



# CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIÉSEL A ELÉCTRICOS: MODELO DE INCORPORACIÓN AL SISTEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO

GONZALO IGNACIO ROCHA DIAZ

PROFESOR(ES) GUÍA: CRISTIAN PALMA INFANTE, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

SANTIAGO – CHILE  
2023



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

# CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIÉSEL A ELÉCTRICOS: MODELO DE INCORPORACIÓN AL SISTEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO

POR: GONZALO IGNACIO ROCHA DIAZ

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

**PROFESOR GUIA:** Cristian Palma Infante, PhD

**PROFESOR INTEGRANTE 1:** Jose Luis Salazar N., PhD

**PROFESOR INTEGRANTE 2:** Lorenzo Reyes-Bozo, PhD

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial y de  
Sistemas.

Diciembre, 2023

Santiago, Chile

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIÉSEL A ELÉCTRICOS: MODELO DE INCORPORACIÓN AL SISTEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o coautoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



GONZALO IGNACIO ROCHA DIAZ

Firma

*A Camila,  
persona fundamental en mi vida  
Que ha estado de manera incondicional.  
A todos nuestros proyectos  
que tendremos juntos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primero que todo a todos los docentes de la Universidad, ya que sin ninguna duda si no fuese por su profesionalismo, ayuda y apoyo esto no hubiese sido posible. En particular al profesor Hector Valdés-González, que me dio la capacidad de mirar de forma distinta los desafíos y obstáculos, al profesor Cristian Palma Infante quien fue mi guía en esta etapa final de este proceso y me dio las herramientas necesarias para poder sortear este último desafío. También agradecer a Rodrigo Cáceres y Jairo Rico, quienes me ayudaron y apoyaron a poder realizar este proyecto, tanto en conocimiento, como en empatía para poder estudiar sin mayores complicaciones.

A mis compañeros de trabajo, quienes me brindaron su apoyo en la toma de entrevistas, tanto por su disposición como por la calidad de las entrevistas obtenidas, sin duda si no hubiese sido por ellos este trabajo no hubiese tenido sustento alguno.

Quiero agradecer a Camila, mi compañera incondicional durante mi vida y pilar importante, quien me incentivó a adentrarme en esta gran y linda aventura, tu apoyo constante ha sido la fuerza impulsora que me ha permitido superar los desafíos y obstáculos que surgieron en el camino. Tu paciencia, aliento y comprensión han sido mi fuente de inspiración, motivándome a dar lo mejor de mí en cada fase de este arduo proyecto.

A mis padres, dándome el apoyo de tener la base y opción de estudiar y motivarme a continuar este lindo proceso de aprendizaje continuo. A mis hermanos por motivarme a lanzarme en este proceso.

A mi segunda familia (familia de Camila), quienes a medida que ha pasado el tiempo se han convertido en una gran red de apoyo, a todos ellos muchas gracias.

Por último, un agradecimiento en especial a todo el personal de salud que estuvo a mi lado en mi periodo de enfermedad durante el año 2021. A Rodrigo Leyton por ser partícipe y asegurarse de que todo saliese bien y Mauricio Rodriguez, quien me apoyó en el proceso de asimilar todo esto y darme las herramientas para enfrentar la vida de forma distinta.

# CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIÉSEL A ELÉCTRICOS: MODELO DE INCORPORACIÓN AL SISTEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Gonzalo Ignacio Rocha Díaz

Bajo la supervisión del Profesor Cristian Palma Infante, PhD en la Universidad del  
Desarrollo de Chile

