transporte público menor en su modelidad de taxis básicos o taxis colectivos como un mecanismo para incentivar la entrada de nuevos vehículos eléctricos en este segmento.

Como se presenta anteriormente, en distintas regiones del país se ha impulsado esta dinámica (Valparaíso 120 cupos, Santiago 60 cupos, Valdivia 10 cupos). Sin embargo, los resultados no han sido del todo favorables, contabilizando según información entregada por la Ministra de transporte, un total de 80 taxis eléctricos de distintas modalidades en el territorio nacional a noviembre del año 2020 (Electromov, 2020) [42].

## 2.5 Barreras que limitan el desarrollo de la electromovilidad

Aun cuando, las ventajas relacionadas a la electromovilidad son diversas en términos de beneficio ambiental y social, existen múltiples barreras relacionadas al nivel de desarrollo de la tecnología, montos de inversión elevados y desarrollo de servicios complementarios.

Desde un punto de vista técnico, Fox-Penner et al. (2019) [7] señalan como las principales restricciones actuales de la tecnología:

- **Elevado monto de inversión inicial** asociado a la compra del vehículo eléctrico y su infraestructura de carga domiciliar asociada.
- **Limitada autonomía** de los autos eléctricos en comparación a sus similares convencionales.
- Escaso nivel de desarrollo de la **infraestructura de carga**.

Por su parte, Patella et al. (2018) [8], identifica las siguientes 5 problemáticas asociadas a la electrificación del sistema de transporte público, en base a la experiencia internacional de los operadores.

- **Necesidad de establecer relaciones con nuevos actores**, en particular se destaca la necesidad de establecer nuevas relaciones con las empresas distribuidoras de energía, identificándolos como actores clave, idealmente presentes desde el inicio del proyecto.
- **Necesidad de planificar nuevos modelos de operación**, directamente relacionados al requerimiento de carga de los vehículos eléctricos, el cual es considerablemente más extenso y puede alterar la operación actual de las flotas.

Por otra parte, se destaca la disponibilidad y ubicación de la infraestructura de carga como un factor clave en la replanificación de los modelos de operación.

- **Nuevos perfiles de mantenimiento y demanda por nuevas habilidades**, asociadas tanto a los nuevos requerimientos del vehículo como también de la infraestructura de carga que bajo el modelo de movilidad eléctrica forma parte de las responsabilidades del operador.
- **Necesidad de acceso a fuentes de financiamiento** necesarios para sopesar el elevado costo de inversión inicial asociado tanto a la compra de los vehículos como de la infraestructura de carga asociada, se destaca el desarrollo de nuevos modelos de negocio que permiten distribuir la carga financiera entre múltiples actores.
- **Incertidumbre relacionada a la tecnología de las baterías**, asociado a la poca información de su operación en condiciones reales, tanto en términos de degradación de ésta como en cuanto a la fluctuación de rendimiento que se puede generar bajo diversas condiciones climatológicas u otros, lo que pone en riesgo la operación de la flota y el cumplimiento de los contratos.

Finalmente, Isla et al., [6] identifica ciertos elementos fundamentales que debiesen ser considerados en el diseño de cualquier política pública orientada a impulsar la utilización de vehículos eléctricos:

- **Tipo de tecnología de propulsión de vehículos eléctricos**, se refiere al conocimiento por parte de las autoridades sobre los distintos tipos de tecnologías de electromovilidad, reconociendo sus ventajas y desventajas para diseñar los incentivos de manera informada y de acuerdo a las prioridades establecidas.
- **Lineamiento para la instalación y estandarización de la infraestructura de carga**, es deseable que se definan criterios de espacialidad y, sobre todo, la estandarización de los conectores respondiendo a la demanda existente de los vehículos comercializados al interior del país.
- **Necesidad de coordinación y alineación de objetivos de políticas públicas y programas de incentivos**, se destaca la necesidad de involucramiento de los gobiernos

a nivel nacional (más que a nivel ministerial, ciudad o municipal) como un elemento fundamental para que los incentivos generados estén alineados con las políticas que se definan como prioritarias para el país.

- **Importancia de alianzas y el trabajo conjunto de entidades públicas y privadas**, dado el bajo nivel de desarrollo del mercado, se requiere de un impulso importante que puede lograrse de manera más eficiente si se conjunta la participación de entidades públicas y privadas, por medio de programas conjuntos de promoción, oferta para satisfacer planes específicos de desarrollo e instalación de infraestructura, entre otros.

## Capítulo 3: Taxis colectivos

### 3.1 Regulación del servicio de taxis colectivos

El servicio de taxis colectivos es un modo de transporte público menor existente solo en algunos países latinoamericanos. Se ofrece a través de vehículos livianos con una capacidad máxima de cuatro pasajeros, un área de cobertura definida y recorridos en principio fijos, aunque en la práctica se adaptan parcialmente a las necesidades de los pasajeros.

En términos regulatorios, la operación del servicio de taxis colectivos urbano está regido por el decreto supremo 212 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones [12], el cual establece las normas que deben cumplir los servicios nacionales de transporte público de pasajeros.

Para poder operar en esta modalidad, tanto la línea de servicio como el vehículo deben estar inscritos en el Registro Nacional de Transporte Público de Pasajeros (Registro Nacional), cumpliendo cada cual por si solo las condiciones establecidas por normativa que autorizan esta inscripción (MTT, 1992) [12].

Por su parte, la relación establecida entre estos dos actores se genera por medio de la firma de un contrato entre el propietario del taxi colectivo y la personalidad jurídica encargada de administrar la línea. Por medio de este documento, se autoriza a los conductores a trabajar en los recorridos autorizados de cada línea bajo la organización interna que cada una de estas establezca.<sup>4</sup>

En cuanto a la operación del servicio, cada línea dispone de un trazado denominado troncal y un conjunto de trazados denominados variantes, los cuales son derivaciones del primero. Los taxis colectivos no podrán variar el trazado autorizado, realizándolos de principio a fin, a menos que el Secretario Regional lo autorice por medio de resolución oficial (MTT, 1992) [12]. La figura 3.1 muestra el ejemplo de los trazados definidos para la línea 150 de la ciudad de Valdivia, en rojo recorrido troncal y en azul recorrido variante.

---

<sup>4</sup> Información entregada por representantes legales de las líneas de servicio

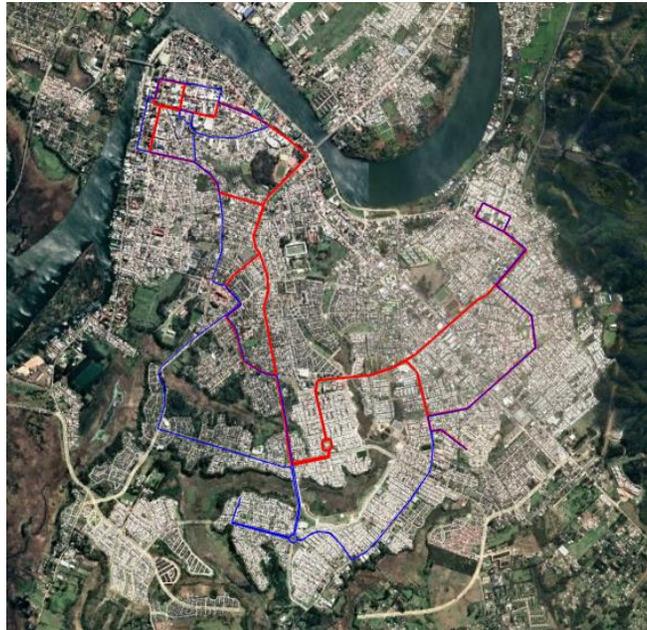


Figura 3.1: Ejemplo del trazados troncal y variante línea 150 de la ciudad de Valdivia  
Fuente: Elaboración propia con datos entregados por Seremi de Transporte regional.

Además, cada línea deberá cumplir con una frecuencia mínima de operación, medida en vehículos por hora, para los horarios punta de servicio (7:30 – 10:00 y 17:00 – 21:00), establecida según la cantidad de habitantes de la ciudad, ver tabla 3.1. Por otra parte, la frecuencia de servicio para el periodo fuera punta se restringe a un máximo del 80% de la frecuencia ofrecida en horario punta (MTT, 1992) [12].

Tabla 3.1: Frecuencias mínimas de operación por cantidad de habitantes

<b>Número de habitantes de la ciudad</b>	<b>Frecuencia por sentido en hora punta</b>
Más de 1.000.000	5 vehículos/hora
Entre 1.000.000 y 500.001	4 vehículos/hora
Entre 500.000 y 100.001	3 vehículos/hora
Menos de 100.001	2 vehículos/hora

Fuente: Elaboración propia con datos del MTT [12]

Finalmente, se destaca que cada línea de servicio cuenta con un terminal, correspondiente al inmueble destinado al estacionamiento temporal de los vehículos de locomoción colectiva urbana una vez que han concluido una vuelta o recorrido y se disponen a salir nuevamente. Dicho terminal deberá cumplir con la regulación establecida en el decreto supremo N° 47/92, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MTT, 1992) [12].

### 3.2 Regulación para taxis colectivos eléctricos

En términos de la operación diaria, la regulación chilena que rige el servicio de transporte público de pasajero no presenta diferencias entre un vehículo convencional respecto a uno eléctrico, las diferencias entre estas dos tecnologías se presentan al momento de inscribir el vehículo al Registro Nacional de Transporte Público de Pasajeros. En este sentido, la autorización de un auto eléctrico en el segmento de taxi colectivo estará sometida a dos grandes controles desde el gobierno.

En primer lugar, este debe estar homologado por el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV), organismo perteneciente al Ministerio de Transporte encargado de la homologación de los modelos de vehículos autorizados para circular en el entorno nacional, cumpliendo así con los estándares básicos de seguridad y rendimiento exigidos por ley.

En segundo lugar, el vehículo deberá cumplir con los requerimientos específicos establecidos para autos eléctricos en el decreto 212 del Ministerio de Transporte (MTT, 1992) [12]. En particular son de interés los artículos N°73, 74, 75, y 76 que definen las normas que deben ser cumplidas por los operadores de taxis colectivos, incluyendo normas específicas para el caso de vehículos eléctricos. Dentro de los principales elementos identificados se destacan los siguientes requisitos.

- Ser vehículos de una antigüedad no superior a un año, al solicitar su incorporación al Registro Nacional por primera vez. La antigüedad se calculará como la diferencia entre el año en que se solicita la inscripción y el año de fabricación o modelo del vehículo anotado en el Registro de Vehículos Motorizados.
- Para el caso de vehículos eléctricos e híbridos, contar con un motor eléctrico de al menos 70 kW de potencia.
- Los vehículos deben estar pintados de acuerdo con lo establecido en el decreto. Los taxis que cuenten con motor eléctrico puro, cualquiera sea su modalidad, serán de color blanco, con puertas y cubierta del motor (capó) de color verde.
- Contar con una carrocería de 4 puertas, entendiéndose por puerta sólo aquella que permita el acceso natural de personas al vehículo.
- Contar con sólo dos hileras de asientos en sentido transversal al vehículo.
- El permiso de circulación no podrá ser renovado para taxis que tengan una antigüedad superior a 12 años en la Región Metropolitana y a 15 años en el resto de las regiones.
- Los taxis inscritos en el Registro Nacional en cualquiera de sus modalidades podrán reemplazarse por automóviles más nuevos, siempre que se acredite que éstos nunca han sido taxis, que cumplan con los requisitos del artículo 73° y que tengan una antigüedad no superior a cinco años.

En base al registro de automóviles homologados por el 3CV [44] y los requisitos establecidos por el decreto 212 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, la tabla 3.2 presenta

el listado de vehículos eléctricos a batería autorizados para operar en modalidad de taxi colectivo.

Tabla 3.2: Vehículos eléctricos autorizados para operar como taxis colectivos

Marca	Modelo	Carrocería	Precio de mercado <sup>5</sup>	Capacidad de almacenamiento
<b>BYD</b>	e6	Hatchback	\$ 35.000 USD	60 kWh
<b>BYD</b>	e5	Sedán	\$ 31,310 USD	51 kWh
<b>Chevrolet</b>	Bolt EV	Hatchback	\$ 39.295 USD	60 kWh
<b>DFLM</b>	S50EV	Sedán	Sin información	56 kWh
<b>Hyundai</b>	Ioniq	Hatchback	\$ 34.295 USD	28 kWh
<b>Kia</b>	Soul Electrico	Hatchback	\$ 34.950 USD	40 kWh
<b>Nissan</b>	LEAF ZE1	Hatchback	\$ 37.750 USD	40 kWh
<b>Porsche</b>	Taycan	Sedán	\$ 129.170 USD	81 kWh
<b>Renault</b>	Fluence ZE	Sedán	\$ 37.400 USD	22 kWh

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del 3CV [44] y búsqueda en internet.

La figura 3.2 muestra algunos ejemplos de implementación de taxis eléctricos a nivel internacional. Los modelos identificados son, de izquierda a derecha, ByD e6 presentes en la ciudad de Shenzhen, el modelo Nissan Leaf impulsado en la ciudad de Nueva York y el modelo Hyundai Ioniq que opera en la ciudad de Madrid.



Figura 3.2: Ejemplos de taxis eléctricos en distintas ciudades del mundo.

<sup>5</sup> Se consideran los precios disponibles en mercado de Estados Unidos dado que no se logra recopilar información comparable en el mercado nacional para todos los modelos.

### 3.3 Principales actores relacionados al servicio de taxis colectivos eléctricos

La figura 3.3 representa los actores público-privados que se relacionan con la operación del servicio de taxis colectivos en su modalidad eléctrica. En el diagrama presentado, se destaca la entrada de nuevos actores en contraste a la operación actual, principalmente relacionados con el servicio de carga eléctrica para los vehículos.

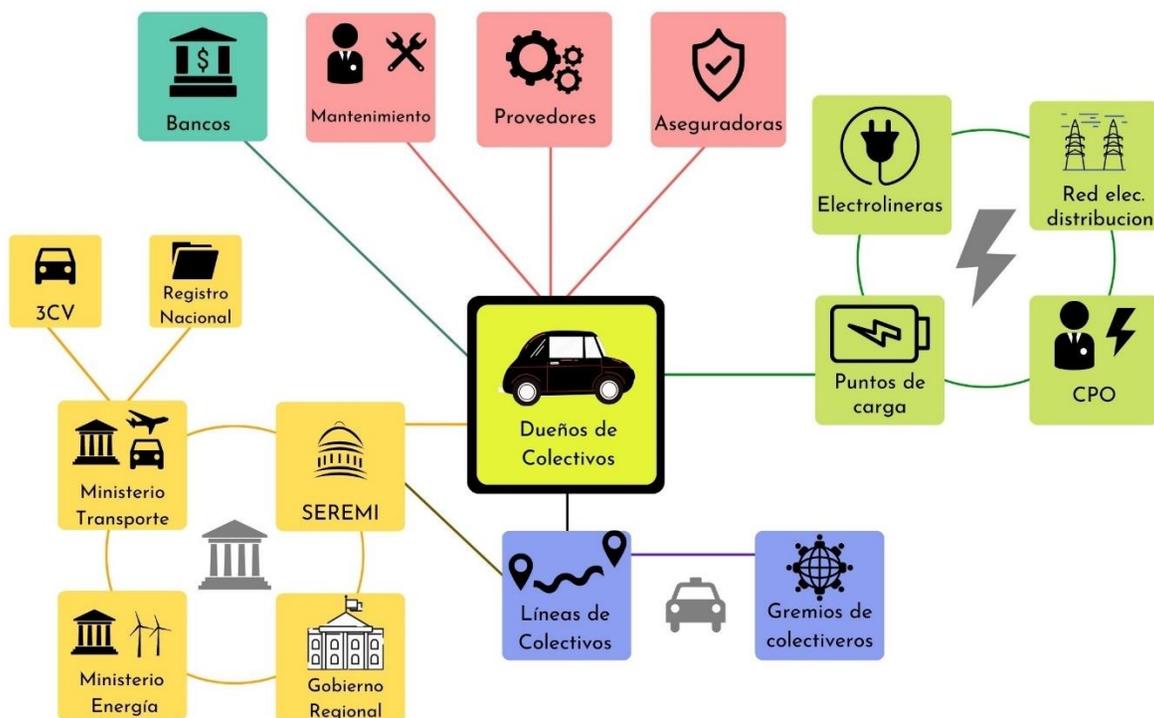


Figura 3.3: Diagrama de actores involucrados con la operación de taxis colectivos eléctricos  
Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se destaca el rol del propietario del taxi colectivo localizado en el centro de la estructura, siendo el actor que se relaciona directamente y de manera por lo general individual, con el resto de los actores relacionados al servicio.

Al costado inferior de la imagen, se identifican las dos estructuras organizacionales sobre las cuales los propietarios se aglomeran. En primer lugar, las líneas de servicio, las cuales establecen relaciones contractuales con los propietarios para que puedan trabajar en los recorridos troncales y variantes pertenecientes a dicha línea y, en segundo lugar, los gremios de taxis colectivos (CONATACoch, CONTRAMEN C.G., entre otros) los cuales participan de manera global en el sector de transporte en Chile.

En el costado izquierdo, en amarillo, se encuentran los organismos del Gobierno de Chile, quienes asumen un rol regulador, legislador e impulsor de políticas públicas en relación con

el sector de taxis colectivos. Dentro de este conjunto, se destaca el Seremi de Transporte como el agente intermediario entre el gobierno y los taxistas. Este actor, cumple el rol de contraparte técnica en los procesos de adjudicación del programa Renueva tu Colectivo, gestiona los llamados a nuevos procesos de adjudicación de cupos y regula la correcta ejecución del servicio.

En celeste, encontramos las entidades financieras que apoyan la compra de los vehículos por medio de la entrega de créditos a los dueños. Dentro de este segmento se destaca el Banco Estado como el principal agente financista del sector, además de impulsar medidas en favor de la compra de vehículos eléctricos por medio de créditos verdes.

En la parte superior, en rojo, se presentan algunos agentes relacionados al ecosistema de movilidad eléctrica de la ciudad. Por ejemplo, los proveedores de la tecnología, tanto de vehículos como de cargadores, los servicios de mantenimiento especializado y las empresas aseguradoras de taxis colectivos. En este apartado, se deja espacio para otros servicios complementarios de la electromovilidad, como pueden ser, servicios de monitoreo de las flotas, talleres de revisión técnica y otras empresas que sustentan la movilidad eléctrica en el entorno de implementación.

Finalmente, al costado derecho, se destaca en verde la infraestructura de carga que provee la energía necesaria para la operación. Aquí se considera la participación de operadores de carga (CPO) como Enel X, Engie o Voltex, quienes juegan un rol fundamental en el suministro del servicio de carga pública. Por otra parte, se destaca la participación de la empresa distribuidora de energía local en cuanto a su rol de asegurar el suministro eléctrico a precios convenientes y agentes de interés como el Coordinador Eléctrico Nacional quien vela por asegurar el suministro eléctrico de la red.

El diagrama presentado permite visualizar las relaciones que se establecen entre el dueño del taxi colectivo con el resto de los actores involucrados, remarcando el rol que asume cada uno de los propietarios en la toma de decisiones respecto al recambio tecnológico de sus vehículos.

## **Capítulo 4: Caracterización del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia**

### **4.1 Entorno de implementación**

La ciudad de Valdivia corresponde a la capital regional de la Región de los Ríos, cuenta con una superficie total de 1.015,6 km<sup>2</sup> y alberga a una población de 166.080 personas según los datos obtenidos en el Censo del 2017.

Desde un punto de vista geográfico, la ciudad se encuentra ubicada a una altura media de 14 m.s.n.m fluctuando entre los 9 a los 26 m.s.n.m sin presentar grandes pendientes al interior de esta.

Valdivia se caracteriza por presentar constantes precipitaciones a lo largo del año y una temperatura media que fluctúa entre los 6,6°C a los 16,4°C entre las estaciones frías y cálidas respectivamente (Dirección meteorológica de Chile, 2020).

Desde un punto de vista ambiental, la comuna fue declarada zona saturada por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5 en el año 2014 (Ministerio de Medio Ambiente, 2014) [45], los cuales se generan principalmente por la quema de leña a nivel domiciliario durante los meses de invierno.

Por lo anteriormente señalado, la ciudad ha iniciado un camino de concientización ciudadana y establecimiento de medidas de descontaminación ambiental que consideran, dentro de otras, el fomento de la movilidad urbana sostenible priorizando medios de transporte no motorizados y transporte público (Ministerio de Medio Ambiente, 2017) [19], creación de espacios multisectoriales de discusión respecto al desarrollo urbano sustentable (Activa Valdivia, 2020) [16] y el diseño de un plan de desarrollo sostenible de largo plazo bajo el alero de la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (Hidalgo et al., 2015) [18].

Desde la perspectiva del desarrollo de la movilidad eléctrica, la Región de los Ríos presenta una baja cantidad de vehículos eléctricos e infraestructura de carga instalada, siendo una de las regiones con menores avances tangibles en estas dos medidas, como se aprecia en las figuras 2.6 y 2.7.

Según los datos de permisos de circulación emitidos por el Instituto Nacional de Estadística (2019), solo se registraron 5 vehículos livianos y 2 motocicletas eléctricas en la comuna sobre el total de 47.030 vehículos inscritos, es decir, una tasa de penetración menor al 0,01% del parque vehicular.

En relación con la disponibilidad de infraestructura de carga pública, se identifican 2 cargadores de 22 kW de potencia, ambos con doble entrada para carga de vehículos en paralelo distribuyendo la potencia entre estos. Los cargadores son administrados por la

empresa distribuidora local SAESA, la cual también dispone del servicio de venta e instalación de infraestructura de carga domiciliaria.

En relación con la provisión de vehículos eléctricos y mantención, se destaca la automotora Gildemeister, la cual distribuye el modelo eléctrico Hyundai Ioniq en la ciudad, complementado con el servicio de mantenciones para dicho modelo en particular. Se desconoce la existencia de otros proveedores de vehículos eléctricos o servicios de mantención en la ciudad.

A pesar de la baja tasa de penetración actual de la movilidad eléctrica en la comuna, se destaca el desarrollo inicial del mercado de electromovilidad en cuanto a sus servicios mínimos de provisión de la tecnología y servicios de mantenimiento. Por otra parte, se identifican esfuerzos iniciales que pueden generar resultados positivos en la aceleración de la entrada de los vehículos eléctricos en el segmento de taxis colectivos.