## *Resumen*

Este trabajo presenta un estudio realizado a la empresa de transporte público metropolitano Voy Santiago, en el contexto de aumentar su flota eléctrica mediante un plan de reutilización de buses que cumplieron su vida útil y están obsoletos, modificando su fuente energética de acuerdo a los lineamientos del transporte público durante la siguiente década. El objetivo de esta investigación es proponer un modelo de conversión diésel-eléctrico de buses de transporte público para su reincorporación al sistema de transporte Red de Movilidad Metropolitana. Para lograrlo se propone una aproximación cualitativa, basada en entrevistas semi estructuradas a las opiniones de 8 informantes claves (gerente, jefes de mantenimiento e ingenieros) para la comprensión de cuáles y cuántos son los indicadores claves, necesarios para implementación operacional y financiera de un proceso de transformación energética de buses, así como la interacción entre variables, parámetros y etapas del modelo. Los datos muestran que, la conversión de un bus diésel a eléctrico y estándar "Red", resulta ser una fuente confiable de suministro de buses y asegura un estándar similar a los buses que circulan actualmente de manera más económica. Sin embargo, dicho proceso requiere, además, de un cambio de regulación que permita esta operación. En síntesis, la reconversión de diésel-eléctrico en el marco de la electromovilidad para el sistema de transporte "Red", resulta en un proceso que permite la inversión local huella de carbono que generan cada una de las empresas operadoras de transporte privada, reactivando la economía, desde un foco de reducción de costos, economía circular y la y la huella de carbono que generan cada una de las empresas operadoras de transporte.

Palabras clave: Red de movilidad metropolitana; Economía circular; Electromovilidad; Huella de carbono; Renovación de flota; Retrofit; Reutilización de componentes.

## HIGHLIGHTS

# CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIÉSEL A ELÉCTRICOS: MODELO DE INCORPORACIÓN AL SISTEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO

GONZALO IGNACIO ROCHA DIAZ

- Propone conversión de buses en desuso a eléctrico y operar nuevamente en transporte
- Estima análisis cualitativo de indicadores clave con entrevistas semiestructuradas
- Considera muestra de 8 entrevistas a profesionales con experiencia en transporte
- Conversión de buses resulta viable y más económica aumentando su vida útil
- Implementa la reutilización de buses y aumenta la electromovilidad en el transporte

# ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1	CONVERSIÓN DE BUSES DIÉSEL COMO SUMINISTRO DE BUSES PARA EL NUEVO SISTEMA RED .....	10
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA .....	10
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO .....	14
1.4	OBJETIVO GENERAL .....	14
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i> .....	15
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA .....	15
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO .....	17
<b>2</b>	<b>INFORMACIÓN Y RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS .....	19
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN .....	22
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS: .....	22
2.4	ANÁLISIS DE DATOS .....	24
2.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	30
2.6	MODELO PROPUESTO POR EL ESTUDIO .....	32
<b>3</b>	<b>ARTÍCULO .....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>46</b>
4.1	PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS (AGREGAR DEBILIDADES) .....	47
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>ANEXO: REPORTE DE PLAGIO .....</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1 FACTORES QUE PODRÍAN PONER EN RIESGO LA CONVERSIÓN DE BUSES. ELABORACIÓN PROPIA .....	28
FIGURA 2 NIVEL DE ACEPTACIÓN DE LOS BUSES CONVERTIDOS. ELABORACIÓN PROPIA .....	30
FIGURA 3 MODELO Y VARIABLES QUE IMPACTAN EN LA CONVERSIÓN DE BUSES A ELÉCTRICOS. ELABORACIÓN PROPIA .....	33
TABLA 1 PREGUNTAS QUE COMPONEN LA ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA. ELABORACIÓN PROPIA .....	21
TABLA 2 CATEGORÍAS CLAVE PARA CADA UNA DE LOS ÍTEMS DEL CUESTIONARIO. ELABORACIÓN PROPIA .....	22

## 1 INTRODUCCIÓN

La compañía operadora de buses Voy Santiago es parte del actual sistema Red de movilidad metropolitana (ex Transantiago), la cual fue fundada en 2020 y fusiona más de dos décadas de experiencia en la industria del transporte en América Latina. En Chile, comenzó su actividad al brindar servicios a concesionarios del Sistema RED de Transporte Público en la ciudad de Santiago. Tras operar durante más de un año con excelentes resultados en términos de regularidad y frecuencia, Voy Santiago se integró oficialmente al sistema en noviembre de 2021 como operadora de la Unidad N°4. Esta unidad conecta comunas distantes como Pudahuel, Lo Barnechea, La Reina, Peñalolén y Las Condes, gestionando 41 servicios y recorriendo 120 mil kilómetros al mes (Voy Santiago, 2022). Actualmente su operación cubre principalmente el sector sur de la capital, ofreciendo servicios en las comunas de San Bernardo, Cerrillos, La Cisterna, El Bosque, La Florida, Lo Espejo y La Pintana con una flota de más de 500 buses, la mitad de ellos cumplen con el estándar del anterior sistema de transporte.

La compañía se encuentra en un proceso de modernización de su flota, desde el año 2022 cuenta con una flota de 265 buses diésel y 2 buses eléctricos que cumplen el nuevo estándar de transporte (bajas emisiones contaminantes y servicios a bordo de última tecnología (Wi-Fi, cargadores USB y aire acondicionado, entre otros). Además, dentro del primer trimestre del año 2023 inicia la operación de 214 buses eléctricos nuevos, reemplazando a la antigua flota de estándar Transantiago. Luego de la entrada en operación de estos buses, la compañía quedará con alrededor de 450 buses diésel en desuso en total (estándar Transantiago) y en caso de no encontrar algún uso para esta flota su destino será la chatarrización.

Es por esto que desde el año 2022 se han buscado alternativas para mantener en funcionamiento esta flota, ya sea para fines privados o públicos. Voy Santiago espera que desde el segundo semestre del año 2024 esté definido el destino final para esta flota de buses. Una propuesta es la reutilización y posterior reinserción al sistema de transporte público mediante la conversión de su sistema de propulsión de combustión interna a una 100% eléctrica, acompañada de una reparación y conversión de su carrocería para cumplir el estándar del sistema actual. Este bus ya convertido pasará por el proceso de homologación el que le permitirá transitar por la ciudad y transportar pasajeros.

Voy Santiago se caracteriza por ser una empresa en búsqueda de una innovación constante mediante la optimización y mejora en sus procesos, la conversión de buses promueve la economía circular y propone poder contar con una flota de primer nivel disponible para operar nuevamente en el sistema de transporte público o ofrecer sus servicios para posibles proyectos privados.

### **1.1 Conversión de buses Diésel como suministro de buses para el nuevo sistema Red**

Dado este contexto, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento: ¿Cuáles son los indicadores y variables clave que impactan la conversión de buses Diésel ya terminada su vida útil a una de propulsión 100% eléctrica?

En efecto, Voy Santiago no cuenta con un modelo de reconversión de buses y actualmente se encuentra explorando distintas alternativas para poder electrificar su flota en desuso.

### **1.2 Breve discusión de la literatura**

La Red Metropolitana de Movilidad (o Red), conocida como Transantiago de 2006 a 2019, es el sistema de transporte público que opera dentro de la ciudad de Santiago, Chile, que incluye servicios de buses, metro y trenes suburbanos (Maillet y Carrasco, 2019). Actualmente, el servicio de buses cuenta con una flota de 7.279 vehículos operados por seis empresas (u operadores) de transporte, con 382 rutas diferentes que cubren el área metropolitana de Santiago y una demanda estimada de pasajeros de 5,8 millones de usuarios. Los primeros buses del Transantiago fueron buses con motores diésel de combustión interna dejando atrás a las antiguas “micro amarillas”. Entre las marcas más utilizadas de buses están Mercedes Benz, Volvo y Scania. (Lizama Valenzuela, 2021).

Transantiago puso en funcionamiento los primeros buses eléctricos a partir de noviembre de 2017 y desde entonces el número de buses ha ido aumentando paulatinamente. A agosto de 2020 se encontraban en funcionamiento un total de 676 autobuses eléctricos, lo que representa el 9,3% de la flota total (Lizama Valenzuela, 2021), posicionando a Santiago como la ciudad con la mayor cantidad de autobuses eléctricos después de China. Todos estos vehículos eléctricos se abastecen exclusivamente de baterías que se cargan en las terminales, lo que implica que no hay autobuses híbridos (que combinen motores de combustión interna

y eléctricos), trolebuses (que obtienen electricidad de cables a lo largo de la ruta) ni autobuses eléctricos con carga en movimiento o en puntos específicos de la ruta. Junto con la introducción de una considerable cantidad de autobuses diésel Euro VI, estas dos tecnologías limpias constituían más del 30% de la flota total de autobuses del sistema, generando un impacto positivo en la reducción de contaminantes locales y globales, además de disminuir el nivel de ruido (Herrán, Moenne y Krause, 2021).