El primer esfuerzo identificado corresponde a la puesta en marcha del piloto de taxis colectivos eléctricos en la ciudad, que considera la recopilación de datos reales de operación, lo que permitirá generar un primer acercamiento de la electromovilidad a los propietarios de taxis colectivos en la ciudad facilitando el proceso de culturización y generación de confianza necesario para impulsar el recambio tecnológico, además de la generación de métricas reales de rendimiento, economías generadas y datos útiles para el desarrollo de políticas públicas eficientes.

Por otra parte, la región cuenta con una mesa de electromovilidad compuesta por el Intendente Regional, los Seremi de Transporte, Energía y Medio Ambiente y el Gerente general de la corporación regional de desarrollo productivo. Fruto de esta mesa, en el año 2019, se adjudica la realización de una estrategia de electromovilidad para la Región de los Ríos, la cual defina los pasos a seguir para el recambio tecnológico del servicio de transporte público, focalizado en el recambio de buses.

Si bien el nivel de desarrollo actual de la electromovilidad es limitado en cuanto a vehículos eléctricos en circulación, se destaca la existencia de un primer nivel de proveedores de la tecnología y servicios asociados, además del impulso de proyectos de pilotaje y definiciones estratégicas de largo plazo incentivados por múltiples actores público-privados de la zona. Los cuales, bajo el contexto de políticas públicas de descontaminación de la comuna, pueden verse aceleradas en los próximos años en caso de generarse los programas o incentivos necesarios.

## 4.2 Caracterización del servicio

Como se puede observar en la figura 4.1, el 45% de los viajes realizados en la ciudad de Valdivia se realizan por medio de autos privados, ya sea como conductor o acompañante, por otra parte, el segmento de transporte público, que aglomera taxi colectivo, buses y taxis básicos acumula el 31% del total de viajes registrados (SECTRA, 2014) [13].

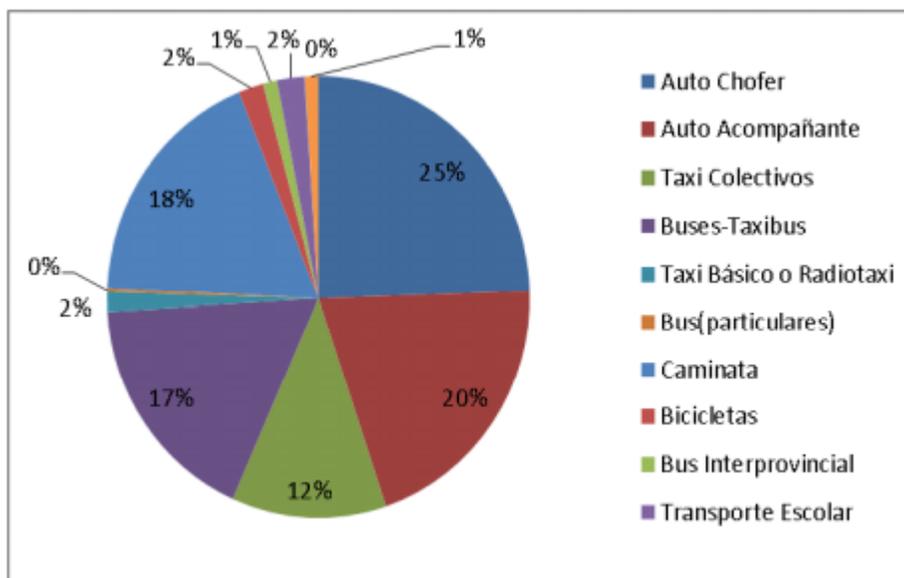


Figura 4.1: Partición modal diaria [13]

Por su parte, el servicio de taxis colectivos realiza un total de 66.450 viajes, equivalente al 11,83% de los viajes totales realizados durante el día y al 38,58% de los viajes realizados en transporte público vehicular (buses: 56,71%; taxis básicos: 4,70%) (SECTRA, 2014) [13].

### 4.2.1 Flotas y líneas de servicio

Este servicio, se estructura bajo 16 líneas de operación, cada una con sus respectivos trazados troncales y variantes, las cuales son administradas por 14 empresas operadoras. En su totalidad, se contabiliza un total de 845 taxis colectivos inscritos en el Registro Nacional de la ciudad de Valdivia, quienes operan en una red de 544 km de extensión.

Tabla 4.1: Tabla resumen servicio de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia.

Línea	Nombre de la Empresa	Flota Vigente (vehículos)	Antigüedad promedio vehículos (años)
<b>1</b>	SINDICATO DE TRABAJADORES INDEPENDIENTES TAXIS COLECTIVOS LINEA 1	<b>49</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	TAXCOVAL S.A. LINEA N°7	<b>13</b>	<b>6</b>
<b>10</b>	SIND.TRAB.INDEP. PROPIET. TAXIS COLECTIVOS. LINEA N°10	<b>69</b>	<b>6</b>
<b>12</b>	TAXIS COLECTIVOS URBANOS LINEA 12 LAS ANIMAS LTDA	<b>55</b>	<b>5</b>
<b>15</b>	SINDICATO TRABAJADORES INDEPENDIENTES DE TAXIS COLECTIVOS LINEA 15 SAN LUIS CENTRO	<b>48</b>	<b>6</b>
<b>20</b>	SINDICATO TRABAJADORES INDEPENDIENTES TAXIS COLECTIVOS LINEA 20-40	<b>52</b>	<b>7</b>
<b>21</b>	SOTRACOP S.A.	<b>24</b>	<b>6</b>
<b>45</b>	SINDICATO TRABAJADORES INDEPENDIENTES DE TAXIS COLECTIVOS LINEA 45 CORVI-CENTRO	<b>102</b>	<b>6</b>
<b>50</b>	TRANSPORTES REGIONAL S.A.C.	<b>94</b>	<b>7</b>
<b>55</b>	TRANSPORTES REGIONAL S.A.C.	<b>58</b>	<b>6</b>
<b>110</b>	SINDICATO TRABAJADORES INDEPENDIENTES DE TAXIS COLECTIVOS LINEA 110	<b>53</b>	<b>6</b>
<b>115</b>	SINDICATO TRABAJADORES INDEPENDIENTES DUEÑOS DE TAXIS COLECTIVOS LINEA 115	<b>50</b>	<b>4</b>
<b>145</b>	EMPRESA DE TRANSPORTES CALAFQUEN S.A	<b>39</b>	<b>6</b>
<b>150</b>	SINDICATO TRABAJADORES INDEPENDIENTES TAXIS COLECTIVOS LINEA 150	<b>77</b>	<b>6</b>
<b>450</b>	EMPRESA ADMINISTR. DE TAXIS VALDIVIA S.A.	<b>18</b>	<b>6</b>
<b>1010</b>	EMPRESA DE TRANSPORTES CALAFQUEN S.A	<b>44</b>	<b>5</b>
	<b>CIUDAD DE VALDIVIA</b>	<b>845</b>	<b>6</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de la Seremi de Transporte Regional

La flota de taxis colectivos de la ciudad presenta una antigüedad promedio de 6 años, medido desde el año de fabricación del auto, de los cuales el 73,9% de la flota tiene 4 o más años desde su fabricación, siendo potenciales candidatos a recambio por medio del programa Renueva tu Colectivo.

Se destaca la existencia de un pequeño grupo de 24 vehículos que se encuentran en el límite autorizado de 15 años permitidos para renovar el permiso de circulación del vehículo (MTT, 1992) [12]. Dicho segmento, estará forzado a renovar el auto en un periodo inferior a 18 meses para no perder el cupo asignado. La figura 4.2, presenta la cantidad de taxis colectivos por segmento de antigüedad.

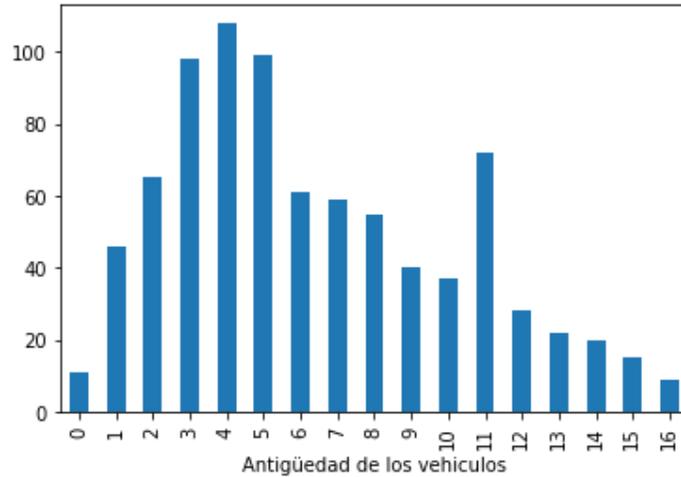


Figura 4.2: Histograma de la antigüedad de la flota de colectivos en Valdivia  
Fuente: Elaboración propia con datos de la Seremi de Transporte Regional

Finalmente, la figura 4.3, representa la distribución por marcas existentes en la flota de taxis colectivos de la ciudad, se puede observar que las marcas con mayor participación en orden decreciente son Toyota con un 36,02% seguida por Hyundai con 24,53% y Nissan con 13,15%. Por su parte, los modelos más populares son Toyota Yaris (35%), Hyundai Accent (24%) y Citroen C-Elysée (10%).

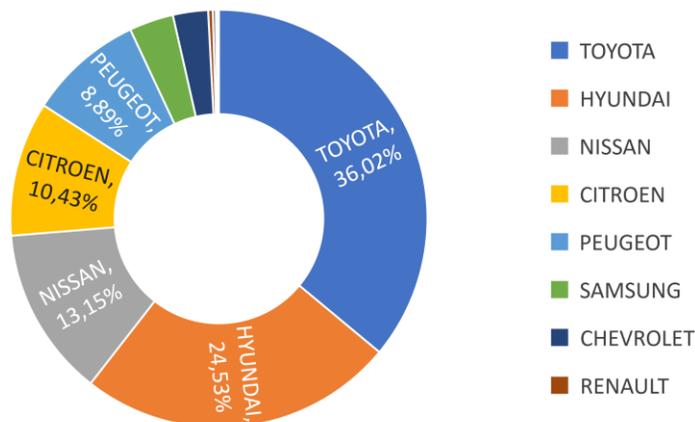


Figura 4.3: Distribución del parque de taxis colectivos por marca del vehículo  
Fuente: Elaboración propia con datos de la Seremi de Transporte Regional

Desde la perspectiva de la flota de servicio, se destaca el elevado número de vehículos potencialmente adjudicables con el subsidio de renovación vehicular. Se identifica una oportunidad para la toma de acción a corto plazo, generando los incentivos necesarios para la priorización de taxis colectivos eléctricos.

Por otra parte, se debe considerar que los conductores de taxis colectivos presentan preferencias en cuanto a la marca y el origen del auto que adquieren, mostrando cada uno una marca en específico que les genera mayor confianza y que suelen mantener al momento de renovar el auto.

Por último, se destaca la participación de los fabricantes Hyundai y Nissan como las dos marcas con mayor presencia en el segmento, las cuales ya disponen de modelos eléctricos homologados y autorizados para su operación de este segmento, como se presentó en la tabla 3.2, pudiendo ser potenciales candidatos para programas impulsados desde el gobierno central.

#### **4.2.2 Recorridos de las líneas**

En cuanto al recorrido de cada línea de servicio, se destaca la inexistencia de un formato digital de los trazados que facilite el análisis de estos. En consecuencia, se realiza una digitalización de los trazados troncales y variantes definidos para las 16 líneas en base a las cartolas entregadas al momento de inscribir la línea en el Registro Nacional por medio de la herramienta Google Earth, generando así las correspondientes rutas en formato kmz.

La figura 4.4 presenta la red completa del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia, el detalle de cada una de las líneas se presenta en los Anexos 4 al 32, los cuales además incluyen el perfil de elevación del recorrido.

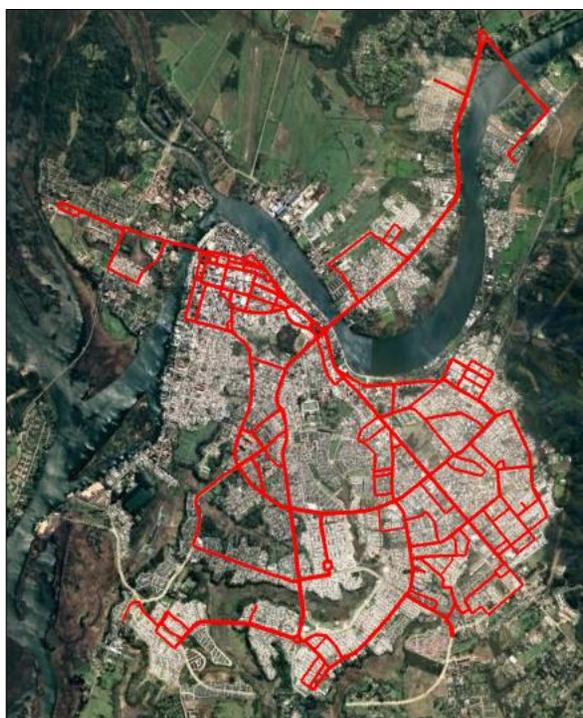


Figura 4.4: Recorridos taxis colectivos de la ciudad de Valdivia  
Fuente: Elaboración propia con datos de la Seremi de Transporte Regional

La información recopilada se encuentra sintetizada en la tabla 4.2 para el total de recorridos de la ciudad. En términos generales, las rutas del servicio de taxis colectivos tienen una longitud que fluctúa entre los 9,45 y los 31 km de longitud total (ida y vuelta) y no presentan grandes varianzas en la inclinación promedio de los recorridos.

Tabla 4.2: Perfil de las líneas según recorrido troncal y variante

Línea de servicio	Identificación del recorrido	Distancia total [km]	Elevación Min [m.s.n.m]	Elevación Max [m.s.n.m]	Inclinación promedio
1	1 troncal	29,7	5	22	-1.2% : 1.1%
7	7 troncal	11,8	6	18	-1.2% : 1.1%
10	10 troncal	26,5	5	22	-1.3% : 1.2%
	10 variante	18,9	5	22	-1.3% : 1.3%
12	12 troncal	17,8	1	26	-1.7% : 1.8%
	12 variante	11,8	1	26	-1.6% : 1.6%
15	15 troncal	21	6	17	-1.1% : 1.1%
	15 variante	16,3	6	17	-1.1% : 1.0%
20	20 troncal	14	1	26	-1.6% : 1.5%
	20 variante	19,6	1	26	-1.7% : 1.6%
21	21 troncal	16,6	1	27	-1.7% : 1.6%
45	45 troncal	12,3	8	18	-1.2% : 1.2%
	45 variante	11,6	6	18	-1.3% : 1.2%
50	50 troncal	31	6	19	-1.0% : 0.9%
	50 variante	27,1	5	19	-1.3% : 1.4%
55	55 troncal	18	7	17	-1.1% : 1.0%
	55 variante	13	8	17	-1.2% : 1.1%
110	110 troncal	17,8	5	22	-1.4% : 1.4%
	110 variante	24,9	5	19	-1.2% : 1.1%
115	115 troncal	16,4	8	17	-1.1% : 1.0%
	115 variante	16,9	7	17	-1.2% : 1.1%
145	145 troncal	12,2	8	18	-1.2% : 1.2%
	145 variante	13,6	6	17	-1.1% : 1.0%
150	150 troncal	21	6	19	-1.1% : 1.1%
	150 variante	28	4	22	-1.2% : 1.2%
450	450 troncal	15,7	8	18	-1.1% : 1.0%
	450 variante	9,45	6	18	-1.3% : 1.3%
1010	1010 troncal	30,4	5	22	-1.3% : 1.2%
	1010 variante	20,9	8	19	-1.0% : 1.0%

Fuente: Elaboración propia con datos del Seremi de Transporte Regional

### 4.3 Impacto ambiental del servicio de taxis colectivos

Según datos del año 2019 obtenidos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RECT) del Ministerio del Medio Ambiente, el sector transporte es responsable de un 14% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la comuna de Valdivia y un 32% de las

emisiones de gases NOx. Siendo la segunda fuente de mayor emisión de este tipo de gases después de la quema de leña residencial.

La figura 4.5, presenta la distribución modal por tipo de contaminante emitido por el sector transporte en la ciudad de Valdivia. En esta figura, se puede observar que el responsable de la mayor cantidad de emisiones del sector corresponde al segmento vehículos particulares y comerciales. Por su parte, el servicio de taxis colectivos emite el 15% del total de emisiones de CO2, equivalente a 12.922,86 toneladas y el 3% de las emisiones de gases NOx, 12.03 toneladas.

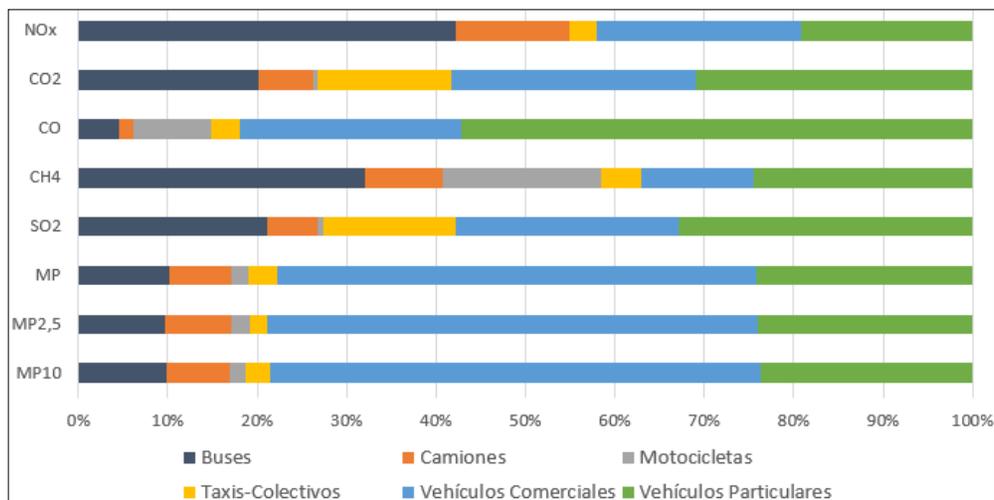


Figura 4.5: Distribución de las emisiones generadas por el sector transporte  
Fuente: Elaboración propia con datos del RECT

Al considerar exclusivamente las emisiones generadas por los segmentos buses y taxis-colectivos, se obtiene que este último es responsable del 42% de las emisiones totales y 43% de las emisiones de CO2, la tabla 4.3 presenta el detalle en la distribución de emisiones de estos dos segmentos.

Tabla 4.3: Emisiones generadas por el segmento buses y taxis colectivos

	Tipo de emisiones en toneladas							
	MP10	MP2,5	MP	SO2	CH4	CO	CO2	NOx
<b>Buses</b>	4,08	3,57	4,38	0,19	2,30	48,29	17415,84	165,64
<b>Taxis-Colectivos</b>	1,12	0,72	1,39	0,14	0,33	33,60	12922,86	12,03
<b>Total</b>	5,194	4,288	5,769	0,329	2,629	81,896	30338,700	177,667

Fuente: Elaboración propia con datos del RECT

#### 4.4 Entrevista con propietarios de taxis colectivos

A continuación, se presentan los principales hallazgos levantados en las entrevistas realizadas a los representantes legales de las empresas administradoras del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia.

- **Operación real del servicio:**

En primer lugar, se identifican dos tipos de actores relevantes en la operación, los dueños de los vehículos y los conductores. El dueño del vehículo será la persona que dispone del auto inscrito en el Registro Nacional y que establece una relación contractual con la empresa administradora de una de las líneas de servicio para trabajar en dicho recorrido, por norma general, se explica que un mismo propietario dispone entre 1 a 5 taxis registrados.

Por su parte, el conductor, corresponde a la persona que conducirá el vehículo, quien puede ser el mismo dueño u otro, el único requisito que este debe tener es disponer de una licencia clase A1 para poder trabajar.

En caso de que el dueño y el conductor correspondan a la misma persona, esta percibe la totalidad de las ganancias del día, además de afrontar los costos de mantención y combustible correspondientes.

Para el caso en que el conductor no sea el dueño del vehículo, se determina una cuota diaria, aproximada a \$12.000, que deberá ser pagada por el chofer al dueño. Además, el conductor deberá pagar el costo por combustible del día y se quedará con el resto de las ganancias, será deber del dueño del automóvil hacer las mantenciones correspondientes. En esta modalidad, el vehículo puede tener más de un conductor durante la jornada, pudiendo estar circulando en horario diurno y nocturno.

En cuanto a la operación de los vehículos, los representantes mencionan que cada conductor decide los días y horarios en que trabajan. Por norma general, mencionan que la mayoría de los choferes trabajan de lunes a sábado buscando dar prioridad a las horas punta del día, vale decir, hora de la mañana 7:00 – 10:30, hora de almuerzo 12:00 – 14:00 y hora de la tarde 17:00 – 20:00 desde su experiencia.

Además, el servicio de taxi colectivo puede operar toda la noche en la ciudad, por lo que algunos conductores prefieren trabajar exclusivamente en este horario (21:00 – 4:00) teniendo menos competencia, además de iterar entre distintas modalidades: taxi colectivo, taxi básico y plataformas digitales como Uber.

Las principales pausas durante la jornada corresponden a las pausas por alimentación y uso de baños. Por ley, todos los terminales deben disponer de al menos un baño, pero solo algunos disponen de un baño para los conductores. Se destaca que la mayor parte de los conductores almuerzan en sus domicilios en pausas de 1 a 2 horas que podrían ser destinadas a la carga de los vehículos.

En cuanto a los recorridos establecidos, los conductores no suelen seguir los trazados determinados de origen a fin, la ruta se adapta a los requerimientos de los clientes siempre y cuando no se salga de las calles designadas en la cartola troncal o variantes de la línea.

Se menciona, que un conductor opera una media de 220 km diarios, distancia promedio que le permite obtener las ganancias diarias esperadas, fluctuando entre los 150 a los 350 km, según la información entregada por los entrevistados.