La inclusión de esta nueva flota, que además presenta un nuevo estándar de calidad para los usuarios, ha sido muy apreciada por estos últimos. En sus primeros viajes con estos autobuses nuevos, los usuarios les han otorgado una calificación superior en comparación con los autobuses anteriores. La llegada de la movilidad eléctrica ha transformado a Santiago en un escenario global para poner a prueba nuevas tecnologías en el ámbito del transporte público. Diversos fabricantes de autobuses han manifestado interés en experimentar con variantes como autobuses eléctricos articulados y rígidos, e incluso un autobús con ejes direccionales en ambos extremos (Herrán, Moenne y Krause, 2021).

Para llevar a cabo este propósito, el operador de transporte Voy Santiago está en proceso de evaluación y posterior implementación de un modelo en el que los buses con más de 10 años de funcionamiento (cumpliendo ya su vida útil dentro del sistema Transantiago) se les cambia su sistema de propulsión a combustión por uno totalmente eléctrico con el fin de reinsertarlos en el sistema de transporte.

En la reconversión se aplicará el método Retrofit (Martínez Correa, 2022), que consiste en retirar el motor (junto a la transmisión) del bus e instalar un motor (o motores) eléctrico(s) que se encargue de la propulsión. Este(os) motor(es) son alimentados mediante un pack de baterías que se instalarán en un sector dentro del chasis del bus.

### **Electrificación de flota**

De acuerdo a lo recopilado por (Fragozo, 2019) para dar una solución a los problemas de contaminación que pasan las distintas ciudades, se están buscando la opción de buscar vehículos más amigables con las grandes ciudades, los denominados vehículos de combustión alternativos (AFV por sus siglas en inglés), su gama inicia en buscar un método

combustible alternativo (bio-gas, por ejemplo) o como la alternativa que ha empezado a ganar peso en la actualidad: los vehículos eléctricos.

Este tipo de vehículos puede lograr reducir en hasta 20 veces las emisiones de NO<sub>x</sub> y hasta 4 veces menos de partículas en suspensión que su similar en combustión interna, por lo que este tipo de tecnología se marca como pionera en el proceso de renovación de flota para el siguiente periodo.

Según lo indicado por (Fragozo, 2019) y en conjunto a lo indicado anteriormente, la incorporación de buses eléctricos al sistema de transporte no está exenta de obstáculos que se deben tener presente: el primer punto a considerar es la oferta disponible en el mercado, aunque los esfuerzos de por parte de fabricantes y gobiernos la penetración de este tipo de buses es bastante baja, esto se apoya fuertemente al alto valor de adquisición de este (apalancado principalmente por el alto costo de las baterías). El segundo punto a tener en consideración es lo relativamente nueva de esta tecnología, por lo que existe una gran incertidumbre en términos de conocimiento e infraestructura apta para su carga junto con los tiempos largos que esto implica (mínimo dos horas para que pueda cargar al 100%), por lo que la autonomía es crucial para poder determinar si es conveniente o no.

### **Bus eléctrico en Chile**

De acuerdo con (Romero y Ramirez, 2020) los resultados del análisis del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) y el costo de ciclo de vida (LCC por sus siglas en inglés) de las flotas de autobuses eléctricos, con un suministro eléctrico 100% renovable, son menos contaminantes y tienen un menor costo total de propiedad que las flotas de autobuses diésel. Por lo tanto, la inclusión de autobuses eléctricos en el transporte público y la transición hacia una matriz energética más limpia son acciones clave para la descarbonización en Chile. Los autobuses eléctricos generan menos emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y material particulado (PM en inglés) en su fase de uso cuando se utiliza electricidad renovable, aunque en su ciclo de vida completo, los autobuses diésel pueden tener menores emisiones debido a la dependencia de las matrices energéticas en la fabricación. Sin embargo, la transición energética en Chile hace que los autobuses eléctricos sean más limpios en su fase de uso. Además, los autobuses eléctricos tienen un menor costo total de propiedad debido a su

eficiencia energética y menor costo de mantenimiento en comparación con los autobuses diésel. De acuerdo con lo expuesto por (Rojas, 2022) se sugiere realizar un análisis futuro extrapolando los resultados a vehículos de otras dimensiones y se proponen mejoras adicionales para futuros estudios, como analizar el rendimiento de las flotas debido a la degradación del banco de baterías y considerar otras tecnologías como bio-combustibles, combustibles sintéticos y/o hidrógeno, por ejemplo.

### **Electromovilidad y Retrofit en el mundo**

Según (Zagorodny, 2023) América Latina muestra avances en electromovilidad, con países como Chile, Colombia, Perú, Brasil y Uruguay liderando la electrificación de sus flotas de transporte público. Se ha observado una tendencia regional en la formulación de estrategias nacionales de movilidad eléctrica. Varios países ya tienen políticas establecidas, mientras otros están en proceso de desarrollo. Existe legislación que incentiva la importación y uso de vehículos eléctricos, y algunos países también han implementado regulaciones para promover la eficiencia energética de sus flotas de vehículos. La interoperabilidad de la recarga es un tema crucial para el escalamiento de la electromovilidad, y algunos países han avanzado en el estudio de normativas al respecto. Además, se han desarrollado compendios regulatorios para proteger zonas ecológicas y turísticas.

Actualmente, Europa se encuentra un paso más adelante en políticas de incentivo de cambio de vehículos de combustión interna a eléctricos. Además, ya varios países cuentan con el proceso de conversión de vehículos con motor de combustión interna a eléctrico normado y a disposición de ejecución. Es el caso de Alemania, que en promedio la conversión de un bus de pasajeros tiene un valor que oscila entre 13.000 y 15.000 euros (Hoeft, 2021).

De acuerdo con lo expuesto por (Martínez Correa, 2022) la aplicación de Retrofit a la flota que está a término de su vida útil y que se encuentre en buen estado resulta una alternativa viable para el país para cumplir su plan de descarbonización y aumento del parque móvil eléctrico a un costo menor en comparación a la adquisición de un bus eléctrico de fábrica y tiene un gran potencial de ejecución en empresarios dueños de pequeñas flotas de buses, e inclusive, de operadores de buses para el transporte público. El costo mayor será absorbido por la primera unidad (prototipo) y a medida que se vayan produciendo más conversiones el

costo unitario irá decreciendo. Por último, aunque es una gestión innovadora no tendrá una duración tan extensa, debido a las políticas públicas que desde el año 2035 solo se comercializarán buses eléctricos (Ministerio de Energía de Chile, 2021).

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que no existe, para el caso de la empresa Voy Santiago, información suficiente o certeza, respecto de un modelo incorporación de flota mediante la conversión de buses diésel a eléctrico. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

### **1.3 Contribución del trabajo**

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido la intención del país de permitir e incentivar la conversión de este tipo de vehículos de combustión interna a eléctrico, regulando los requisitos y entes certificadores para asegurar que funcionen en óptimas condiciones (Ley 21.505, 2022).

Se propone entonces la explicitación de las variables clave y los indicadores que participan dentro del proceso y que deben considerarse para la implementación de este modelo de conversión de buses (Retrofit).

En este sentido contribuye a la incorporación de un modelo de conversión de buses cumpliendo con las directrices del sistema de transporte público metropolitano con respecto a la electrificación de los buses operativos dentro del sistema.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

### **1.4 Objetivo general**

Proponer un modelo de conversión diésel-eléctrico de buses de transporte público para su reincorporación al sistema de transporte Red de Movilidad Metropolitana.

### 1.4.1 Objetivos específicos

- Estudiar los requisitos necesarios para convertir buses diésel a eléctrico
- Analizar la factibilidad de reincorporar buses convertidos a eléctrico en el sistema de transporte público metropolitano
- Proponer un modelo que considere los actores clave en la conversión de buses eléctricos

### 1.5 Propuesta metodológica

**Paradigma y Diseño:** Se optó por la utilización un enfoque cualitativo, entendido como una actividad sistemática destinada a conocer las variables que afectan al transporte público y su incorporación a la flota reacondicionada (Sánchez, 2019). Utilizamos un enfoque explicativo porque sentimos que era más apropiado desde un punto de vista holístico para el descubrimiento de los factores presentes en este proceso.