Finalmente, se enfatiza que los propietarios suelen renovar sus vehículos entre el 5to y el 7mo año de antigüedad con un promedio de seis años de uso. Se destaca que antiguamente los autos se mantenían por un periodo más extenso de hasta 10 años, lo que ha cambiado desde el lanzamiento del programa Renueva tu Colectivo.

A modo de síntesis, desde la experiencia de los representantes legales de las empresas operadoras del servicio en la ciudad de Valdivia, cada propietario de taxi colectivo tiene entre 1 a 5 vehículos registrados como taxi colectivo, cada conductor opera un promedio de 220 km diarios, existen 4 horarios de alta circulación de colectivos (7:00 – 10:30; 12:00 – 14:00; 17:00 – 20:00; 21:00 – 4:00), los conductores suelen tener pausas de 1 a 2 horas de almuerzo en sus domicilios y renuevan sus vehículos cada 6 años en promedio.

- **Entrada de la electromovilidad en el servicio**

Al consultar sobre la opción de operar por medio de taxis colectivos eléctricos en el servicio, los entrevistados muestran un nivel básico de conocimiento de la tecnología. Si bien identifican ciertas barreras iniciales como el monto de inversión elevado, la disponibilidad de carga y la autonomía de los autos y los potenciales beneficios económicos proveniente del ahorro en combustible, se desconocen los datos reales como el precio actual de los autos, la existencia de infraestructura de carga en la ciudad o los kilómetros promedio de autonomía.

Por otra parte, en la medida que se le entregan antecedentes de la tecnología, los representantes destacan la posibilidad de instalar infraestructura de carga en los terminales de las líneas, considerando un sistema de cobro por kWh de carga para los choferes.

Respecto a las barreras que desde su perspectiva limitan la entrada de autos eléctricos, se destaca como principal elemento el monto inicial de inversión, considerando que incluso con el aporte del subsidio Renueva tu Colectivo, el costo del vehículo sería aproximado a los \$18.000.000, lo que financiado con un crédito de consumo se convierte en una inversión muy riesgosa desde su consideración.

Por otra parte, se destaca la poca cantidad de modelos existentes en el mercado nacional, mostrando reticencia por cambiar la marca a la que están acostumbrados y desconfianza por las marcas proveedoras de origen chino.

Finalmente, desde la perspectiva genérica de los entrevistados, mencionan que no es un buen momento para invertir en vehículos más costosos, dada la contingencia del último año y las restricciones de movilidad impuestas, lo que ha reducido fuertemente los ingresos de los trabajadores, siendo muchos de ellos personas de tercera edad que no han salido a trabajar por temor al contagio. Además, señalan que mientras no se regulen las “plataformas” (Uber u otros) los propietarios no accederán a invertir en autos más costosos que les representen mayor riesgo en un contexto más competitivo.

## Capítulo 5: Modelo de simulación de taxis colectivos eléctricos

Como se menciona anteriormente, el servicio de taxis colectivos corresponde a un medio de transporte que solo se encuentra presente en algunos países latinoamericanos y en particular en Chile, existiendo poca experiencia en cuanto a su proceso de electrificación y los requerimientos básicos que este necesita para ser factible en el despliegue de flotas totalmente eléctricas en un entorno urbano de circulación.

En cuanto a su comportamiento, este servicio actúa como un híbrido entre la operación del servicio de transporte público mayor, respecto a sus trazados establecidos y frecuencias en principio determinadas y la operación del servicio de taxis básicos desde su cercanía con el tipo de vehículos livianos y las limitantes que estos presentan.

En este contexto, los estudios establecidos para determinar la factibilidad de electrificación de servicios de transporte público mayor o taxis básicos son más abundantes en la bibliografía internacional.

Desde la perspectiva de buses eléctricos, De Filippo et al. [36] simula la operación de buses eléctricos sobre seis líneas de servicio en el campus de la Universidad Estatal de Ohio. En este estudio, se destaca que la frecuencia de operación puede disminuir si se electrifican las flotas de buses actuales, sin embargo, se menciona que el desarrollo de nueva infraestructura de carga o aumento de la flota actual de buses puede permitir replicar la frecuencia de servicio habitual.

Por otra parte, Rogge et al [35] estudia la electrificación de una red completa de buses por medio de infraestructura de carga rápida, concluyendo que es posible mantener la operación actual siempre y cuando se genere la correcta relación entre capacidad de la batería de los vehículos y sistemas de carga disponibles.

Para el caso de taxi básicos, Hu et al [34], estudian la factibilidad de electrificar el servicio de taxis en la ciudad de New York por medio de datos reales de circulación de 14.144 taxis a lo largo de un año de operación. En el estudio, los autores calculan la factibilidad de electrificación de un taxi como el porcentaje de viajes con clientes que pueden ser completados por un taxi eléctrico sobre todos los viajes ocupados registrados durante el año. Se concluye que para vehículos de 200 y 300 millas de autonomía (entre 300 a 500 km) solo el 7 por ciento de los taxis son electrificables en base a la infraestructura de carga disponible actualmente en la ciudad.

En el presente capítulo, se plantea un modelo de simulación basado en reglas lógicas establecidas, con el objetivo de determinar el porcentaje de falla del sistema electrificado bajo distintos escenarios de disponibilidad de carga y capacidad de almacenamiento de los vehículos, generando así un primer acercamiento hacia el proceso de electrificación del servicio de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia.

## 5.1 Principales supuestos del modelo

A continuación, se presentan los principales supuestos establecidos para modelar el servicio de taxis colectivos eléctricos en la ciudad de Valdivia en base a los antecedentes recopilados anteriormente, la caracterización del servicio y la disponibilidad de datos operacionales.

- **Operación estandarizada en base a lo establecido por normativa**

En primer lugar, se asume que los taxis colectivos realizarán el recorrido completo de inicio a fin según lo definido en el trazado autorizado de cada una de las líneas de servicio como se establece en el Art. 21° del Decreto supremo 212 [12].

Por otra parte, se considera una frecuencia de circulación [Veh/hora] que cumpla con las condiciones mínimas exigidas por regulación (Art. 12°, Decreto 212) [12]. Para el caso de la ciudad de Valdivia, una frecuencia mínima de 3 vehículos/hora durante la hora punta (7:30 – 10:00 y 17:00 – 21:00) y una frecuencia máxima del 80% de la frecuencia punta durante el horario fuera punta (10:00 – 17:00).

Finalmente, dada la ausencia de información sobre la frecuencia ofrecida por cada línea, se determina una frecuencia máxima de operación en base al largo del recorrido y la flota de cada una de las líneas. Para esto, se utilizan las ecuaciones (5.1) y (5.2) entregadas por el Ministerio de Transporte para el cálculo de la flota mínima de servicio (Art. 42°, Decreto 212) [12].

$$F_t = \frac{L * F_r}{V} \quad (5.1)$$

$$F = F_t * 1.1 \quad (5.2)$$

Donde:

$L$  = Longitud del recorrido [km]

$F_r$  = Frecuencia ofrecida en [veh/h]

$V$  = Velocidad comercial. Se considera un valor de 20 [km/h]

$F_t$  = Flota mínima para cumplir la frecuencia del servicio [veh]

$F$  = Flota necesaria del servicio [veh]

Para efectos del modelo, se calcula la frecuencia máxima de operación dada la flota y largo del recorrido según la ecuación (5.3) presentada a continuación.

$$F_r = \frac{F * V}{L * 1.1} \quad (5.3)$$

Desde esta lógica, el modelo representa la operación del servicio en un contexto de alta demanda por línea, identificando los requerimientos mínimos que deben presentarse para cumplir con dicha exigencia.

- **Disponibilidad de carga nocturna en domicilio**

Desde la experiencia observada en implementación de proyectos piloto de taxis colectivos eléctricos, se asumirá que cada conductor dispone de las condiciones necesarias para realizar una carga nocturna en sus domicilios, es decir, un estacionamiento y cargador domiciliario disponible y funcional. En este sentido, se considera un cargador tipo wallbox de 7 kW de potencia para todos los conductores.

En base a esto, se asume que todos los taxis colectivos eléctricos inician la jornada con carga completa y por tanto el plazo de evaluación del modelo será de una jornada completa 7:30 – 21:00, según los horarios punta y fuera punta establecidos por el Decreto 212 [12].

- **Se mantienen las características actuales de la flota**

Se asume que las líneas de servicio no variarán su operación actual al ser electrificadas en cuanto al tamaño de sus flotas y los trazados establecidos, simulando entonces una operación similar a la realizable con vehículos convencionales.

## **5.2 Datos disponibles**

Como se menciona anteriormente, la disponibilidad de datos de operación del servicio de taxis colectivos en la ciudad de Valdivia es escasa y de baja fiabilidad, es por esto, que se decide utilizar datos levantados durante la caracterización del servicio complementado con los supuestos establecidos para el modelamiento. A continuación, se presentan los datos que serán utilizados en el modelo de simulación propuesto.

Tabla 5.1: Características de las líneas de servicio

<b>Línea de servicio</b>	<b>Cantidad de taxis colectivos</b>	<b>Identificación del recorrido</b>	<b>Distancia total [km]</b>
1	49	1 troncal	29,7
7	13	7 troncal	11,8
10	69	10 troncal	26,5
12	55	12 troncal	17,8
15	48	15 troncal	21
20	52	20 troncal	14
21	24	21 troncal	16,6
45	102	45 troncal	12,3
50	94	50 troncal	31
55	58	55 troncal	18
110	53	110 troncal	17,8
115	50	115 troncal	16,4
145	39	145 troncal	12,2
150	77	150 troncal	21
450	18	450 troncal	15,7
1010	44	1010 troncal	30,4

Fuente: Elaboración propia con datos del Seremi de Transporte de Regional

Además, se consideran las velocidades promedio de circulación vehicular observadas en la última encuesta origen destino realizada en la ciudad (SECTRA, 2014) [13].

Tabla 5.2: Velocidades promedio de circulación en la ciudad

<b>Horario</b>	<b>Velocidad de circulación</b>
Punta mañana (7:30 – 10:00)	23 km/h
Fuera punta (10:00 – 17:00)	26 km/h
Punta tarde (17:00 – 21:00)	20 km/h

Fuente: Elaboración propia [13]

Por otra parte, en base a los modelos eléctricos autorizados para operar como taxis colectivos presentada en la tabla 3.2 y la experiencia observada en [34, 37] se decide considerar un auto eléctrico tipo con rendimiento promedio de 5,4 km/kWh y una capacidad de almacenamiento que fluctúa entre los 30 kWh a los 60 kWh.

Además, con el objetivo de reflejar una posible disminución del rendimiento del vehículo en meses de invierno con menor temperatura y mayor requerimiento energético por uso de calefacción, el rendimiento del vehículo será penalizado en un 25% [38, 39], estimando un rendimiento promedio de 4,1 km/kWh en estos casos.

La tabla 5.3 muestra las 8 posibles configuraciones del vehículo eléctrico considerado, las cuales serán evaluadas para identificar como opera cada una de estas en el modelo propuesto.

Tabla 5.3: Configuraciones del vehículo eléctrico considerado

Capacidad de almacenamiento	Rendimiento Promedio	
	5,4 km/kWh (verano)	4,1 km/kWh (invierno)
30 kWh	5,4 km/kWh / 30kWh	4,1 km/kWh / 30kWh
40 kWh	5,4 km/kWh / 40kWh	4,1 km/kWh / 40kWh
50 kWh	5,4 km/kWh / 50kWh	4,1 km/kWh / 50kWh
60 kWh	5,4 km/kWh / 60kWh	4,1 km/kWh / 60kWh

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en base a la caracterización de infraestructura de carga propuesta anteriormente, la tabla 5.4 sintetiza las potencias de carga de la infraestructura de carga considerada.

Tabla 5.4: Potencias de carga de la infraestructura evaluada

Tipo de carga	Potencia de carga
Carga lenta (domiciliaria)	7 kW
Carga semi rápida	22 kW
Carga rápida (DC)	45 kW

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Modelo de simulación

Como se observa en la figura 5.1, el modelo de simulación propuesto recibe como datos de entrada las características del vehículo eléctrico considerado, rendimiento y capacidad de almacenamiento, las características de la infraestructura de carga disponible, tipo y potencia de carga y la cantidad de cargadores disponibles en el sistema; entregando como resultado, el cálculo del porcentaje de falla de cada línea de servicio y del sistema completo de taxis colectivos eléctricos en función de alguno de los siguientes escenarios de evaluación:

- 1.- Sin disponibilidad de carga durante la jornada
- 2.- Con disponibilidad de carga domiciliaria durante la jornada
- 3.- Con disponibilidad de carga en terminales y domicilio
- 4.- Con disponibilidad de carga pública y domicilio

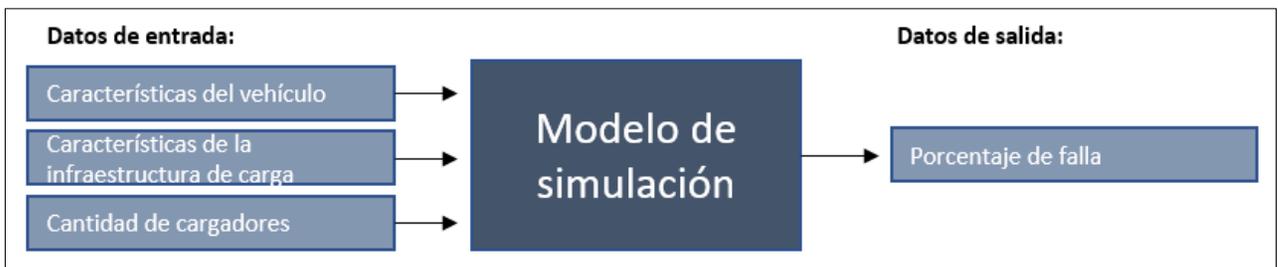


Figura 5.1: Datos de entrada y salida del modelo

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5.2 se presenta el modelo genérico de simulación, el cual varía en función de los escenarios de evaluación propuestos anteriormente para representar la disponibilidad de infraestructura de carga correspondiente a cada caso.

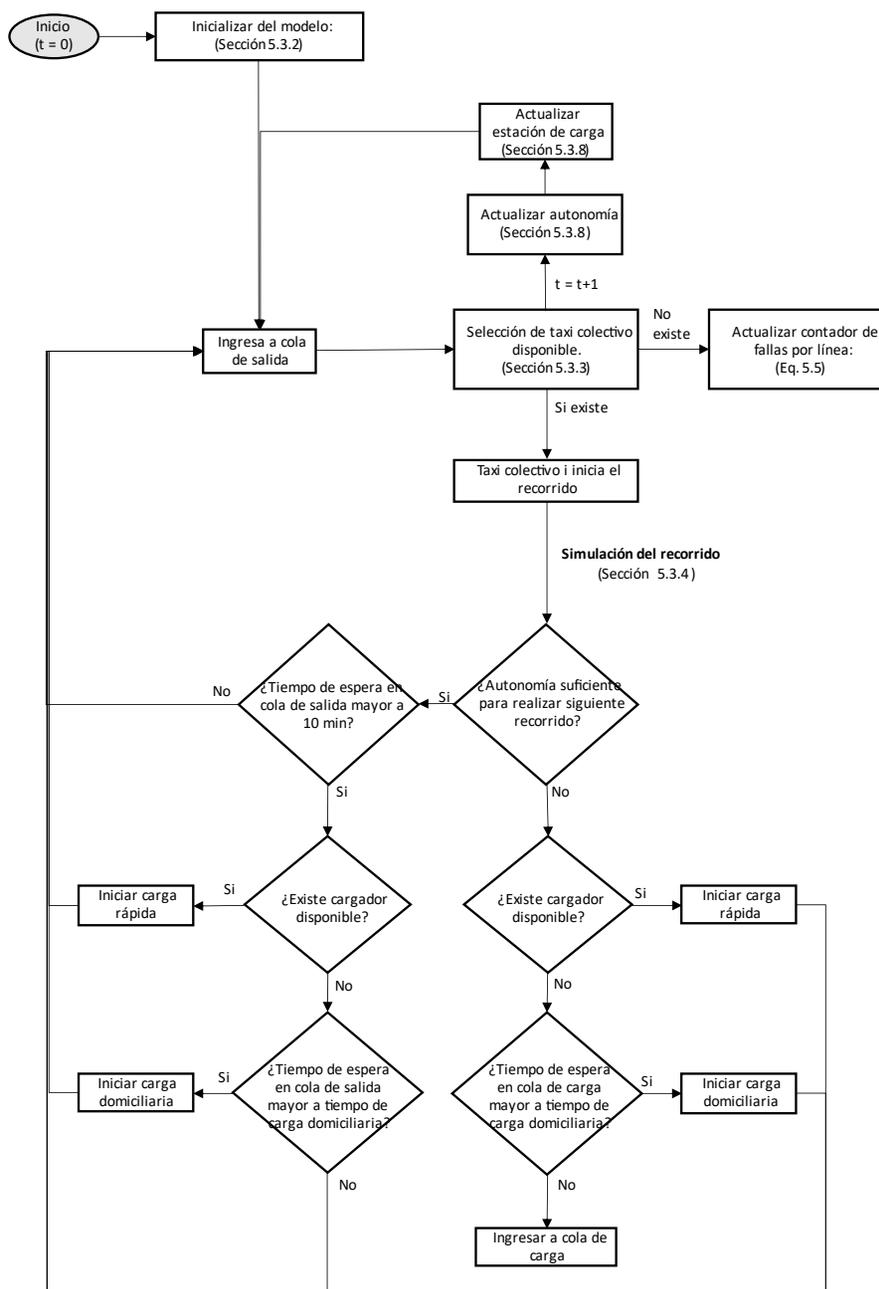


Figura 5.2: Diagrama genérico del modelo de simulación  
Fuente: Elaboración propia

### 5.3.1 Variables y parámetros del modelo

En base a lo plantado en los supuestos y la ecuación 5.3 se calcula la frecuencia máxima de operación para cada línea de servicio  $j$  y cada instante  $t$  representada en vehículos por minuto  $f_{j,t}$  [Veh/min], los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.5.

Tabla 5.5: Frecuencias máximas de operación por cada línea de servicio

Línea de servicio	Frecuencia máxima de circulación [Veh/min]		
	Hora punta mañana (7:30 – 10:00)	Hora fuera punta (10:00 – 17:00)	Hora punta tarde (17:00 – 21:00)
1	0.50	0.40	0.50
7	0.33	0.27	0.33
10	0.79	0.63	0.79
12	0.94	0.75	0.94
15	0.69	0.55	0.69
20	1.13	0.90	1.13
21	0.44	0.335	0.44
45	2.51	2.01	2.51
50	0.92	0.74	0.92
55	0.98	0.78	0.98
110	0.90	0.72	0.90
115	0.92	0.74	0.92
145	0.97	0.77	0.97
150	1.11	0.89	1.11
450	0.35	0.28	0.35
1010	0.44	0.35	0.44

Fuente: Elaboración propia

En base a esta frecuencia calculada se determina una tabla de tiempos  $Salidas_{j,t}$  que entrega la cantidad de taxis colectivos que inician su recorrido por cada línea de servicio  $j$  y cada instante  $t$  de simulación, considerando una operación con intervalos homogéneos de circulación entre un vehículo y otro de la misma línea.

$Salidas_{j,t} =$  Cantidad de taxis colectivos que inician el recorrido

Por otra parte, el consumo energético del vehículo eléctrico se calcula en base al rendimiento promedio  $r$  y la distancia recorrida [34, 33], según la siguiente ecuación.

$$E = \frac{d}{r} \quad (5.4)$$

Donde:

$E$  = Energía consumida [kWh]

$r_t$  = Rendimiento del vehículo estimado en instante  $t$  [km/kWh]

$d$  = Distancia recorrida [km]

Además, dado que el servicio de taxis colectivos no responde a una lógica de optimización de su operación como sistema, se trabaja con las variables  $Cola\_de\_salidas_j$  y  $Cola\_de\_carga_j$  que se actualizan en base al orden de llegada de los vehículos.

Por otra parte, se definen las variables  $SOC_{i,t}$  la cual registra la autonomía restante de cada vehículo  $i$  en el instante  $t$ , que fluctúa entre los rangos 20% ( $SOC_{min}$ ) y 90% ( $SOC_{max}$ ) de la capacidad de almacenamiento ingresada, a modo de evitar la degradación acelerada de la batería [35]. La variable  $Estacion\_carga_{j,t}$  que registra la cantidad de cargadores rápidos disponibles por línea  $j$  para cada instante  $t$  de simulación y la matriz  $Estados_{i,t}$  que representa el estado de cada vehículo  $i$  en el instante  $t$  pudiendo tomar los valores {0 = En cola de salida; 1 = En recorrido; 2 = En carga rápida; 3 = En cola de carga; 4 = En traslado a domicilio; 5 = En carga domiciliaria}.

Finalmente, se define la variable  $Fallas_j = 0$  que contabiliza la cantidad de salidas no efectuadas debido a la no disponibilidad de un taxi eléctrico con autonomía suficiente para efectuar el recorrido, generándose así una falla en la línea  $j$ .

A modo de síntesis la tabla 5.6 presenta los parámetros y variables del modelo.

Tabla 5.6: Variables y parámetros utilizados en el modelo

$f_{j,t}$	Frecuencia máxima de operación [Veh/min]
$Salidas_{j,t}$	Tabla de tiempos de la línea $j$
$r_t$	Rendimiento del vehículo eléctrico en instante $t$ [km/kWh]
$V_t$	Velocidad promedio en instante $t$ [km/h]
$SOC_{min}$	Autonomía mínima que puede alcanzar el vehículo [kWh]
$SOC_{max}$	Autonomía máxima que puede alcanzar el vehículo [kWh]
$Cola\_de\_salidas_j$	Cola de salida de taxis colectivos por línea $j$
$Cola\_de\_carga_j$	Cola de carga en estación de carga $j$
$SOC_{i,t}$	Autonomía restante del vehículo $i$ en instante $t$ [kWh]
$Estacion\_carga_{j,t}$	Cantidad de cargadores disponibles en estación de carga $j$ en instante $t$
$Estados_{i,t}$	Matriz de estado del vehículo $i$ en instante $j$
$Fallas_j$	Registro de fallas ocurridas en la línea $j$

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Inicialización del modelo

El modelo se inicializa actualizando las variables definidas anteriormente de la siguiente forma

- $Estados_{i,t=0} = 0 ; \forall i$
- $SOC_{i,t=0} = SOC_{max} ; \forall i$
- $Estacion\_carga_{j,t=0} = Cantidad\ de\ cargadores\ ingresados ; \forall j$
- $Cola\_de\_salidas_j = Se\ genera\ cola\ de\ vehículos\ i\ pertenecientes\ a\ la\ línea ; \forall j$
- $Cola\_de\_carga_j = Se\ inicia\ vacia ; \forall j$
- $Fallas_j = 0 ; \forall j$

### 5.3.3 Selección de taxi colectivo disponible

Una vez inicializadas las variables del modelo, se realiza una iteración para cada línea de servicio  $j$ , seleccionando el número de salidas  $Salidas_{jt}$  de taxi colectivo desde la  $Cola\_de\_salidas_j$  correspondiente, se actualiza el estado del vehículo y se inicia la simulación de su recorrido.