**Datos utilizados para este estudio:** Los datos se obtuvieron a través de entrevistas semi estructuradas aplicadas en una empresa operadora del transporte público de Santiago, entre el área de mantenimiento y la alta gerencia. El criterio utilizado condujo a que se seleccionaran Ingenieros del área de mantenimiento y miembros de la alta administración de la empresa (administrativos, jefes y gerentes). En total participaron 8 miembros de la empresa, que constituyen un 12% del área administrativa, con una edad promedio de 41 años, con un máximo de 53 años y un mínimo de 31 años. En promedio poseen 3 años dentro de la empresa y 15 años dentro de la industria, con un mínimo de 4 años y un máximo de 24 años.

**Entorno:** El estudio se lleva a cabo dentro de la compañía Voy Santiago, la cual fue fundada en 2020 y fusiona más de dos décadas de experiencia en la industria del transporte en América Latina. En Chile, comenzó su actividad al brindar servicios a concesionarios del Sistema RED de Transporte Público en la ciudad de Santiago. Tras operar durante más de un año con excelentes resultados en términos de regularidad y frecuencia, Voy Santiago se integró oficialmente al Sistema en noviembre de 2021 como operadora de la Unidad N°4. Esta unidad conecta comunas distantes como Pudahuel, Lo Barnechea, La Reina, Peñalolén y Las Condes, gestionando 41 servicios y recorriendo 120 mil kilómetros al mes. Además, abarca

29 comunas en la Región Metropolitana y moviliza a más de seis millones de personas cada mes. La empresa cuenta con una plantilla de casi 1.900 empleados, incluyendo 275 profesionales y técnicos, y logró generar ganancias superiores a 1.800 millones de pesos en el año 2021 (Voy Santiago, 2022).

**Instrumento:** Para los grupos de discusión se utilizaron dos tipos de instrumentos para recoger los datos: por un lado, una grabadora de voz y por otro lado un documento que representa las repuestas de la entrevista semi estructurada realizada al personal seleccionado de la empresa.

La entrevista propuesta consta de 13 preguntas, todas ellas de respuesta abierta, tal como se detalla en la siguiente lista:

***Etapa 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad***

1. ¿Cuál cree usted que es el nivel de conocimiento que posee la población acerca de la conversión de vehículos eléctricos realizada en Chile?
2. ¿Qué entiende usted por un proceso de conversión de un bus de propulsión diésel a 100% eléctrico?
3. ¿De dónde proviene la necesidad u oportunidad de realizar un proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?
4. En la práctica, ¿Cómo opera hoy el proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?

***Etapa 2: Propuestas de alto impacto***

5. ¿Cómo cree usted que se podría implementar la conversión de buses dentro del sistema de transporte público metropolitano?
6. ¿Cuáles serían los aspectos relevantes que se deben considerar para la conversión de buses?
7. Estando en operación este tipo de buses, ¿Cuáles cree usted que serían los indicadores a controlar para asegurar un correcto funcionamiento?
8. ¿Cómo cree usted que se pueda preservar este modelo de conversión en el futuro?, considerando que desde 2030 solo ingresarán buses eléctricos al sistema
9. ¿Qué modelo de conversión sería el idóneo para la conversión de buses?

### ***Etapa 3: Alertas sobre transformaciones***

10. ¿Qué factores podrían poner en riesgo la conversión de buses?
11. ¿Qué alternativas se podrían proponer para mitigar estos riesgos?
12. Considerando la puesta en operación de estos buses, ¿Cómo cree que sería la aceptación de parte de los usuarios de estos buses convertidos?
13. Considerando los riesgos de conversión en la región metropolitana ¿Qué tan viable sería la conversión de buses diésel a eléctricos en regiones?

**Método de verificación y validación del instrumento:** Con el fin de validar el instrumento de investigación, éste fue analizado por dos expertos chilenos independientes, que a su vez entregaron retroalimentación del mismo, para alinearlos con los objetivos propuestos.