En caso de no existir taxis colectivos en la cola de salida correspondiente, se generará una falla en el sistema, que será contabilizada por el contador  $Fallas_j$  según la fórmula 5.5.

$$Fallas_j = Fallas_j + 1 \quad (5.5)$$

### 5.3.4 Simulación del recorrido

El vehículo seleccionado ingresa a la simulación del recorrido, en la cual, el taxi colectivo circula hasta completar la distancia total del trazado correspondiente de su línea de servicio con velocidad  $V_t$  y rendimiento  $r_t$  actualizando la autonomía restante del vehículo por cada minuto  $t$  de simulación según la ecuación 5.6.

$$SOC_{i,t} = SOC_{i,t-1} - \frac{V_t}{60*r_t} \quad (5.6)$$

### 5.3.5 Carga domiciliaria

La carga domiciliaria considera el proceso de traslado y carga en domicilio de los taxis colectivos, bajo el supuesto de que todos disponen de un cargador de 7 kW ( $P_{domicilio}$ ) de potencia instalada, como se mencionó anteriormente.

Esta carga considera un tiempo de traslado hacia el domicilio del conductor estimado en 10 min ( $t_{\text{traslado}}$ ) y un tiempo mínimo de carga de 60 min ( $t_{\text{mincarga}}$ ) entendiendo que corresponden a cargas lentas que ocurren durante momentos de pausa de la jornada de trabajo frecuentemente destinadas a alimentación.

Por tanto, la carga del vehículo en el domicilio considera dos etapas de traslado, al inicio y final de la carga donde se generará una disminución de la autonomía según la ecuación (5.6) y un proceso de carga de al menos 60 min según la ecuación (5.7).

$$SOC_{it} = \text{Min} \left\{ SOC_{max}; SOC_{it-1} + \frac{P_{domicilio}}{60} \right\} \quad (5.7)$$

### 5.3.6 Carga rápida

El proceso de carga rápida corresponde a la carga realizada en el terminal de la línea o electrolinera según el escenario de evaluación, esta representa una carga rápida a 45 kW o semi rápida a 22kW según los valores ingresados en el modelo.

Esta carga responde a la ecuación (5.7) reemplazando el valor  $P_{domicilio}$  por la potencia de carga correspondiente. Además, se considera que la carga rápida solo se detendrá en caso de alcanzar  $SOC_{max}$  o en caso de no existir vehículos en cola de salida.

### 5.3.7 Proceso de toma de decisión

Al concluir su recorrido, el conductor evalúa dos posibles escenarios de carga. En primer lugar, una carga de emergencia, que ocurre cuando la autonomía restante del vehículo no es suficiente para realizar el siguiente recorrido, o una carga de espera que ocurre cuando el tiempo de espera estimado en cola de salida es mayor a 10 min.

$$Tipo_{carga} = \begin{cases} \text{if } SOC_{it} \geq SOC_{min} + \frac{D_{recorrido_j}}{r} \rightarrow \text{Carga de emergencia} \\ \text{if } \text{largo cola\_de\_salida}_j * \frac{1}{f_{jt}} > 10 \rightarrow \text{Carga de espera} \end{cases} \quad (5.8)$$

En base al tipo de carga seleccionado, se prosigue el proceso de toma de decisión, evaluando las distintas alternativas de carga. Por norma general, se considera que los conductores preferirán cargas rápidas por sobre la carga lenta domiciliaria [34].

### 5.3.8 Actualizar autonomía y estación de carga

La función actualizar autonomía, actualiza la autonomía de los vehículos detenidos en cola de salida ( $Estados_{it} = 0$ ) o cola de carga ( $Estados_{it} = 3$ ) manteniendo el valor del periodo anterior dado que no han tenido consumo energético durante la espera

Por su parte, la función actualizar estación de carga, finaliza el proceso de carga rápida según las condiciones explicadas anteriormente e inicia proceso de carga para los vehículos en cola de carga.

### 5.3.9 Cálculo del porcentaje de falla

Finalmente, al concluir el periodo de evaluación de 810 minutos, se determina el porcentaje de falla por línea de servicio y el porcentaje de falla del sistema según las ecuaciones 5.9 y 5.10 respectivamente. Se considerará como condición para factibilidad un porcentaje de falla menor al 1% [34].

$$Porcentaje\_fallas_j = \frac{Fallas_j}{\sum_t Sjt} \quad (5.9)$$

$$Porcentaje\_fallas\_sistema = \frac{\sum_j Fallas_j}{\sum_j \sum_t Sjt} \quad (5.10)$$

## 5.4 Escenarios de evaluación

A continuación, se presentan los distintos escenarios de evaluación considerados según la disponibilidad de carga durante la jornada de trabajo simulada. Cada escenario se evalúa para los ocho tipos de vehículos considerados y las dos potencias de carga señaladas, en caso de existir carga rápida.

### 5.4.1 Caso base – Sin disponibilidad de carga durante el día

El caso base de evaluación corresponde a la operación del sistema sin disponibilidad de carga de ningún tipo durante la jornada de trabajo evaluada (7:30 – 21:00). En este escenario, se desea evaluar el porcentaje de falla de cada una de las líneas de servicio por separado, identificando si alguna de estas es factible sin acceso a carga durante la jornada de trabajo.

### 5.4.2 Disponibilidad de carga domiciliaria

El segundo caso de evaluación, corresponde a la simulación considerando únicamente la disponibilidad de carga domiciliaria. Como se mencionó anteriormente, esta carga se realiza a una potencia de 7kW y tiene asociada tiempos de traslado y tiempos mínimos de carga.

### **5.4.3 Disponibilidad de carga en terminales y domicilios**

Para el tercer escenario de evaluación, se considera la existencia de carga rápida en los terminales de cada una de las líneas de servicio, en este modelo se pretende determinar la cantidad mínima de cargadores a instalar en cada terminal con tal de alcanzar la factibilidad del servicio por línea. En este escenario, se considera tanto la carga en terminal como la carga domiciliaria, priorizando la primera según el esquema presentado en la figura 5.2.

El cálculo de la cantidad mínima de cargadores, se realiza por medio de la iteración del modelo sobre el número de cargadores rápidos de cada línea. Para esto, se mantienen fijas las características del vehículo y potencia de carga rápida considerada y se aumenta la cantidad de cargadores disponible por línea hasta cumplir con la condición de factibilidad impuesta para cada una de estas.

### **5.4.4 Disponibilidad de carga pública y domiciliaria**

Finalmente, se simula de manera simplificada la disponibilidad de infraestructura de carga pública en el modelo. En este escenario, dado que todas las líneas de servicio pasan por el centro de la ciudad durante su recorrido, se considera una infraestructura de carga común entre las líneas localizada en esta zona de la ciudad. A modo de simplificación, se asume que todos los cargadores se encuentran disponibles de manera simultánea sin incurrir en tiempos de traslado entre estos ni tiempos destinados a la búsqueda de un cargador disponible.

Dado este supuesto, las variables *Estacion\_carga<sub>t</sub>* y *Cola\_de\_carga* serán comunes entre todas las líneas de servicio generándose interacciones entre los tiempos de espera disponibles de cada línea y sus requerimientos de carga durante la evaluación. En este escenario, se considera tanto carga pública como carga domiciliaria, priorizando el uso de la primera según el esquema presentado en la figura 5.2.

Como resultado de este caso, se desea determinar la cantidad mínima de cargadores a instalar para que el sistema en su totalidad sea factible por medio del mismo proceso iterativo mencionado en la sección 5.4.3.

## **5.5 Resultados obtenidos**

En primer lugar, se evalúa el modelo de simulación propuesto para vehículos con una alta capacidad de almacenamiento y sin disponibilidad de carga durante la jornada, representando de esta forma la operación actual con taxis colectivos convencionales. Se observa, que todas las líneas de servicio presentan un porcentaje de falla de 0% y una distancia promedio recorrida por auto que fluctúa entre los 208 y 249 km, con un promedio de 221 km similar a las condiciones entregadas por los conductores entrevistados.

### 5.5.1 Caso base – Sin disponibilidad de carga durante el día

Como resultado del caso base, sin disponibilidad de carga durante la jornada de trabajo, se observa que, para días de alta frecuencia de servicio los modelos de vehículos eléctricos evaluados no logran satisfacer la demanda existente sin el apoyo de infraestructura de carga de respaldo que permita extender la autonomía de los autos.

En particular, el sistema presenta un porcentaje de falla que fluctúa entre el 69,8% para la configuración 4,1 km/kWh – 30 kWh y 13,5% para la configuración 5,4 km/kWh - 60 kWh el detalle de los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.7.

Tabla 5.7: Porcentajes de falla del sistema según configuración de tecnologías

Capacidad de almacenamiento	Rendimiento	Porcentaje de falla del sistema
30 kWh	5,4 km/kWh	59,2%
30 kWh	4,1 km/kWh	69,8%
40 kWh	5,4 km/kWh	43,0%
40 kWh	4,1 km/kWh	58,1%
50 kWh	5,4 km/kWh	28,5%
50 kWh	4,1 km/kWh	44,8%
60 kWh	5,4 km/kWh	13,5%
60 kWh	4,1 km/kWh	34,8%

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, al analizar el porcentaje de falla por línea de servicio, se observa que todas presentan comportamientos similares dadas las configuraciones de capacidad del vehículo y periodo de operación verano o invierno. Las figuras 5.3 y 5.4 representan el porcentaje de falla calculado por línea de servicio para la operación verano e invierno respectivamente.

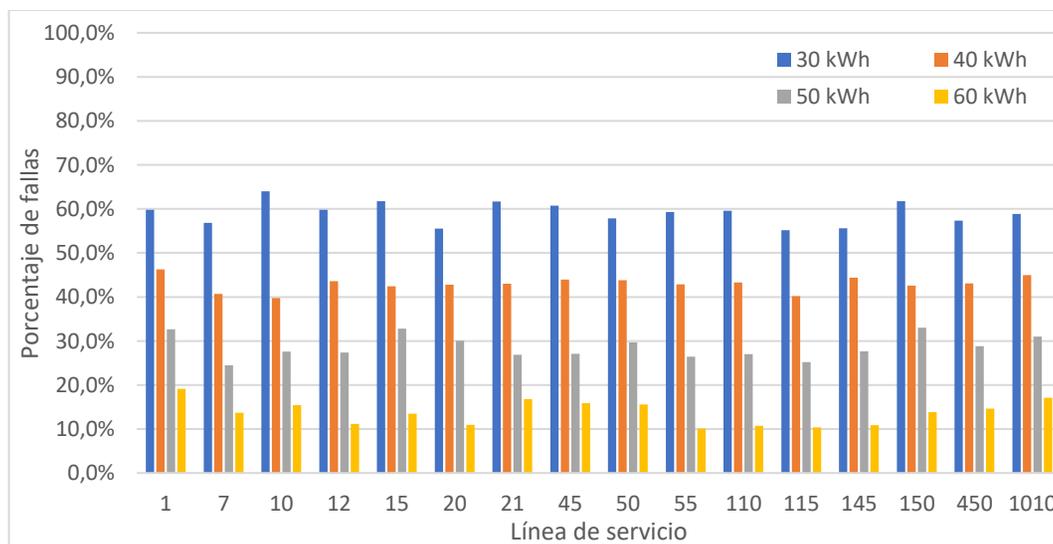


Figura 5.3: Porcentaje de falla por línea sin disponibilidad de carga, operación verano

Fuente: Elaboración propia

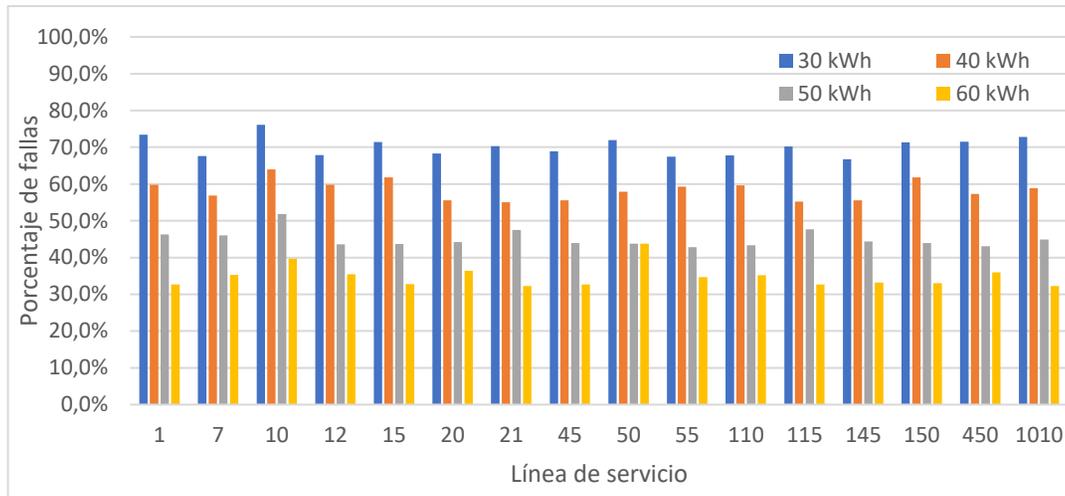


Figura 5.4: Porcentaje de falla por línea sin disponibilidad de carga, operación invierno  
Fuente: Elaboración propia

Para la configuración presentada como caso base ninguna línea de servicio se considera factible en base a los parámetros y supuestos definidos para esta simulación.

### 5.5.2 Disponibilidad de carga domiciliaria

Como resultado del segundo escenario de evaluación, donde se considera la disponibilidad de carga domiciliaria de 7 kW de potencia durante la jornada de trabajo del taxi colectivo, se puede observar una disminución en el porcentaje de falla para todas las configuraciones de auto eléctrico estudiadas, siendo más notorio en los vehículos eléctricos de menor capacidad de almacenamiento.

En términos de porcentaje de falla del sistema, no se logra alcanzar la factibilidad deseada para ninguna de las configuraciones de auto eléctrico evaluadas. Los nuevos valores alcanzados para el porcentaje de fallas calculado fluctúan entre el 33,2% para la configuración 4,1 km/kWh – 30 kWh y el 10,2% para la configuración 5,4 km/kWh - 60 kWh.

Tabla 5.8: Porcentajes de falla del sistema según configuración de tecnologías

Tipo de vehículo eléctrico	Tipo de operación	Porcentaje de falla del sistema
30 kWh	5,4 km/kWh	24,1%
30 kWh	4,1 km/kWh	33,2%
40 kWh	5,4 km/kWh	19,9%
40 kWh	4,1 km/kWh	28,1%
50 kWh	5,4 km/kWh	16,2%
50 kWh	4,1 km/kWh	23,1%
60 kWh	5,4 km/kWh	10,2%
60 kWh	4,1 km/kWh	18,7%

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, al evaluar por línea de servicio, ninguna logra superar la condición de factibilidad establecida. Sin embargo, se observan menores porcentajes de falla en las líneas 1, 10, 50 y 1010, las cuales presentan los recorridos más extensos del servicio y por tanto una menor frecuencia de salida.

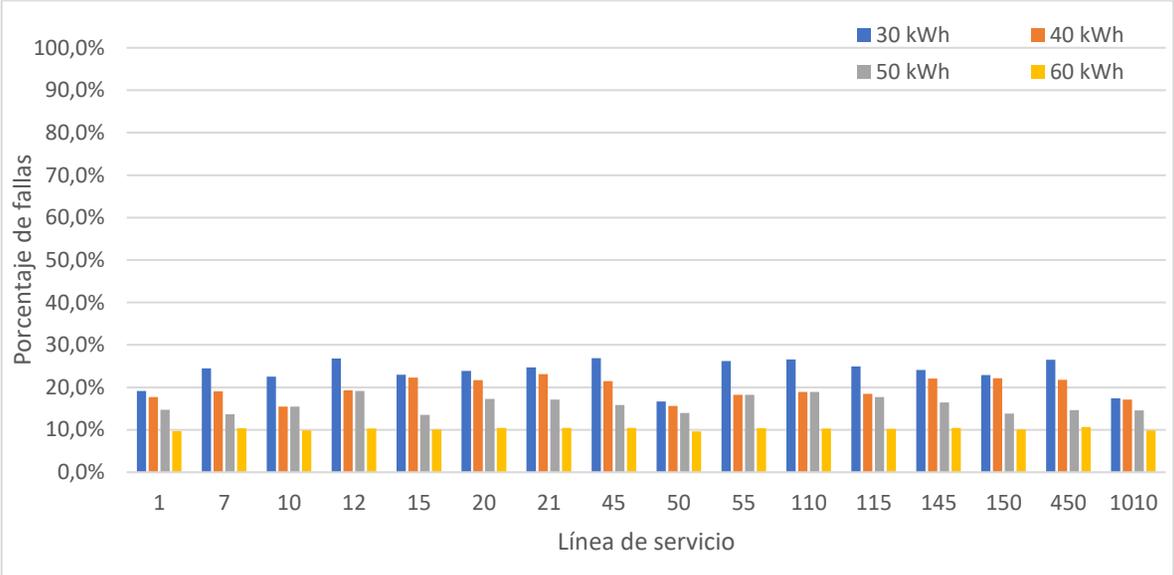


Figura 5.5: Porcentaje de falla por línea con carga domiciliaria, operación Verano  
Fuente: Elaboración propia

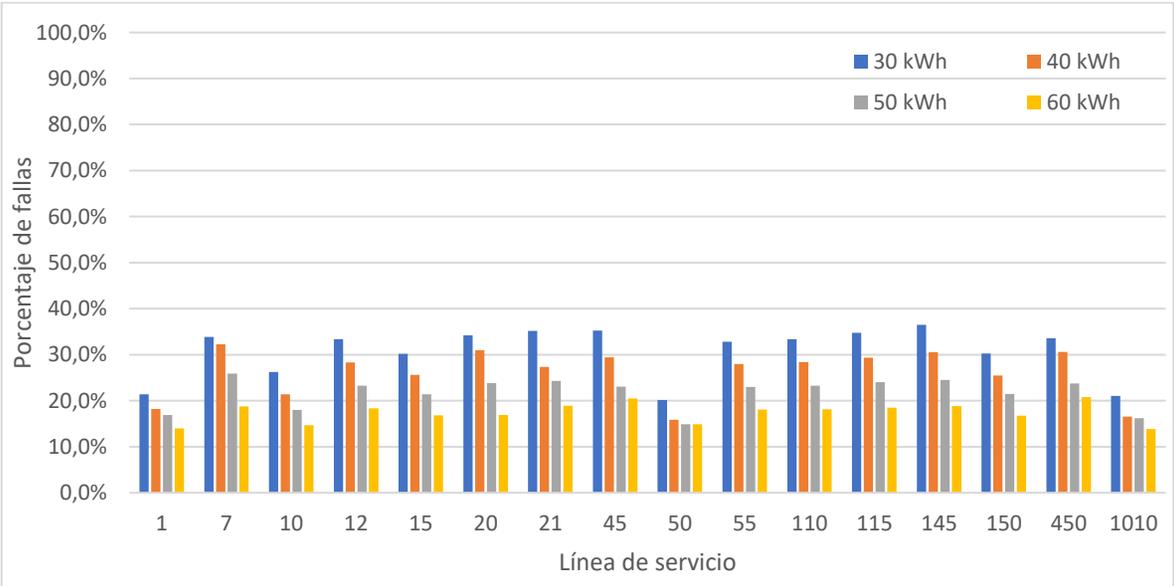


Figura 5.6: Porcentaje de falla por línea con carga domiciliaria, operación Invierno  
Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3 Disponibilidad de carga en terminales y domicilios

El tercer escenario de evaluación considera la disponibilidad de carga rápida en los terminales de cada línea de servicio, complementada con carga lenta domiciliaria en el hogar de cada uno de los conductores. El foco de este escenario se encuentra en identificar el requerimiento mínimo de cargadores en los terminales para que el servicio en su totalidad cumpla la condición de factibilidad impuesta.

Las figuras 5.7 y 5.8, muestran la cantidad mínima de cargadores a instalar por línea de servicio y autonomía de los vehículos, las imágenes corresponden a la operación invierno y verano respectivamente, con sus correspondientes fluctuaciones en rendimiento promedio considerado.