**Análisis de datos:** De acuerdo a lo expuesto por (García, 2020), para el análisis de las respuestas, se aplicó un proceso de categorización. Se utilizó un enfoque deductivo para identificar los criterios que nos permitieron examinar las variables que influyen en la transformación de buses a eléctricos. Al mismo tiempo, hemos mantenido un enfoque inductivo para estar atentos a las situaciones que podrían surgir de los documentos y las observaciones. Esta categorización representa una selección de factores y elementos que consideramos relevantes (Lopezosa, 2023). Sin embargo, reconocemos que, debido a la amplitud de la temática y su práctica, esta categorización podría ampliarse aún más.

**Ética:** Durante la investigación se priorizó la integridad hacia las personas y los datos. Se mantuvo un enfoque ético al respetar a los participantes, sin juzgar sus respuestas o preferencias. No se intentó alterar sus características individuales ni se ejerció presión para su participación. Los participantes no estaban en posiciones vulnerables ni con enfermedades mentales diagnosticadas. Los datos son exclusivos de este proyecto y se conservarán por 2 años después de su publicación. Se obtuvo el consentimiento informado previo a las entrevistas.

### **1.6 Organización y presentación de este trabajo**

Este trabajo de grado posee cuatro capítulos principales y se organiza como sigue:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su

contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Asociado a recogida de información, modelos y datos. También explicita resultados.

Capítulo 3: El proyecto de grado, se presenta en formato resumido en un artículo académico que se estructura de la siguiente manera:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
  - a. Bus eléctrico en Chile
  - b. Electromovilidad y Retrofit en el mundo
4. Metodología
  - a. Paradigma y Diseño
  - b. Datos utilizados para este estudio
  - c. Entorno
  - d. Instrumento
  - e. Método de verificación y validación de instrumento
  - f. Análisis de datos
  - g. Ética
5. Resultados
  - a. Análisis de datos
  - b. Discusión de resultados
  - c. Modelo propuesto por el estudio
6. Conclusiones
7. Referencias

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias generales

Anexos

## **2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS**

Para abordar este trabajo de investigación se ha optado por una aproximación cualitativa, que permite considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y su análisis:

### **2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos**

Esta investigación analiza dentro de una empresa operadora del transporte público metropolitano la conversión de buses diésel en desuso a eléctricos como un acercamiento a la electromovilidad. Por tal motivo, se llevó a cabo en el año 2023 entrevistas con preguntas abiertas con la finalidad de recoger información para su posterior análisis. En particular se solicitó responder preguntas sobre temáticas relevantes, explicando sus ideas y respuestas con sus palabras.

El método utilizado en este estudio es de carácter descriptivo, dado que se miden y recolecta información de diferentes aspectos o dimensiones del elemento en la investigación.

Para validar este instrumento se realizó una entrevista de pilotaje, en la cual se realizaron los ajustes correspondientes

#### **Fechas en que se recogieron los datos:**

Entre el 06 de noviembre de 2023 y 11 de noviembre de 2018 se realizaron 5 entrevistas de acuerdo a lo planificado, durante la jornada laboral se concertó cada una de ellas.

El 17 de noviembre se pudo coordinar una entrevista de manera extraordinaria con un jefe de mantenimiento que tuvo la oportunidad en ese momento.

El 20 de noviembre se realizó la entrevista al Gerente de Mantenimiento, la cual tuvo que pausarse por casi 90 minutos ya que tenía que asistir a una reunión urgente con la fábrica de buses en China (adquisición de flota eléctrica nueva).

El 01 de diciembre de 2023 se realizaron las últimas 2 entrevistas a jefes de mantenimiento.

### **Coherencia con lo planificado:**

La entrevista propuesta inicialmente, debió ser modificada parcialmente desde el piloteo de la entrevista, agregando y modificando preguntas en sus etapas, para hacerla más precisa y coherente.

Se aplicó el mismo instrumento a todos los intervinientes.

Por temas de tiempo y de saturación de agenda, no se pudo realizar entrevista a tres miembros de la empresa (dos jefes y un ingeniero), se intentó reagendar en 3 oportunidades a cada uno de ellos, sin mayor éxito.