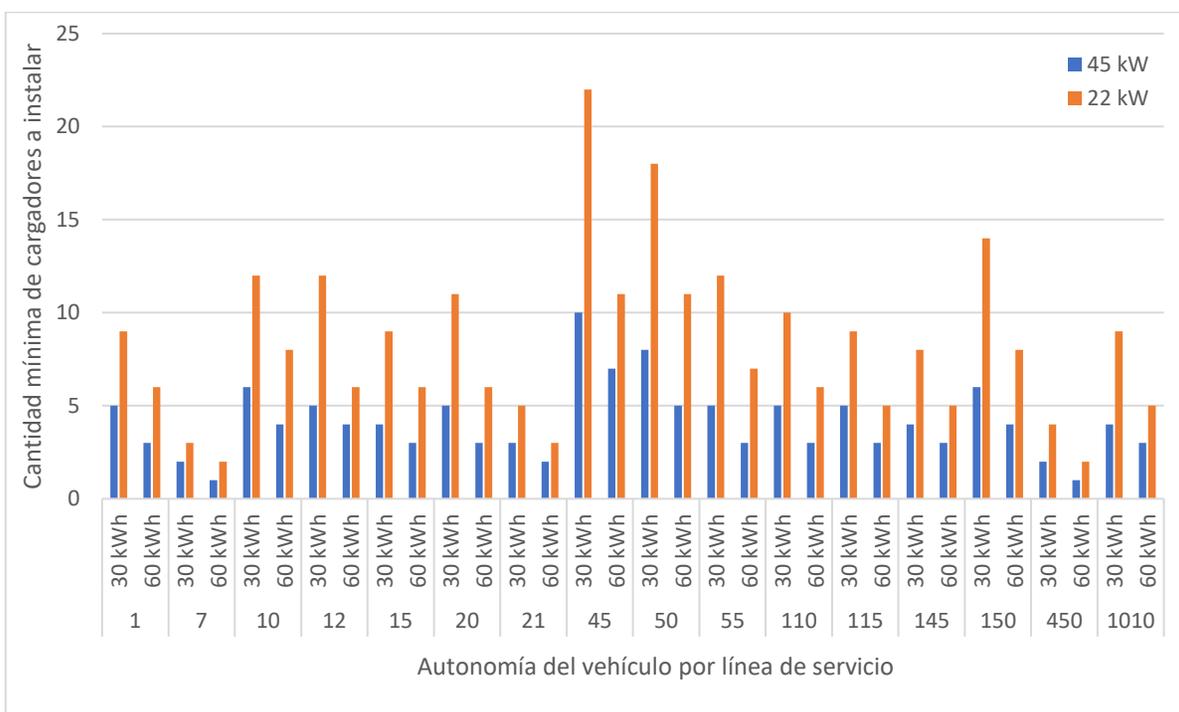


Figura 5.7: Requerimiento de infraestructura de carga, operación invierno  
Fuente: Elaboración propia

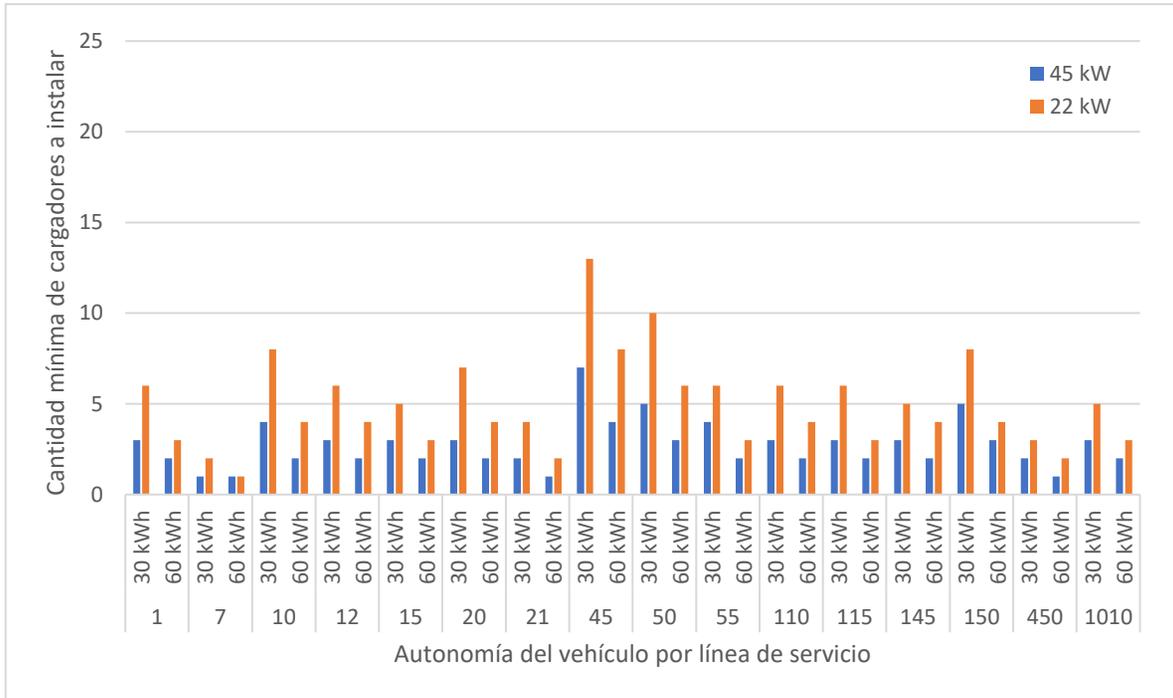


Figura 5.8: Requerimiento de infraestructura de carga, operación verano  
Fuente: Elaboración propia

Los resultados presentados entregan un rango estimado del requerimiento de carga que debiese ser instalado por línea de servicio para lograr la electrificación de su flota según los parámetros y condiciones establecidas.

Las tablas 5.9 y 5.10 presentan el detalle de los resultados obtenidos para la operación invierno y verano respectivamente. Como es de esperar, se observa una importante brecha en cuanto al requerimiento de cargadores de 22 kW de potencia, entre los modelos de menor y mayor autonomía, la cual es menos significativa para cargadores rápidos de 45 kW.

Tabla 5.9: Requerimiento de cargadores a instalar por línea de servicio, operación invierno

Línea	30 kWh		40 kWh		50 kWh		60 kWh	
	45kW	22kW	45kW	22kW	45kW	22kW	45kW	22kW
<b>1</b>	5	9	4	8	3	7	3	6
<b>7</b>	2	3	2	3	1	2	1	2
<b>10</b>	6	12	5	10	5	9	4	8
<b>12</b>	5	12	4	9	4	8	4	6
<b>15</b>	4	9	4	8	3	7	3	6
<b>20</b>	5	11	4	9	4	8	3	6
<b>21</b>	3	5	2	4	2	4	2	3
<b>45</b>	10	22	9	19	8	14	7	11
<b>50</b>	8	18	7	14	6	12	5	11
<b>55</b>	5	12	5	9	4	7	3	7
<b>110</b>	5	10	4	9	4	8	3	6
<b>115</b>	5	9	4	8	3	7	3	5
<b>145</b>	4	8	3	7	3	6	3	5
<b>150</b>	6	14	6	11	5	10	4	8
<b>450</b>	2	4	2	4	2	3	1	2
<b>1010</b>	4	9	4	7	3	7	3	5
<b>Total sistema</b>	79	167	69	139	60	119	52	97

Fuente:Elaboración propia

Tabla 5.10: Requerimiento de cargadores a instalar por línea de servicio, operación verano

Línea	30 kWh		40 kWh		50 kWh		60 kWh	
	45kW	22kW	45kW	22kW	45kW	22kW	45kW	22kW
1	3	6	3	5	2	4	2	3
7	1	2	1	2	1	2	1	1
10	4	8	3	6	3	5	2	4
12	3	6	3	6	3	4	2	4
15	3	5	3	5	2	4	2	3
20	3	7	3	5	2	5	2	4
21	2	4	2	3	2	3	1	2
45	7	13	6	11	5	10	4	8
50	5	10	5	8	4	7	3	6
55	4	6	3	6	2	4	2	3
110	3	6	3	5	2	4	2	4
115	3	6	3	5	3	4	2	3
145	3	5	2	4	2	4	2	4
150	5	8	4	7	3	6	3	4
450	2	3	1	2	1	2	1	2
1010	3	5	3	4	2	4	2	3
<b>Total sistema</b>	<b>54</b>	<b>100</b>	<b>48</b>	<b>84</b>	<b>39</b>	<b>72</b>	<b>33</b>	<b>58</b>

Fuente:Elaboración propia

Finalmente, se destacan las figuras 5.9 y 5.10, las cuales presentan la cantidad total de cargadores a instalar, para la operación invierno y verano respectivamente, que permiten la electrificación del servicio de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia en su totalidad.

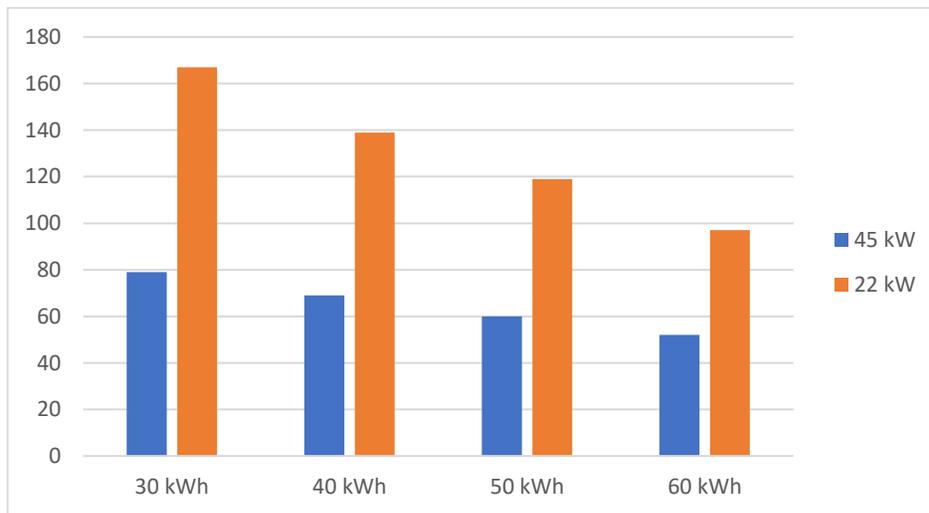


Figura 5.9: Cantidad mínima de cargadores a instalar en terminales, operación invierno

Fuente: Elaboración propia

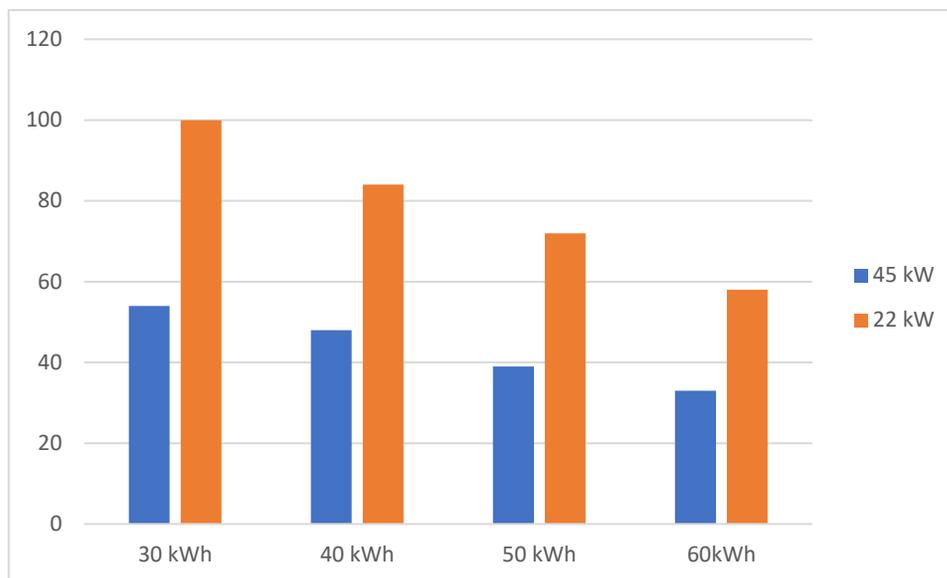


Figura 5.10: Cantidad mínima de cargadores a instalar en terminales, operación verano  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.5.4 Disponibilidad de carga pública y domiciliaria

El cuarto escenario de evaluación considera la disponibilidad de carga pública de alta potencia compartida entre todos los conductores, independiente de la línea de servicio, complementada con carga lenta domiciliaria en el hogar de cada conductor. De la misma forma que el escenario tres, se desea identificar la mínima cantidad de cargadores rápidos a instalar para cumplir la condición de factibilidad impuesta.

Las figuras 5.11 y 5.12 presentan la cantidad mínima de cargadores a instalar por potencia de carga y capacidad de los vehículos para la electrificación del sistema completo, operación invierno y verano respectivamente.

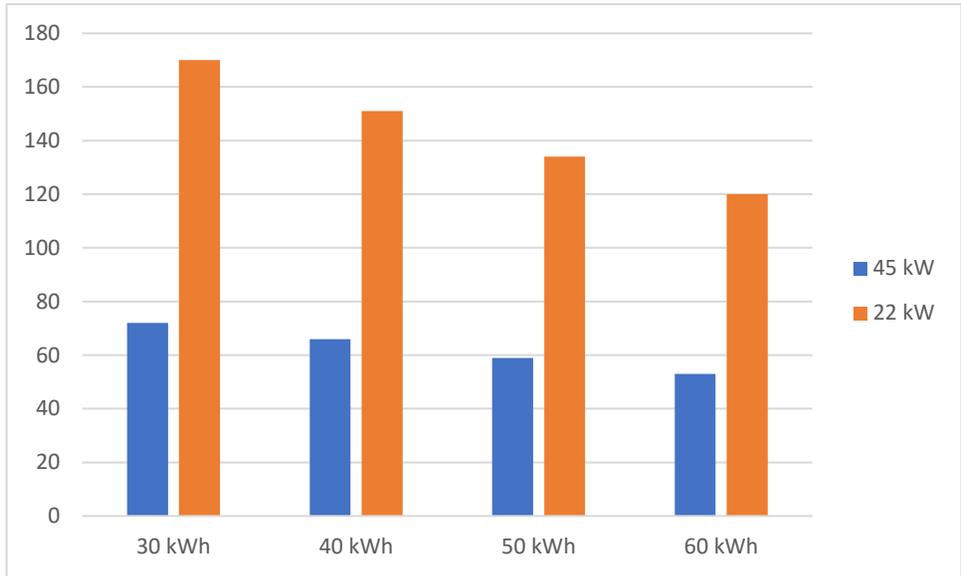


Figura 5.11: Cantidad mínima de cargadores públicos a instalar, operación invierno  
Fuente: Elaboración propia

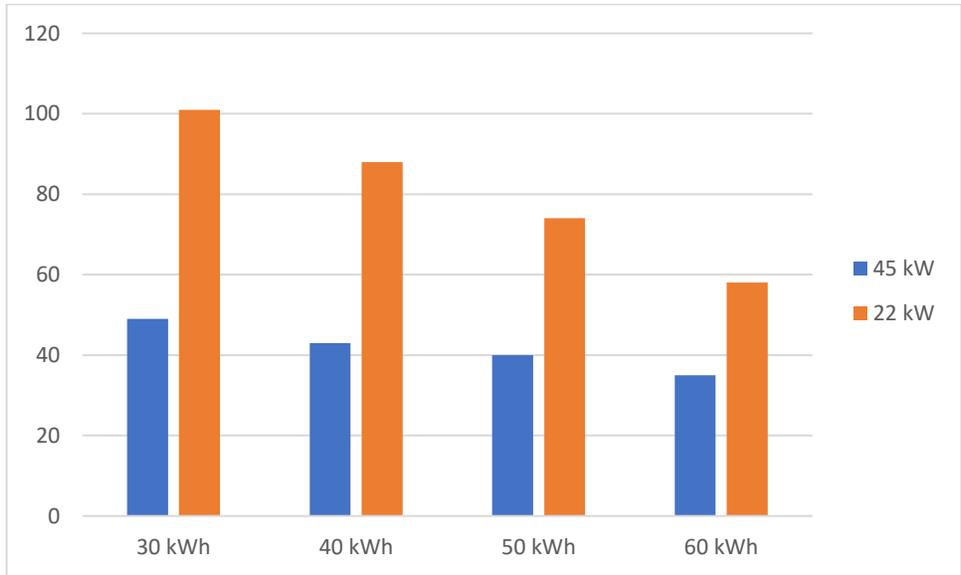


Figura 5.12: Cantidad mínima de cargadores públicos a instalar, operación verano  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se evalúa el requerimiento de carga del servicio completo para una entrada progresiva de taxis colectivos eléctricos, para esto, se realiza una asignación inicial de los vehículos en base a la tasa de penetración de electromovilidad, distinguiendo entre autos eléctricos y convencionales. En función de esto, el taxi colectivo eléctrico opera haciendo uso de la carga pública disponible y carga domiciliaria, mientras que, el colectivo convencional se le asigna una autonomía elevada que no requiera carga durante la simulación y se inhabilita su uso de la infraestructura de carga disponible pasando directamente a cola de salida una vez concluido el recorrido.

En base a esto, se itera sobre las capacidades de almacenamiento y potencia de carga según el porcentaje de penetración de taxis eléctricos que va de 1% a 100%, calculando para cada caso el requerimiento mínimo de cargadores a instalar para cumplir con la condición de factibilidad.

Las figuras 5.13 y 5.14 representan los resultados obtenidos para cada composición estudiada. Se destaca como resultado de interés en ambos casos, que, dado el estado actual de desarrollo de infraestructura de carga pública en la ciudad, 2 cargadores de 22 kW, es posible electrificar un 17% de la flota total que opera en Valdivia sin necesidad de expandir esta infraestructura. Es decir, el sistema es capaz de cumplir la demanda exigida con un 17% de la flota eléctrica, dos cargadores públicos de 22 kW y cargas lentas domiciliaria en los hogares de los conductores.

Por otra parte, se observa un crecimiento acelerado en las configuraciones evaluadas con cargadores de 22 kW, identificando que a medida que la tasa de penetración de electromovilidad aumenta el requerimiento de carga aumenta de forma más acelerada para este caso, en contraste con las simulaciones realizadas con carga de 45 kW.

Finalmente, como es de esperar, la configuración que presenta el menor requerimiento de carga a lo largo de todo el proceso de entrada de autos eléctricos corresponde a vehículos de alta capacidad de almacenamiento 60 kWh e infraestructura de carga rápida, tanto para la operación en verano como en invierno.

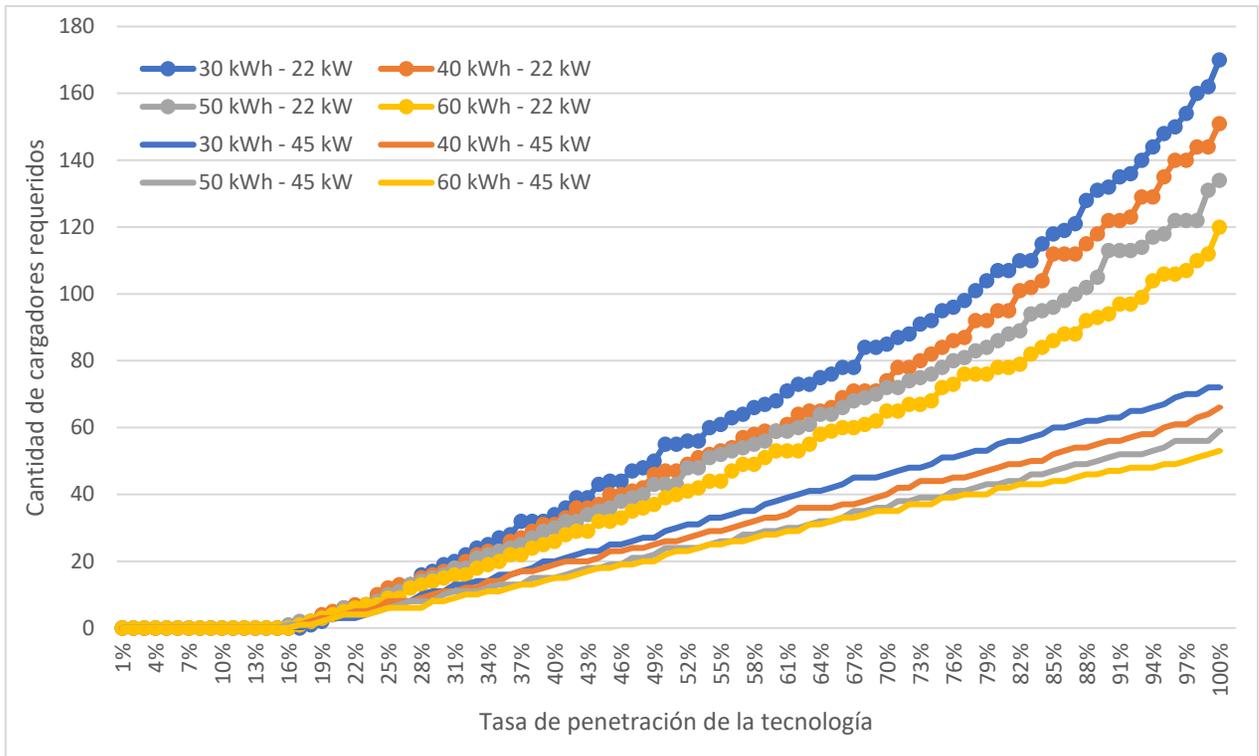


Figura 5.13: Requerimiento de infraestructura de carga, operación invierno  
 Fuente: Elaboración propia

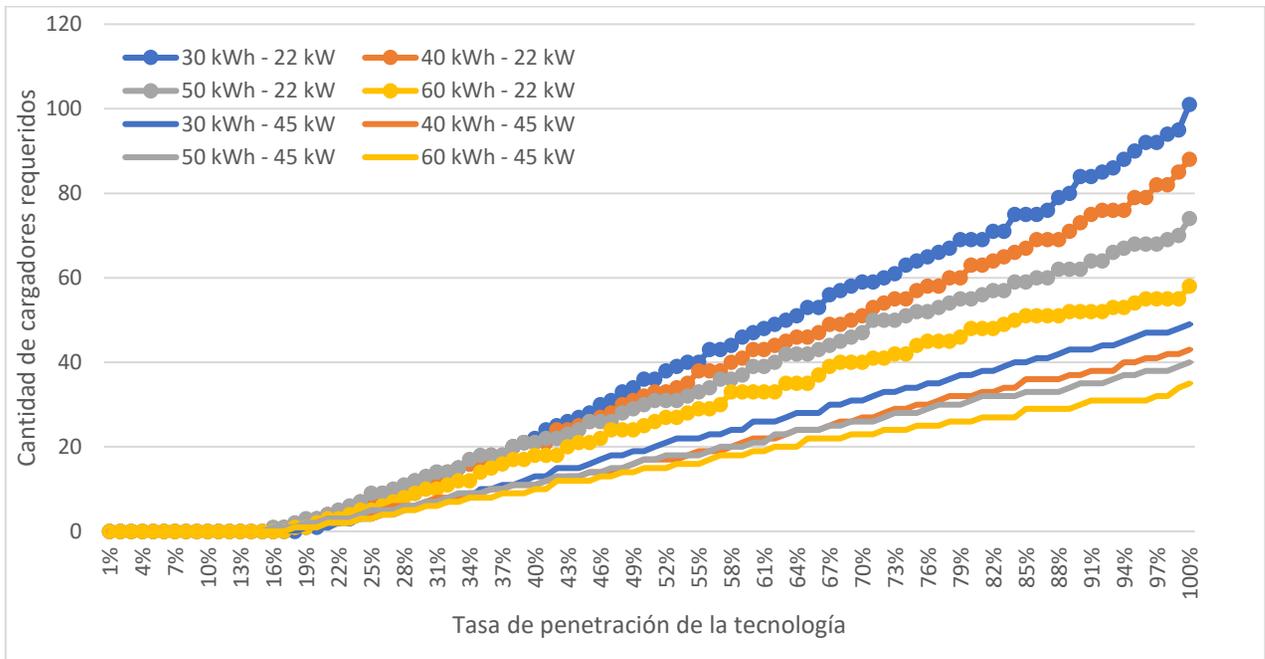


Figura 5.14: Requerimiento de infraestructura de carga, operación verano  
 Fuente: Elaboración propia

## 5.6 Estimación de montos de inversión por infraestructura de carga

Dado los resultados obtenidos para el modelo de simulación propuesto, se observa que para un día de operación de alta demanda en cuanto a frecuencia del servicio, ninguna de las líneas puede satisfacer las condiciones impuestas con una flota totalmente eléctrica incluso considerando la disponibilidad de carga domiciliaria durante la operación.

Se requiere entonces de una infraestructura de carga rápida que proporcione flexibilidad al sistema, sopesando así las limitantes de autonomía de los autos evaluados. En el modelo propuesto se evalúan dos potenciales soluciones. en primer lugar, infraestructura de carga privada instalada en los terminales de cada una de las líneas de servicio, destinada únicamente a los taxis colectivos pertenecientes a esa línea y, en segundo lugar, infraestructura de carga pública disponible para todos los taxis colectivos de la ciudad, ambos casos complementados con carga domiciliaria.

Los resultados obtenidos muestran, que para electrificar el 100% de la flota, el escenario de infraestructura de carga compartida (escenario 4) requiere de menos cargadores rápidos (45 kW) en contraste con el escenario de carga en terminales (escenario 3), mientras que, para cargas semi rápidas de 22 kW se requerirá una mayor cantidad de cargadores instalados, ver figura 5.15.

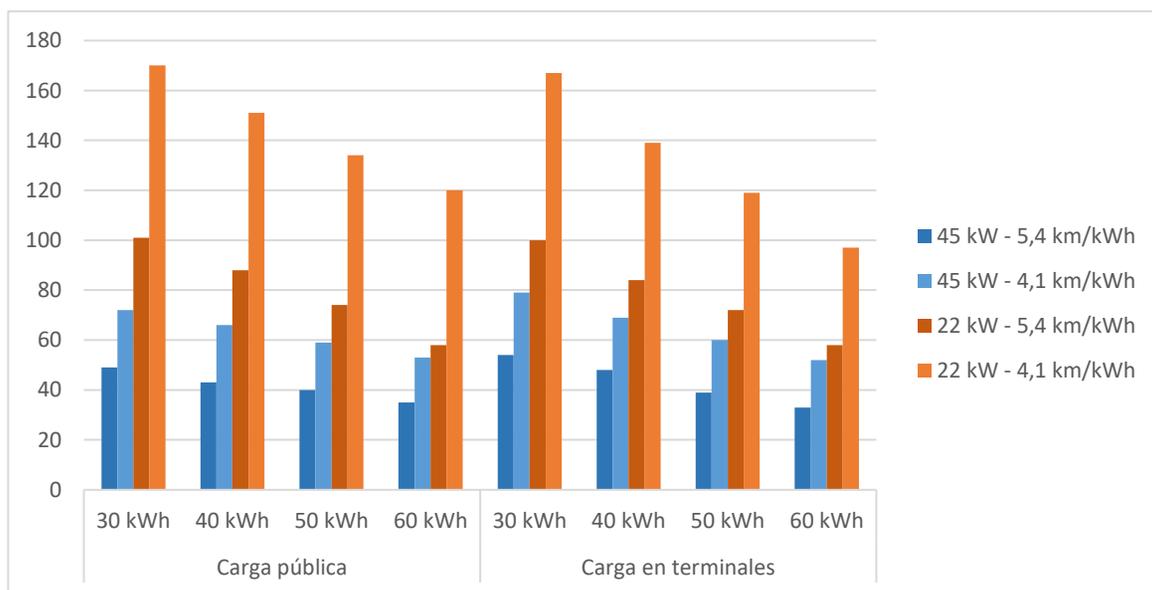


Figura 5.15: Requerimiento de infraestructura de carga a instalar por caso evaluado  
Fuente: Elaboración propia

En base a los costos presentados en la tabla 2.2, se realiza una evaluación del monto de inversión asociada a la instalación de cargadores complementarios del tipo 45 kW y 22 kW para los escenarios 3 y 4. Se obtiene, que la configuración más económica corresponde a vehículos de alta capacidad de almacenamiento, 60 kWh, complementado con infraestructura de carga semi rápida de 22 kW de potencia. Para el caso de la operación en meses de verano,

no se observa diferencia entre ambos escenarios, sin embargo, para meses de invierno, la modalidad más conveniente corresponde a la instalación de dichos cargadores en los terminales de cada una de las líneas de servicio, escenario 3.

Tabla 5.11: Estimación del costo de inversión de la infraestructura

Capacidad de almacenamiento	Potencia de carga	Rendimiento	Carga en terminal		Carga pública	
			Cantidad	Inversion	Cantidad	Inversion
30 kWh	22 kW	4,1 km/kWh	167	\$ 1.850.922.957	170	\$ 1.884.173.070
40 kWh	22 kW	4,1 km/kWh	139	\$ 1.540.588.569	151	\$ 1.673.589.021
50 kWh	22 kW	4,1 km/kWh	119	\$ 1.318.921.149	134	\$ 1.485.171.714
60 kWh	22 kW	4,1 km/kWh	97	\$ 1.075.086.987	120	\$ 1.330.004.520
30 kWh	45 kW	4,1 km/kWh	79	\$ 3.427.072.535	72	\$ 3.123.407.880
40 kWh	45 kW	4,1 km/kWh	69	\$ 2.993.265.885	66	\$ 2.863.123.890
50 kWh	45 kW	4,1 km/kWh	60	\$ 2.602.839.900	59	\$ 2.559.459.235
60 kWh	45 kW	4,1 km/kWh	52	\$ 2.255.794.580	53	\$ 2.299.175.245
30 kWh	22 kW	5,4 km/kWh	100	\$ 1.108.337.100	101	\$ 1.119.420.471
40 kWh	22 kW	5,4 km/kWh	84	\$ 931.003.164	88	\$ 975.336.648
50 kWh	22 kW	5,4 km/kWh	72	\$ 798.002.712	74	\$ 820.169.454
60 kWh	22 kW	5,4 km/kWh	58	\$ 642.835.518	58	\$ 642.835.518
30 kWh	45 kW	5,4 km/kWh	54	\$ 2.342.555.910	49	\$ 2.125.652.585
40 kWh	45 kW	5,4 km/kWh	48	\$ 2.082.271.920	43	\$ 1.865.368.595
50 kWh	45 kW	5,4 km/kWh	39	\$ 1.691.845.935	40	\$ 1.735.226.600
60 kWh	45 kW	5,4 km/kWh	33	\$ 1.431.561.945	35	\$ 1.518.323.275

Fuente: Elaboración propia

Los resultados presentados dan cuenta del rango estimado de costo de capital asociado al desarrollo de la infraestructura de carga necesaria para la operación del servicio. Esta información, deberá ser contrastada con estudios de factibilidad de la instalación y las definiciones estratégicas que establezca la ciudad en cuanto al tipo de infraestructura a desarrollar.

## Capítulo 6: Potenciales barreras identificadas

La tabla 6.1 recopila el listado de potenciales barreras identificadas en base a los resultados obtenidos en el proceso de modelamiento, la caracterización del servicio actual de la ciudad y los antecedentes bibliográficos levantados desde la experiencia actual. Se profundiza en los elementos que se consideran más pertinentes o que representan un mayor riesgo a la entrada inicial de vehículos eléctricos en el servicio.

Tabla 6.1: Potenciales barreras al proceso de electrificación

Tecnológicas	Financieras	Ecosistema de electromovilidad	Organizacionales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomía del vehículo eléctrico limita la operación continua del conductor.</li> <li>• Escasos de datos operacionales de taxis colectivos eléctricos.</li> <li>• Factibilidad de instalar cargadores domiciliarios.</li> <li>• Bajo nivel de conocimiento de la tecnología, por parte de los conductores.</li> <li>• Cambios en la operación de los conductores, necesidad de planificar cargas domiciliarias durante la jornada de trabajo.</li> <li>• Factibilidad de instalar infraestructura de carga domiciliaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monto de inversión elevado por vehículo eléctrico.</li> <li>• Costo adicional asociado a la infraestructura de carga domiciliaria.</li> <li>• Demora en la entrega de subsidio Renueva tu Colectivo y barreras en la postulación con modelos eléctricos.</li> <li>• Informalidad de ingresos del sector dificulta el acceso a instrumentos financieros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasa oferta de mantenimiento especializada en vehículos eléctricos.</li> <li>• Oferta limitada de modelos adaptados a la regulación de taxis colectivos eléctricos.</li> <li>• Oferta limitada de empresas proveedoras de la tecnología.</li> <li>• Bajo nivel de desarrollo de la infraestructura de carga (dependerá de la rapidez de entrada de modelos eléctricos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atomización de la propiedad de los vehículos, dificulta el acceso a economías de escala.</li> <li>• Propietario de taxi colectivo como centro de la toma de decisiones, dificulta la coordinación de los actores.</li> <li>• Escasa coordinación público-privada para el desarrollo del ecosistema de movilidad eléctrica en la ciudad.</li> <li>• Competencia con nuevos modos de transporte informal.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 6.1 Monto de inversión

La principal brecha identificada actualmente para la entrada del vehículo eléctrico en el segmento de taxis colectivos corresponde al monto inicial de inversión. Como se presentó anteriormente, el costo promedio de un auto eléctrico se encuentra por norma general por sobre los \$25.00.000, lo que lo sitúa en aproximadamente \$15.000.000 millones por sobre el valor de un modelo convencional equivalente<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Comparativa respecto a modelo Toyota Yaris 2021 evaluado en \$9.990.000

Adicionalmente, dado el desarrollo actual de la tecnología, se debe considerar también el monto de inversión asociado a la infraestructura de carga domiciliaria, la cual, considerando un cargador lento de 7 kW de potencia presenta un costo promedio de \$1.707.077, aumentando la brecha de inversión del auto eléctrico.

A pesar de que existen mecanismos de financiamiento impulsados desde el gobierno para incentivar el recambio de taxis colectivos, los montos actuales del programa Renueva tu Colectivo se encuentran definidos en \$7.000.000 lo que no logra eliminar la brecha actual existente en comparación al auto convencional.

Si bien la lógica tras el recambio hacia taxis colectivos eléctricos responde al ahorro generado por términos de combustible/energía, el cual se ve reflejado en un menor costo total de adquisición de este tipo de vehículos, pareciera ser que el monto actual del subsidio no basta para generar la toma de decisión del propietario, argumentado en base a la baja tasa de penetración actual de la movilidad eléctrica en el segmento de transporte público menor.

## **6.2 Autonomía de los vehículos**

El limitado rango de autonomía de los vehículos eléctricos se destaca desde la bibliografía internacional como una de las barreras que limitan la entrada de estos autos en sectores de alto recorrido como el taxi colectivo. Lo que puede generar cambios en el modo de operación actual del servicio y la necesidad de inversión en más flotas o infraestructura de carga asociada.

Desde los resultados obtenidos en el modelo de simulación, se percibe que la operación diaria de los taxis colectivos eléctricos en la ciudad de Valdivia no es factible sin la disponibilidad de infraestructura de carga durante la jornada de trabajo, presentando elevados porcentajes de falla que pueden llegar al 69,8% según las condiciones sobre las cuales se evalúe.

Finalmente, se destaca que las tendencias de desarrollo de la tecnología avanzan hacia modelos con mayor autonomía a menores precios, por lo cual, el impacto esperado de esta barrera tiene mayor impacto en el corto mediano plazo, hasta el momento en que los modelos eléctricos sean competitivos con los autos convencionales.

## **6.3 Infraestructura de carga**

En relación con la barrera antes mencionada, se destaca el desarrollo de una infraestructura de carga pública en la ciudad como un elemento paliativo del limitado rango de operación de los vehículos, al menos en una etapa temprana.

En base a los resultados obtenidos en el modelo, se destaca que dada la infraestructura de carga pública de la ciudad es posible electrificar el 17% de la flota de taxis colectivos manteniendo la factibilidad de operación del sistema en su conjunto, por lo que desde este punto de vista representa un nivel favorable para la entrada inicial de autos eléctricos en el servicio.

Se destacan otras barreras asociadas a este apartado que no han sido trabajadas en profundidad durante este estudio, como son, la factibilidad técnica de la instalación de cargadores domiciliarios, disponibilidad de infraestructura de carga para viajes interurbanos, suministro de energía e impacto en la red eléctrica de distribución.

#### **6.4 Programa Renueva tu Colectivo**

El programa Renueva tu Colectivo tiene un rol fundamental en la masificación de la movilidad eléctrica en el segmento de taxis colectivos en la etapa temprana de penetración de la tecnología, al ser el principal apoyo económico destinado al recambio de flotas.

Al estudiar el proceso de postulación, se identifican ciertas barreras y documentación solicitada que dificultan la renovación por autos eléctricos, desincentivando el recambio por esta tecnología por sobre los vehículos convencionales.

Además, dado que el subsidio se entrega posterior a la adquisición e inscripción del nuevo vehículo, el monto adjudicado no cumple de manera efectiva su rol, dado que este no es incluido en el pie inicial de la compra, dificultando así la asignación de los créditos y aumentando el valor cuota de estos.

Finalmente, se destaca la fragilidad del subsidio al ser decisión de la autoridad local (Intendente y Consejo regional) la postulación y aprobación de los recursos, lo que puede generar una variabilidad del programa en función de las prioridades de las autoridades vigentes, en lugar de responder a planes de desarrollo estratégicos de largo plazo.

#### **6.5 Atomización del servicio**

Como se presentó anteriormente, la estructura organizacional del servicio de taxis colectivos posiciona al propietario del vehículo en el centro del esquema de relación con el resto de los actores involucrados. Como se identificó en el proceso de entrevista, en la ciudad de Valdivia, los propietarios suelen disponer de 1 a 5 vehículos registrados, lo que se genera una atomización del sistema al existir muchos dueños de taxis colectivos que toman decisiones de manera independiente respecto al recambio vehicular.

Bajo esta lógica, se identifica una barrera en cuanto a la dificultad de organización de los actores involucrados, lo que complejiza la implementación de modelos de negocio exitosos como el caso de Transantiago y disminuye el poder de negociación de los propietarios dificultando el acceso a economías de escala.

#### **6.6 Proveedores y servicios complementarios**

Se destaca como una barrera de entrada, la escasez de proveedores de autos e infraestructura de carga a nivel local y la poca oferta de servicios de mantenimiento. La ciudad de Valdivia, a diferencia de otras ciudades a nivel regional, presenta un primer avance en cuanto a la

existencia de al menos un proveedor de la tecnología y taller capacitado para la mantención. Sin embargo, en base a la información recopilada, solo operan con el modelo Hyundai Ioniq lo cual desincentiva el recambio por parte de los propietarios.

## **6.7 Bajo nivel de conocimiento de la tecnología**

Como se mencionó anteriormente, durante el proceso de entrevista con los representantes legales de cada una de las líneas de servicio, se identifica un bajo nivel de conocimiento de la tecnología lo que desincentiva la compra de autos eléctricos dada la desconfianza existente por la tecnología.

Desde esta perspectiva, se destaca la puesta en marcha de un primer piloto de taxis colectivos eléctricos, como medio de acercamiento de la tecnología al sector, esperando que de forma similar a lo ocurrido en la ciudad de Coyhaique genere más información sobre los potenciales beneficios económicos y confirme la viabilidad de la operación diaria en la ciudad.

## **6.8 Escasez de información sobre el servicio de taxis colectivos**

Se destaca la poca información sobre el servicio de transporte público dentro de la región y en particular para el segmento de taxis colectivos, encontrando durante este estudio respuestas negativas ante la solicitud de datos operacionales o la entrega en formatos no digitalizados que dificultan su análisis.

Por otra parte, la mayoría de los estudios encontrados, se focalizan hacia el segmento de buses dejando aislado el servicio de taxis colectivos, siendo que este representa cerca del 38,6% de los viajes realizados en transporte público en la ciudad (SECTRA, 2014) [13]. Situación que se complejiza dada la reticencia de los conductores entrevistados a ser más fiscalizados con el objetivo de levantar datos operacionales del servicio.

Este elemento se destaca como una potencial barrera dada la dificultad que supone para el desarrollo de políticas públicas focalizadas hacia el recambio tecnológico del segmento, como pueden ser, evaluación de aportes económicos complementarios o incentivos diseñados para el fomento de infraestructura de carga pública en la ciudad.

## **6.9 Contingencia actual**

De destaca el impacto económico que ha tenido el estallido social y posterior confinamiento en el sector de taxis colectivos, quienes han visto afectado sus ingresos mensuales a lo largo de todo el año 2020 dada la disminución significativa de pasajeros restringidos en su movilidad. Debido a esto, se prevé una menor disposición a invertir en el recambio de vehículos y en particular en autos eléctricos dada la brecha de inversión inicial.

## Capítulo 7: Conclusiones

En el estudio presentado se realiza un análisis técnico económico enfocado en la electrificación del servicio de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia, con el objetivo de identificar barreras y proponer recomendaciones que faciliten la entrada de la electromovilidad en este sector.

El trabajo se estructura bajo tres ejes principales, levantamiento de información, caracterización del servicio de taxis colectivos en Valdivia y modelamiento por medio de una simulación que replica su operación actual con vehículos eléctricos, identificando la factibilidad del sistema.

En base a esto, los resultados obtenidos muestran, que, para una operación de alta exigencia en cuanto a frecuencia de circulación, el servicio de taxis colectivos de la ciudad no es factible sin el apoyo de una infraestructura de carga rápida pública o privada que suministre la energía requerida durante la jornada de trabajo, presentando un porcentaje de falla que fluctúa entre los 13,5% para la operación verano con vehículos de 60 kWh y los 69,8% para la operación invierno con vehículo de 30 kWh y rendimiento de 5,4 km/kWh.

Por otra parte, al incluir la disponibilidad de carga domiciliaria de baja potencia (7kW) durante la jornada de trabajo, se observa que, si bien las fallas del servicio disminuyen considerablemente, ninguna de las configuraciones evaluadas cumple la condición de factibilidad establecida, presentándose porcentajes de falla que van de los 10,2% para la operación verano con auto eléctrico de 60kWh al 33,2% en invierno con vehículos de 30kWh.

Posteriormente, se evalúan dos potenciales vías para suministrar la energía eléctrica demandada por el sistema. Por una parte, infraestructura de carga privada centralizada en los terminales de cada línea de servicio destinada únicamente a los taxis colectivos de dichas líneas y, por otra parte, una infraestructura de carga pública compartida entre todos los conductores, ambos escenarios complementados con carga lenta domiciliaria de 7kW de potencia.

Los resultados obtenidos muestran, que para el modelo evaluado, la configuración que presenta el menor costo de capital en infraestructura de carga corresponde a vehículos de 60kWh con cargadores de 22 kW. Para la operación verano, el costo entre ambas modalidades es equivalente, sin embargo, en operación invierno, la solución de carga privada en las líneas de servicio presenta un menor costo de capital inicial. Dicho resultado, deberá ser evaluado en cuanto a la factibilidad de su ejecución y potenciales externalidades positivas de otras configuraciones que no han sido consideradas en el estudio.

Finalmente, se realizó una simulación de la entrada paulatina de vehículos eléctricos al sistema bajo las condiciones actuales de infraestructura de carga de la ciudad de Valdivia, 2 cargadores de 22 kW complementado con carga domiciliaria en los hogares de los conductores. Se identifica, que tanto para la operación en verano como en invierno, un 17% de la flota es potencialmente electrificable sin perjudicar la factibilidad de operación del

servicio en su totalidad, por sobre este valor, la carga domiciliaria no es suficiente para entregar la flexibilidad de operación necesaria para el sistema y por tanto aumenta el requerimiento de infraestructura de carga pública.

En base a los resultados obtenidos y los antecedentes recopilados, se define un listado de potenciales barreras al proceso de electrificación del servicio, categorizadas bajo 4 ejes: tecnológicas, financiera, ecosistema de electromovilidad y organizacionales.

## Capítulo 8: Discusión y Recomendaciones

En primer lugar, se destacan ventajas identificadas en relación con la electrificación del segmento de taxis colectivos por sobre otros medios de transporte público vehicular presentes en la ciudad.

En comparación con el servicio de taxis básicos, los taxis colectivos presentan una primera ventaja asociada a la existencia de mecanismos de financiamiento estatal que incentivan el recambio vehicular hacia tecnologías de electromovilidad, como es el caso del programa Renueva tu Colectivo. Caso que no se ve replicado para el segmento de taxis básicos, donde los programas destinados a dicho segmento han requerido de aportes estatales adicionales a los ya establecidos.

Por otra parte, desde un punto de vista operacional, el taxi colectivo presenta una ventaja al operar sobre recorridos definidos, lo que facilita la toma de decisión respecto a la localización estratégica de futura infraestructura de carga pública a diferencia de la libre circulación del taxi básico.

Finalmente, el carácter de colectivo de este segmento en particular acrecienta el impacto que el mismo puede tener en cuanto a la cantidad de personas movilizadas, lo que se traduce en una mayor reducción de emisiones y al mismo tiempo, un mayor acercamiento de la tecnología a los habitantes de la ciudad.

Por otra parte, en comparación con el servicio de buses, este último tiene la ventaja de generar el mayor impacto en cuanto a personas movilizadas y reducción de emisiones, sin embargo y en relación a lo establecido en la Estrategia Nacional de Electromovilidad (Ministerio de Energía, 2017) [3], la electrificación del transporte público se define como motor de desarrollo de la movilidad eléctrica en vistas de su masificación hacia otros segmentos del transporte

En consecuencia, dado el tipo de vehículos utilizados, la electrificación del servicio de taxis colectivos pareciera tener un mayor impacto potencial en cuanto al desarrollo del ecosistema de electromovilidad orientado hacia los segmentos industrial y particular, que se caracterizan por utilizar, en su mayoría, vehículos livianos o medianos.

Ejemplo de esto, es el impacto positivo que tendría la entrada de taxis colectivos eléctricos en cuanto al desarrollo de la infraestructura de carga pública, el aumento en la oferta de proveedores de vehículos livianos, la entrada de nuevos proveedores de infraestructura de carga domiciliaria, el desarrollo de servicios de mantenimiento para autos eléctricos, entre otros. Ejemplos que no son directamente extrapolables para el caso de buses eléctricos con infraestructura de carga y servicios focalizados hacia esa tecnología.

En base a lo anteriormente mencionado, se proponen las siguientes recomendaciones para promover la entrada de vehículos eléctricos en el segmento de taxis colectivos de la ciudad de Valdivia.

- **Impulso inicial por medio de un programa de desarrollo articulado desde el gobierno**

Dado el desarrollo del ecosistema de electromovilidad y las limitantes propias de la tecnología actual, se identifica la necesidad de generar mayores incentivos que generen una demanda inicial para favorecer la entrada de nuevos actores e impulsar la oferta de servicios desde el sector privado.

Desde esta perspectiva, se sugiere impulsar un programa de cofinanciamiento para el desarrollo de la movilidad eléctrica en el sector de taxis colectivos, haciendo uso de los mecanismos de financiamiento actuales y subsidios entregados por el gobierno. Teniendo el carácter de articulación de los actores público-privados involucrados para facilitar la toma de decisión de los propietarios de taxis colectivos en favor del recambio hacia tecnologías eléctricas.

Un programa de estas características debiese ser gestionado por un agente público articular, se sugiere Seremi de Transporte o Agencia de Sostenibilidad Energética, quien se encargue de diseñar una propuesta para los conductores definiendo un determinado número de cupos de inscripción.

Una propuesta de este tipo puede, dentro de otros beneficios, acceder a mejores montos de inversión y asegurar la mantención de los vehículos por personal capacitado, por medio de procesos licitatorios que definan las condiciones mínimas del servicio, haciendo competir a los potenciales proveedores de la tecnología.

Además, se podría facilitar el ingreso efectivo del subsidio Renueva tu Colectivo en el pie inicial de los créditos de los propietarios, incluyendo a un organismo financiero en el programa y entregando las garantías necesarias para destrabar el problema de flujo actual de la asignación del subsidio.

Por otra parte, se considera la inclusión de algún organismo de investigación, que permita la generación de conocimiento y datos operacionales que faciliten la replicabilidad del programa y confianza de los inversionistas, además del desarrollo de capital humano local en temáticas de movilidad eléctrica.

Se considera pertinente la incorporación de un programa de estas características, para la etapa temprana de desarrollo de la movilidad eléctrica en la ciudad dado que las condiciones de mercado actuales no incentivan el recambio de vehículos en el segmento, prueba de esto es el proceso de licitación de nuevo cupos realizado en agosto del año 2020, donde solo se presentaron 3 candidatos del total de 10 cupos disponibles, 2 de estos bajo la tutela de un programa piloto de similares características patrocinado por la empresa SAESA.

En relación a la cantidad de taxis a electrificar, los resultados mostrados por el modelo propuesto muestran que el 17% de la flota puede operar con vehículos eléctricos sin afectar el servicio general de la ciudad, es decir, existe un espacio de 143 taxis colectivos que podrían ser electrificados sin la necesidad de invertir en más infraestructura de carga pública en la ciudad.

Finalmente, se destaca que el 73,9% de la flota actual de taxis colectivos presenta una antigüedad igual o superior a los 4 años desde la fecha de fabricación, existiendo un total de 625 potenciales taxistas que podrían participar de un programa de estas características postulando en forma paralela al subsidio Renueva tu Colectivo.

- **Proceso de culturización sobre las tecnologías de movilidad eléctrica**

Se propone un programa de acercamiento de la tecnología de electromovilidad (talleres, campañas publicitarias, seminarios, entre otros) tanto a la ciudadanía en general como a los propietarios de taxis colectivos con el objetivo de presentar los beneficios de la tecnología y resolver las dudas existentes.

Se recomienda generar talleres de capacitación y acercamiento de la tecnología a los propietarios de taxis y taxis colectivos, por medio de los cuales, se presenten las características particulares de la operación con taxis eléctricos, se respondan las principales inquietudes y se facilite el acercamiento a los vehículos por medio de pruebas de manejo u otros.

De la misma forma, se recomienda el trabajo colaborativo con centro de educación superior de la ciudad con vistas a fomentar la investigación y generar el capital humano necesario tanto para las tareas de mantenimiento como el desarrollo de otros servicios asociados a la movilidad eléctrica

- **Desarrollo de la infraestructura de carga**

No obstante, los resultados presentados en este estudio dan cuenta de un espacio disponible para la penetración de la tecnología con el estado actual de la infraestructura de carga pública disponible, es importante avanzar en el desarrollo de una red de carga robusta que incentive la entrada de nuevos actores, la cual no solo considera el desarrollo a nivel ciudad, sino también en otros puntos de la región disminuyendo las brechas existentes para viajes interurbanos.

## Capítulo 9: Bibliografía

1. M. Mena. (2015). Compromisos de Chile en el acuerdo climático de Paris. Ministerio de Medio Ambiente.
2. Comisión Nacional de Energía - CNE. (2019). Anuario estadístico de energía.
3. 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.
4. Asociación Gremial de Vehículos Eléctricos de Chile – AVEC. (2019). Electromovilidad en Chile 2019. Informe del estado actual de la industria.
5. De la Herrán, J. (2014). El auto eléctrico: una solución apremiante. Ciencia de Boleto. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC).
6. 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).
7. Fox-Penner, P., Ren, J., Jermain, D. (2019). Melting the ice, Lessons from China and the West in the Transition from the internal combustion engine to electric vehicle, The critical role of public charging infrastructure. Boston University.
8. Patella, D., Perchel, A., Jaques, I. (2018). Electric Mobility & Development. The World Bank.
9. Ministerio de Energía. (2020). Plataforma de electromovilidad. [Link](#).
10. 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.
11. Bloomberg NEF. (2018). New Energy Outlook 2018: BNEF's annual long-term economic analysis of the world's power sector out to 2050.
12. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (1992). Decreto 212. Reglamento de los servicios nacionales de transporte público de pasajeros. Gobierno de Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile – BCN.

13. Programa de Vialidad y Transporte Urbano - SECTRA. (2014). Actualización plan de transporte Valdivia y desarrollo de anteproyecto, Etapa I, 2014. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.
14. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones – MTT. (2020). Bases concurso de antecedentes para optar a nuevas inscripciones de taxis colectivos urbanos en el registro nacional de servicios de transporte de pasajeros para operar en la comuna de Valdivia, Región de los Ríos, Ley 20.867.
15. CADEM. (2019). Encuesta plaza pública, Cuarta semana de Octubre – Estudio 302.
16. Activa Valdivia. (2020). Sitio web oficial Plataforma Activa Valdivia. [Disponible en línea.](#)
17. Ministerio de Medio Ambiente. (2020). Listado de municipios SCAM diciembre del 2020. [Disponible en línea.](#)
18. Hidalgo, V., Palacios, A., Maira, J., Juan, E., Terraza, H., Lew, S., Soulier, M. (2015). Valdivia, capital sostenible, Plan de Acción. Municipalidad de Valdivia, Activa Valdivia, Banco Interamericano de Desarrollo.
19. Ministerio de Medio Ambiente. (2017). Decreto 25. Establece plan de descontaminación atmosférica para la comuna de Valdivia.
20. Galarza, S. (2020). De pilotos a escalas, lecciones sobre el despliegue de buses eléctricos en Santiago de Chile. Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator – ZEBRA.
21. Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator – ZEBRA. (2020). Estudio de Caso: Metbus precursor de despliegue de buses eléctricos en Santiago.
22. Valdes, S. (2018). Así funcionan los 60 taxis eléctricos que circularán por Santiago. Teletrece. [Disponible en línea.](#)
23. Electricidad, La Revista Energética de Chile. (2019). Electromovilidad en 2019: Un año en cifras. [Disponible en línea.](#)
24. Taborelli, M. (2021). Transporte público en Chile:Cuál es el estado actual de las licitaciones de taxis eléctricos. Portal Movilidad. [Disponible en línea.](#)
25. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones - MTT. (2018). Resolución Exenta N°3330: Aprueba bases y llama a concurso de antecedentes para la inscripción de

nuevos taxis básicos eléctricos en las zonas de operación comprendidas por la provincia de San Antonio y por las comunas de Valparaíso y Viña del Mar. Región de Valparaíso.

26. Electricidad, La Revista Energética de Chile. (2019). Lanzas el primer piloto de taxis colectivos eléctricos en Coyhaique. [Disponible en línea](#).
27. Electromov. (2020). Rendimiento eléctrico: usar gasolina es \$44 por kilómetro más caso. [Disponible en línea](#).
28. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones - MTT. (2020). Resolución Exenta N°836: Aprueba y ordena publicación de nómina de postulantes en el concurso de antecedentes para la inscripción de nuevos taxis colectivos urbanos en la comuna de Valdivia, Región de los Ríos con la indicación en la cual se encuentra la postulación.
29. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones – MTT. (2009). Ley 20378: Crea un subsidio nacional para el transporte público remunerado de pasajeros. Gobierno de Chile.
30. Gobierno regional, Región de los Ríos. (2019). Bases de la convocatoria para la presentación de postulaciones al programa de modernización de renovación de taxis colectivos Región de los Ríos. Gobierno de Chile.
31. 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 18 de enero del 2021.
32. Asociación Nacional Automotriz de Chile – ANAC. (2019). Informe del mercado automotor.
33. Mohamed, M., Farag, Hany., El-Taweel, Nader., Ferguson, M. (2017). Simulation of electric buses on a full transit network: Operational feasibility and grid impact analysis. McMaster University, York University.
34. Hu, L., Dong, J., Lin, Z., Yang, J. (2018). Analyzing battery electric vehicle feasibility from taxi travel patterns: The case study of New York City, USA. Iowa State University, National Transportation Research Center, Southeast University.
35. Rogge, M., Wollny, S., Uwe, D. (2015). Fast Charging Battery buses for the electrification of urban public transport – A feasibility study focusing on charging infrastructure and energy storage requirements. Aachen University.
36. De Filippo, G., Marano, V., Sioshansi, R. (2014). Simulation of an electric transportation system at The Ohio State university. The Ohio State University.

37. Maps Chile. (2016). Recomendaciones de políticas en el sector transporte para la implementación de medidas de mitigación de gases efecto invernadero en Chile.
38. Idaho National Laboratory. EV auxiliary system impacts.
39. Evtimov, I., Ivanov, R., Sapundjiev, M. (2017). Energy consumption of auxiliary systems of electric cars. University of Ruse.
40. Vicuña, J. (2019). Cuánto cuestan y consumen los cinco autos eléctricos más vendidos de Chile. Diario La Tercera. Visitado por última vez el 18 de junio del 2020. [Disponible en línea.](#)
41. Rivas, I., Dorner, O. (2021). Análisis de costo de infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Chile. Agencia de Sostenibilidad Energética.
42. Electromov. (2020). Banco Estado impulsa la electromovilidad con tasa de 0,56% para comprar de vehículos eléctricos. [Disponible en línea.](#)
43. Banco Estado. (2020). Características del financiamiento, Muévete sin dejar huella. [Disponible en línea.](#)
44. Centro de Control y Certificación Vehicular – 3CV. (2020). Homologación de vehículos livianos, medianos y motocicletas, apartado e1. [Disponible en línea.](#)
45. Ministerio de Medio Ambiente. (2014). Decreto 17, Declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración diaria y anual, y por material particulado fino respirable MP2.5, como concentración diaria, a la comuna de Valdivia.
46. Ministerio de Medio Ambiente. (2020). Contribución determinada a nivel nacional (NDC) de Chile.
47. Ugarte A. (2021). Electromovilidad: ¿un mejor futuro para nuestras ciudades? Universidad de Chile. [Disponible en línea.](#)

Anexo 1: Documentación solicitada primera etapa de postulación programa  
Renueva tu colectivo según bases de la región de los Ríos año 2019

Documentos solicitados	Observaciones
Formulario N°1 PRIMERA ETAPA DE POSTULACIÓN debidamente llenado	
Certificado de Inscripción y Anotaciones Vigentes en el Registro de Vehículos Motorizados del vehículo saliente	
Si corresponde, documento que acredite pérdida total como consecuencia de siniestro, robo o hurto	
Documento que conste la Inscripción Histórica en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público del vehículo saliente	
[Solo si el vehículo saliente ya se encuentra cancelado] Certificado de cancelación en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público	
Fotocopia del Certificado de Revisión Técnica al día	
Fotocopia del Permiso de Circulación al día	
Fotocopia del resultado de la consulta disponible en el sitio <a href="http://www.dtp.r.gob.cl">www.dtp.r.gob.cl</a> donde se detalle el Código de Informe Técnico del vehículo entrante que se presentará en la segunda etapa	No disponible para vehículos eléctricos
Declaración jurada de aceptación de Términos y Condiciones	
Documentos de identificación del postulante, especificados para el caso de ser una persona natural o una persona jurídica	
[Solo si se requiere que el pago del Beneficio vaya a un tercero] Mandato de acuerdo con el formato adjunto firmado ante notario	
[Solo si el vehículo entrante ya fue comprado] Factura de primera compraventa, Certificado de Homologación Individual, Certificado de Inscripción y Anotaciones en el Registro de Vehículos Motorizados del vehículo entrante, Certificado de Inscripción en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público del vehículo entrante	

Anexo 2: Documentación solicitada segunda etapa de postulación programa  
Renueva tu colectivo según bases de la región de los Ríos año 2019

Documentos solicitados	Observaciones
Formulario N°2 SEGUNDA ETAPA DE POSTULACIÓN debidamente llenado	
Certificado de Selección emitido por el Gore correspondiente que acredita cumplimiento de los requisitos estipulados en la Primera Etapa	
Certificado de Inscripción y Anotaciones Vigentes en el Registro de Vehículos Motorizados del vehículo entrante a nombre del postulante	
Factura de primera compra venta donde se consigne el Código del Informe Técnico del proceso de homologación	
Copia del certificado de inscripción en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público del vehículo entrante	
Certificado de Cancelación Definitiva del Registro Nacional de Servicios de Transporte Público del vehículo saliente	
Solo si postula por requisitos de contaminación y mejora en aspectos de seguridad: Elementos de seguridad informados por el fabricante y declaración jurada	
Código del Informe Técnico del vehículo entrante que se presenta, disponible en <a href="http://www.dtp.r.gob.cl">www.dtp.r.gob.cl</a>	No disponible para autos eléctricos

## Anexo 3: Fragmento Decreto 212 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

**Artículo 73°:** Para prestar servicios de taxi, los automóviles deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Ser vehículos de una antigüedad no superior a un año, al solicitar su incorporación al Registro Nacional por primera vez. La antigüedad se calculará como la diferencia entre el año en que se solicita la inscripción y el año de fabricación o modelo de del vehículo anotado en el Registro de Vehículos Motorizados.
- b) Contar con un motor de 1,5 litros de cilindrada o superior, o contar con motor eléctrico puro, entendiendo como tal aquel vehículo impulsado exclusivamente por energía eléctrica o vehículo híbrido, entendiendo como tal aquel vehículo impulsado por una cadena de tracción híbrida con al menos dos convertidores de energía distintos y dos sistemas diferentes de almacenamiento de energía (situados en el propio vehículo) para propulsar el vehículo para prestar servicio de taxis, en cualquiera de sus modalidades.
- c) Contar con un motor 1,4 litros de cilindrada y cuya homologación del modelo lo tipifique como sedán.

Tratándose de vehículos que se incorporen conforme lo dispuesto en la ley 20.474, el requisito de antigüedad señalado en la letra a) del inciso precedente, será de cinco (5) años como máximo.

Para efectos del presente decreto, en la categoría de motor de 1,5 litros quedarán comprendidos aquellos cuya cilindrada sea superior a 1.450 cc. e inferior a 1551 cc y en la categoría de motor de 1,4 litros, aquellos cuya cilindrada sea superior a 1.350 cc e inferior a 1.451 cc.

Tratándose de vehículos eléctrico puro o híbrido la potencia para su propulsión deberá ser igual o superior a 70 kW.

- d) Estar pintados de acuerdo con las normas del presente reglamento;
- e) Tratarse de modelos estándar de fabricación, sin adaptaciones o modificaciones en su estructura. El volante deberá estar ubicado al lado izquierdo del vehículo. La sustitución del motor original de fábrica del vehículo por otro que no sea idéntico al modelo y tipo del original, le hacen perder su calidad de modelo estándar de fabricación; No obstante lo anterior, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones podrá aceptar que motores originales de fábrica sean adaptados de manera que puedan emplear Gas Natural o Gas Licuado de Petróleo, siempre que se cumpla con lo dispuesto en el decreto supremo N° 55, de 1998 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
- f) Contar con una carrocería de 4 puertas, entendiéndose por puerta sólo aquella que permita el acceso natural de personas al vehículo;
- g) Contar con sólo dos hileras de asientos en sentido transversal al vehículo;
- h) Estar dotado de taxímetro en aquellas comunas en que su uso es obligatorio, cuando se trate de servicio de taxi básico. Los taxis colectivos y de turismo no usarán taxímetro. No obstante lo anterior, tratándose de taxis de turismo, el Secretario Regional Ministerial podrá autorizar la instalación de taxímetros como mecanismo de cobro, en cuyo caso su uso será opcional, y tener antigüedad de fabricación o modelo no superior a 12 años, entendiéndose por año de modelo o fabricación el anotado en el Registro de

Vehículos Motorizados. Esta exigencia no regirá para los vehículos inscritos en cualquier Registro Regional distinto al de la Región Metropolitana, los cuales podrán extender su antigüedad hasta los 15 años, siempre que a contar del año trece realicen y aprueben revisiones técnicas cada cuatro meses.

El cumplimiento de los requisitos anteriores, en relación con cada una de las modalidades de servicio de taxis, será verificado por las plantas revisoras habilitadas para efectuar la revisión técnica de los taxis, lo que deberá constar en el correspondiente certificado de revisión técnica.

**Artículo 73° bis.-** Los taxis inscritos en el Registro Nacional en cualquiera de sus modalidades, podrán reemplazarse por automóviles más nuevos, siempre que se acredite que éstos nunca han sido taxis, que cumplan con los requisitos del artículo 73°, con excepción del establecido en la letra a), y que tengan una antigüedad no superior a cinco años, salvo en las Regiones I y XII, cuya antigüedad podrá ser de hasta 7 años, en los términos establecidos en el artículo anterior. Estos reemplazos serán admisibles dentro de un plazo de 18 meses a contar de la fecha de cancelación del vehículo por haber excedido la antigüedad máxima o de la solicitud de cancelación del taxi inscrito que se reemplaza. Para ejercer este derecho a reemplazo deberá acreditarse que a la fecha de inscripción del vehículo entrante, el propietario de éste es el mismo que como dueño solicitó la cancelación del taxi a reemplazar o que figuraba como tal al momento de producirse la cancelación del vehículo por antigüedad. Este reemplazo podrá efectuarse bajo una modalidad de servicio distinta a la del vehículo saliente o reemplazado siempre que el vehículo entrante o reemplazante sea nuevo, en los términos señalados en el inciso siguiente. No procederá el reemplazo respecto de los vehículos que se encuentren en la situación señalada en el inciso segundo del artículo 74°.

Los taxis inscritos en el Registro de la Región Metropolitana, en cualquiera de sus modalidades, sólo podrán reemplazarse por automóviles que tengan una antigüedad no superior a tres años.

El permiso de circulación como taxi correspondiente al vehículo que se reemplaza deberá ser cancelado y en la misma Municipalidad deberá obtenerse el primer permiso de circulación como taxi del automóvil reemplazante, facultad que será ejercida previa acreditación del cumplimiento de las condiciones de los incisos anteriores y constatación con un certificado del Registro de Vehículos Motorizados del Servicio de Registro Civil e Identificación, que el color del vehículo que se reemplaza no es de los identificatorios de los vehículos de los servicios de alquiler.

También podrán reemplazarse aquellos taxis inscritos en el Registro Nacional que hubieran experimentado pérdida total, ya sea como consecuencia de un siniestro, robo o hurto, en cuyo caso el reemplazo deberá ser por un vehículo de una antigüedad no superior a cinco años, más nuevo, o del mismo año de fabricación del que se reemplaza y deberá cumplir con las demás exigencias enunciadas en los incisos anteriores.

En ambos casos, previa comunicación a la Secretaría Regional Ministerial respectiva de la ocurrencia de los mencionados hechos se procederá a la cancelación del taxi inscrito que se pretende reemplazar, acompañando el propietario, en el caso de siniestro, la documentación que lo acredite. En caso de robo o hurto, el denunciante o querellante deberá necesariamente acompañar la denuncia ya ratificada o bien la querrela presentada y acogida a tramitación ante el tribunal del crimen competente, quedando en consecuencia el reemplazo autorizado, sometido exclusivamente a las exigencias del inciso primero. El Secretario Regional Ministerial, deberá poner en conocimiento del Servicio de Registro Civil e Identificación y de la Municipalidad respectiva, el siniestro, robo o hurto, según correspondiere, señalando la especificación completa del vehículo reemplazado, y la identificación íntegra de su propietario.

#### INCISO DEROGADO

Adicionalmente, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, como parte de un proceso de licitación de vías, efectuado en virtud del inciso segundo del artículo 3° de la ley N°18.696, podrá establecer otras condiciones y requisitos de reemplazo en las respectivas Bases de la Licitación.

**Artículo 74.-** Las Municipalidades no podrán renovar el permiso de circulación de los taxis que tengan una antigüedad superior a 12 años en la Región Metropolitana y a 15 años en el resto de las regiones, salvo que se acredite con certificados del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones que están adscritos a servicios de carácter internacional. Las Municipalidades procederán de igual forma cuando, por cualquier

motivo, el permiso de circulación como automóvil de alquiler no se hubiere obtenido en los 2 años calendarios consecutivos, inmediatamente anteriores al de la solicitud de renovación. Una vez constatado este hecho, la Municipalidad deberá comunicarlo a la Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones correspondiente, la que procederá a efectuar la cancelación del vehículo del Registro Nacional. Asimismo, si el Secretario Regional tomare conocimiento de este hecho, sin mediar la comunicación de la Municipalidad, deberá proceder igualmente a la cancelación de la inscripción respectiva.

**Artículo 75°:** En taxis podrá transportarse sólo el número de personas, incluido el chofer, para el cual fue diseñado por el fabricante y señalado en el catálogo del respectivo modelo.

En el interior de estos vehículos deberá portarse, en un lugar visible, un letrero autoadhesivo de 15 cm de largo por 5 cm de alto, en el que se indicará la capacidad máxima de pasajeros que puede transportar.

Facúltase a los Secretarios Regionales para disponer por resolución la obligatoriedad de portar en los taxis, por modalidad de servicio, una identificación del conductor del vehículo, como asimismo para determinar las características de ésta y su ubicación en un lugar visible del taxi, para conocimiento del usuario.

**Artículo 76°:** Los taxis básicos serán de color negro y techo amarillo hasta la base de los pilares. Los taxis colectivos de servicios urbanos serán de color negro.

Por su parte, los taxis colectivos de servicios rurales y los interurbanos serán de color amarillo y los de servicios de turismo de color azul.

No obstante lo señalado precedentemente, los taxis que cuenten con motor eléctrico puro, cualquiera sea su modalidad o submodalidad, serán de color blanco, con puertas y cubierta del motor (capó) de color verde.

Los taxis básicos y los colectivos urbanos, excepto aquellos que cuenten con motor eléctrico puro, llevarán pintado o adherido en el exterior de sus puertas delanteras las letras y números de la patente única del vehículo, en color amarillo. Estos caracteres deberán tener como mínimo 10 cm. de alto, 5 cm. de ancho y 1,5 cm. de espesor de trazo.

El color amarillo que se indica en los incisos precedentes corresponde al definido en la norma chilena NCh 1927.

Corresponderá a los Secretarios Regionales disponer, mediante resolución, la fecha a contar de la cual serán exigibles las obligaciones de los incisos segundo, tercero, cuarto y quinto de este artículo, lo que podrán hacer diferenciadamente según el tipo de servicio de que se trate. Asimismo, podrán hacer aplicable lo dispuesto en el inciso cuarto a los taxis colectivos de servicios rurales, en cuyo caso los caracteres serán de color negro.

Anexo 4: Ruta troncal línea 1 y perfil de elevación



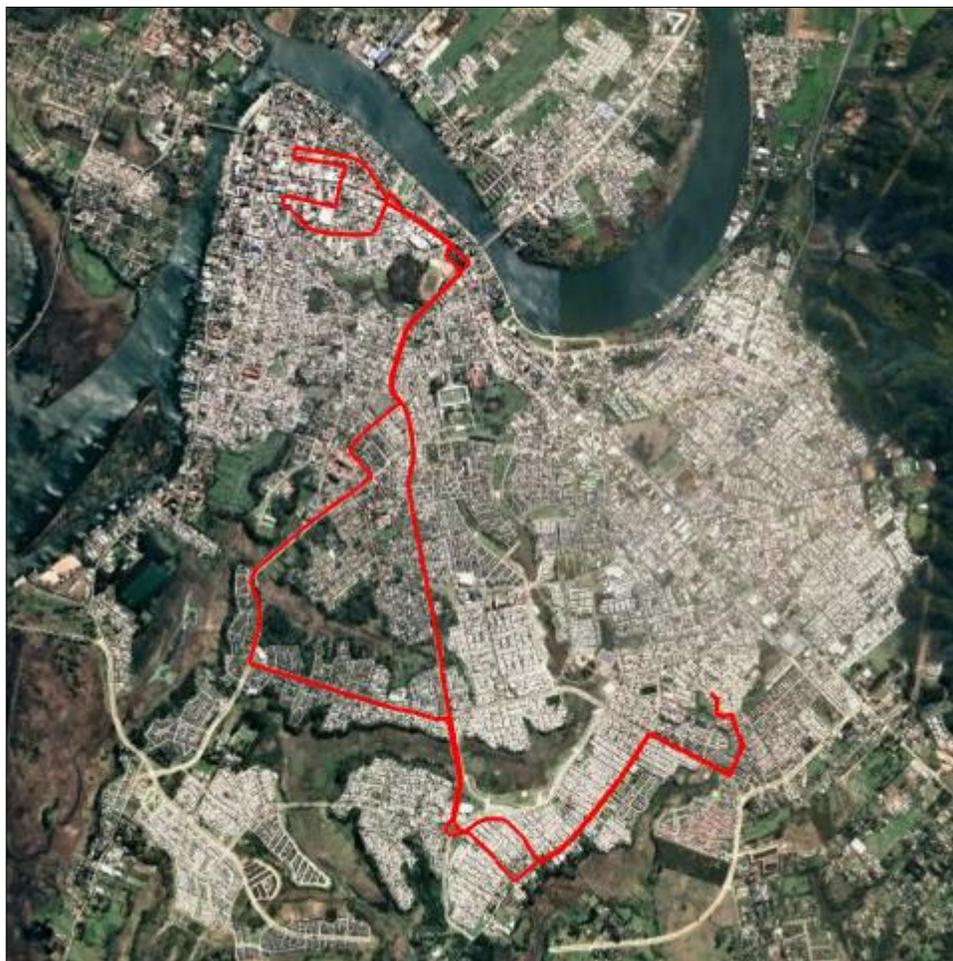
## Anexo 5: Ruta troncal línea 7 y perfil de elevación



## Anexo 6: Ruta troncal línea 10 y perfil de elevación



## Anexo 7: Ruta variante línea 10 y perfil de elevación





Anexo 9: Ruta variante línea 12 y perfil de elevación



## Anexo 10: Ruta troncal línea 15 y perfil de elevación



# Anexo 11: Ruta variante línea 15 y perfil de elevación



## Anexo 12: Ruta troncal línea 20 y perfil de elevación



### Anexo 13: Ruta variante línea 20 y perfil de elevación





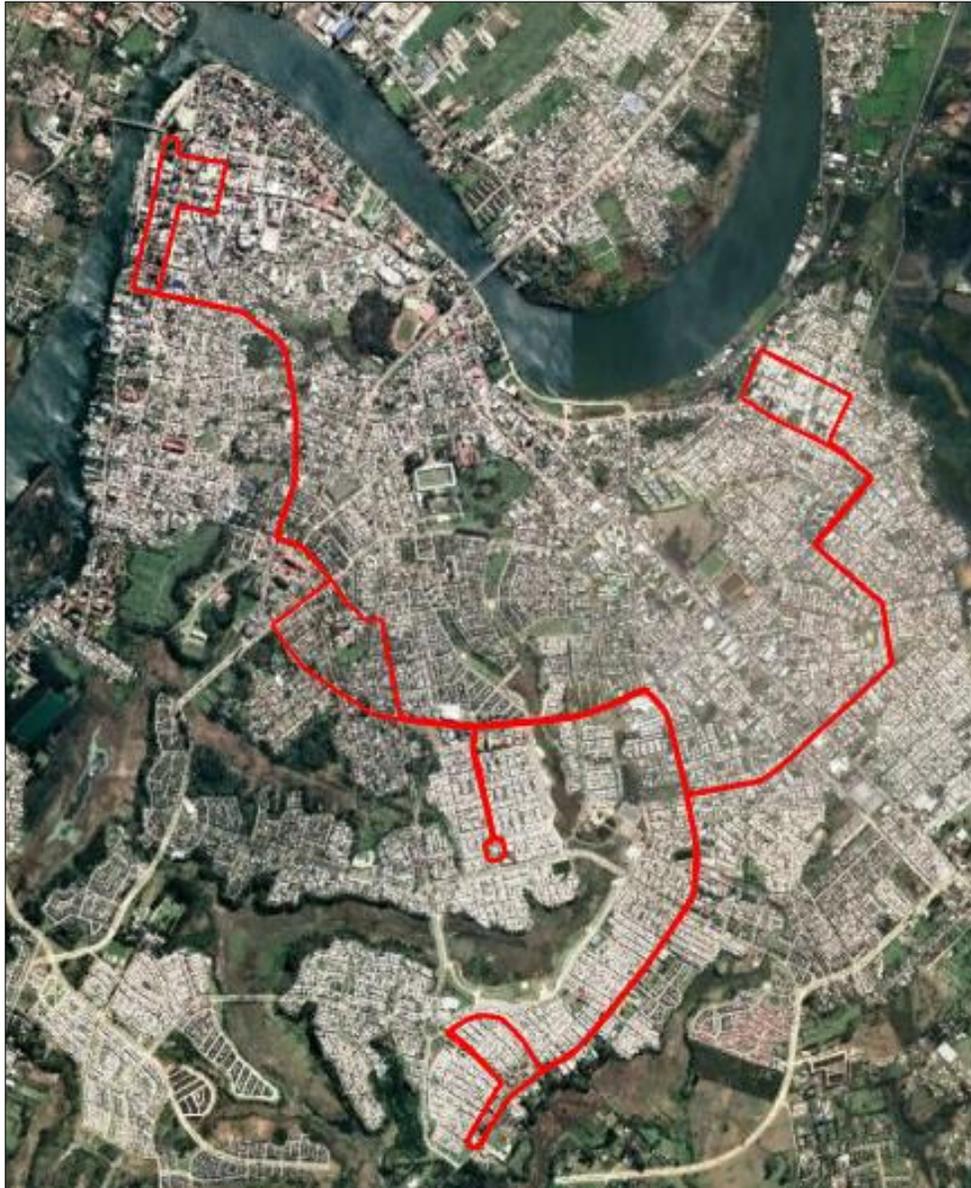
## Anexo 15: Ruta troncal línea 45 y perfil de elevación



## Anexo 16: Ruta variante línea 45 y perfil de elevación



## Anexo 17: Ruta troncal línea 50 y perfil de elevación



## Anexo 18: Ruta variante línea 50 y perfil de elevación



## Anexo 19: Ruta troncal línea 55 y perfil de elevación

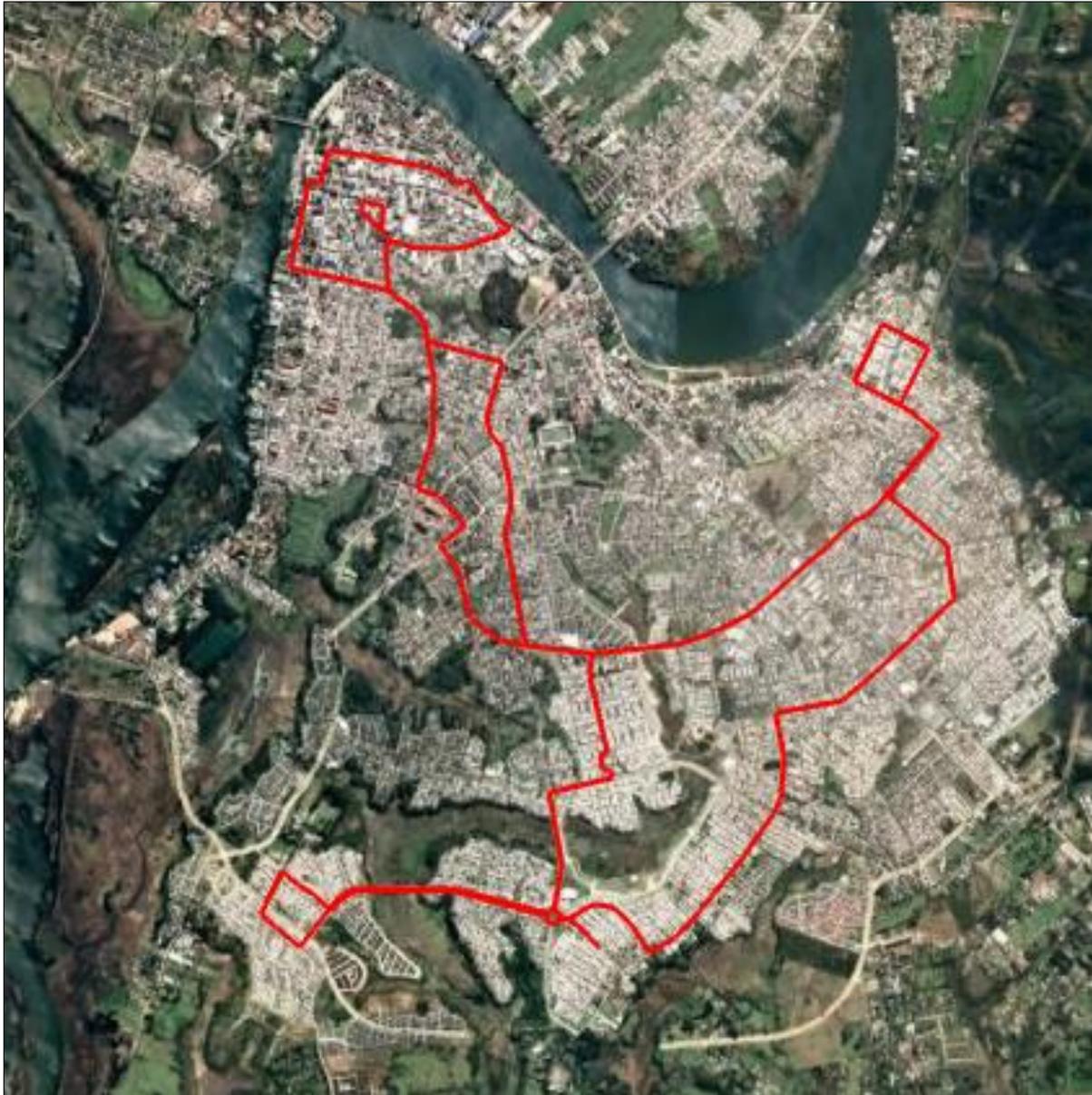


## Anexo 20: Ruta variante línea 55 y perfil de elevación





## Anexo 22: Ruta variante línea 110 y perfil de elevación



## Anexo 23: Ruta troncal línea 115 y perfil de elevación



## Anexo 24: Ruta variante línea 115 y perfil de elevación



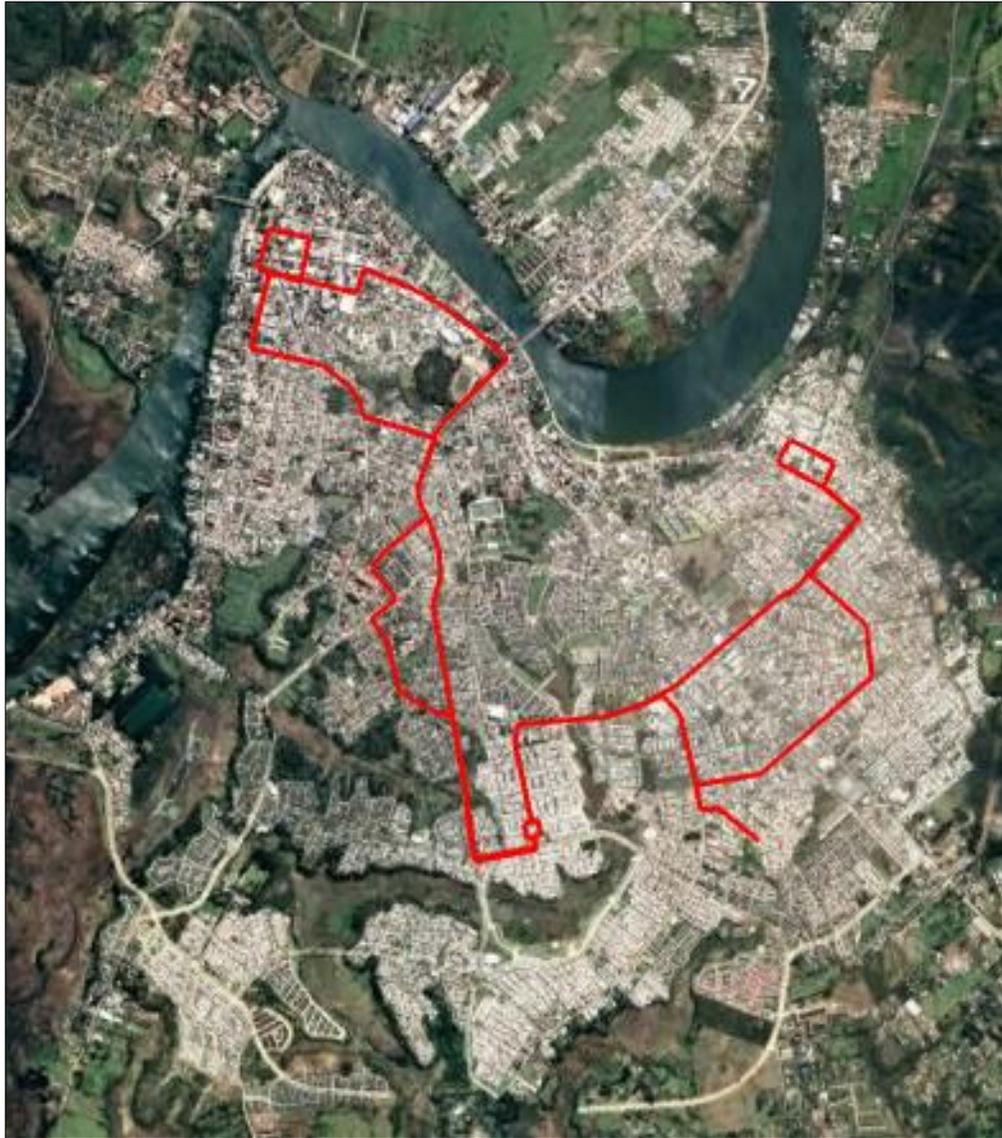
## Anexo 25: Ruta troncal línea 145 y perfil de elevación



## Anexo 26: Ruta variante línea 145 y perfil de elevación



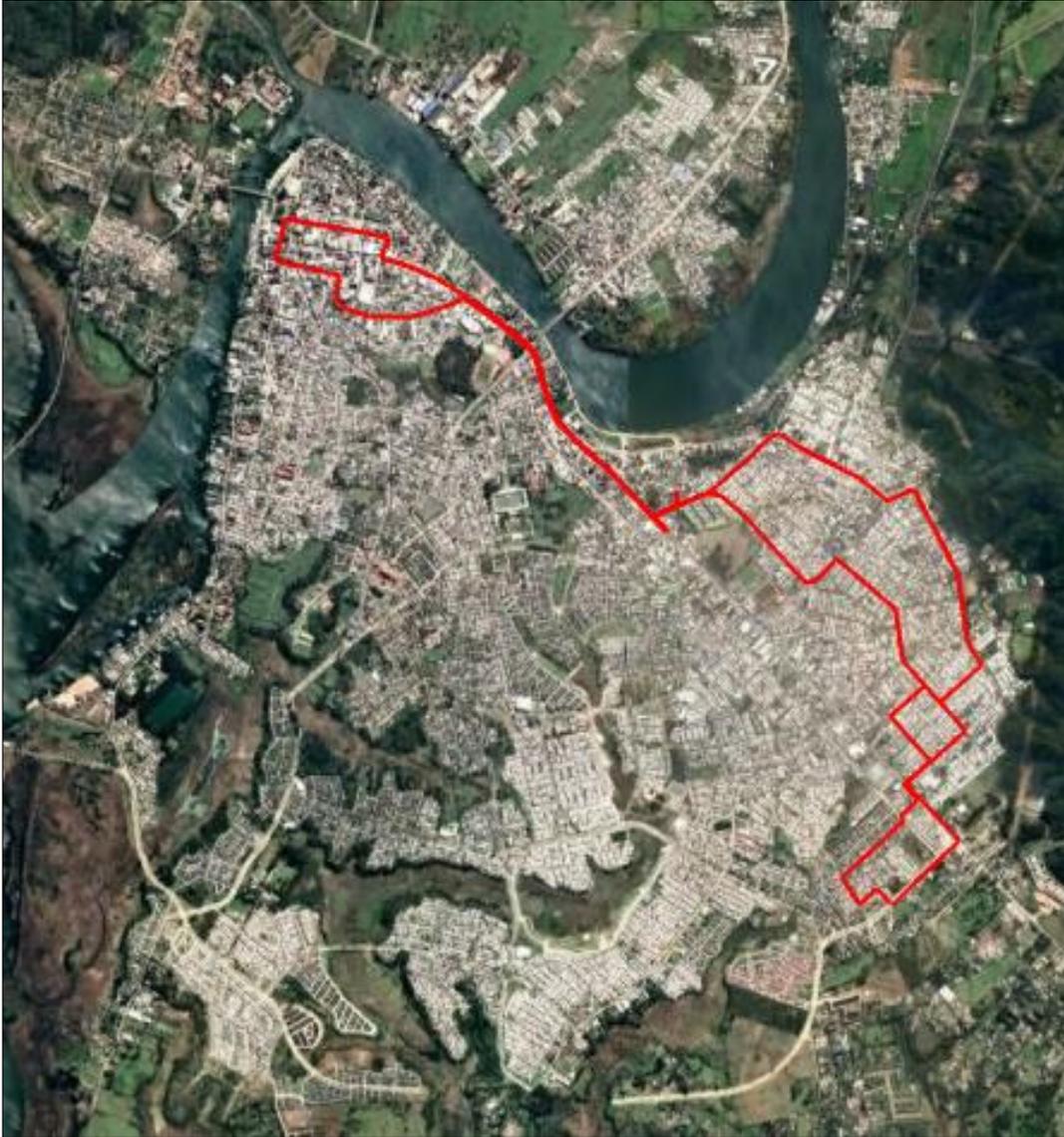
## Anexo 27: Ruta tronca línea 150 y perfil de elevación



## Anexo 28: Ruta variante línea 150 y perfil de elevación



## Anexo 29: Ruta tronca línea 450 y perfil de elevación



### Anexo 30: Ruta variante línea 450 y perfil de elevación



### Anexo 31: Ruta troncal línea 1010 y perfil de elevación



## Anexo 32: Ruta variante línea 1010 y perfil de elevación