### **Fortalezas y debilidades del proceso:**

Fortalezas:

- Proceso rápido, entrevistas expeditas, salvo una
- Con consentimiento informado y transparencia en cada una de las preguntas
- Bien recibido por la empresa
- Permitió dar respuesta a la pregunta de investigación

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- Para generalizar resultados, la muestra debe ser mayor
- Considerar dentro de la investigación a otros operadores del transporte y empresas fabricantes de componentes de vehículos eléctricos
- Analizar más exhaustivamente la viabilidad de este proyecto mediante un análisis económico
- Proponer alternativas de uso para la flota convertida distintas al transporte público

### **Población y muestras**

Además de lo planteado en el marco metodológico, en la sección de población sobre la que se efectuará el estudio donde se identifica la muestra, se hace notar que para la selección de participantes se utilizó una muestra no probabilística ya que se

seleccionaron miembros de mantenimiento y gerencia, principalmente ingenieros y personas con vasta experiencia en el rubro dentro de la empresa.

## Instrumento

Como se indicó anteriormente, para recoger información sobre la conversión de buses diésel a eléctrico, se utilizó el cuestionario distribuido en tres etapas. Este cuestionario que sirve en una primera instancia para posicionar al entrevistado sobre el tema de la conversión de buses y su percepción respecto al tema. Este instrumento consta de 13 preguntas, todas respuestas abiertas, de la misma forma como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 1 Preguntas que componen la entrevista semiestructurada. Elaboración propia

1. ¿Cuál cree usted que es el nivel de conocimiento que posee la población acerca de la conversión de vehículos eléctricos realizada en Chile?
2. ¿Qué entiende usted por un proceso de conversión de un bus de propulsión diésel a 100% eléctrico?
3. ¿De dónde proviene la necesidad u oportunidad de realizar un proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?
4. En la práctica, ¿Cómo opera hoy el proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?
5. ¿Cómo cree usted que se podría implementar la conversión de buses dentro del sistema de transporte público metropolitano?
6. ¿Cuáles serían los aspectos relevantes que se deben considerar para la conversión de buses?
7. Estando en operación este tipo de buses, ¿Cuáles cree usted que serían los indicadores a controlar para asegurar un correcto funcionamiento?
8. ¿Cómo cree usted que se pueda preservar este modelo de conversión en el futuro?, considerando que desde 2030 solo ingresarán buses eléctricos al sistema
9. ¿Qué modelo de conversión sería el idóneo para la conversión de buses?
10. ¿Qué factores podrían poner en riesgo la conversión de buses?
11. ¿Qué alternativas se podrían proponer para mitigar estos riesgos?

12. Considerando la puesta en operación de estos buses, ¿Cómo cree que sería la aceptación de parte de los usuarios de estos buses convertidos?
13. Considerando los riesgos de conversión en la región metropolitana ¿Qué tan viable sería la conversión de buses diésel a eléctricos en regiones?

Este cuestionario se aplicó como elemento de consulta durante las entrevistas personales realizadas, previo consentimiento informado. A partir de dichas instancias se provoca un espacio de conversación en relación a la percepción que tienen los profesionales del transporte sobre las variables que impactarían en este proceso de conversión de buses en desuso.

## 2.2 Proceso de recogida de información

A continuación, presentamos los resultados del estudio en sus 3 etapas (13 preguntas). Para mejorar la comprensión se ha optado por incluir la información relevante para este artículo.

## 2.3 Los datos recogidos:

La agrupación de resultados por categorías claves, agrupando la información para su posterior análisis queda dada por la siguiente tabla.

Tabla 2 Categorías clave para cada una de los ítems del cuestionario. Elaboración propia

Ítems	Categorías
N1: ¿Cuál cree usted que es el nivel de conocimiento que posee la población acerca de la conversión de vehículos eléctricos realizada en Chile?	Conoce
	No conoce
	Si se realiza en Chile
N2: ¿Qué entiende usted por un proceso de conversión de un bus de propulsión diésel a 100% eléctrico?	Cambio motor diésel a eléctrico
	Cambio propulsión de diésel a eléctrico
	Baterías
	Controladores
N3: ¿De dónde proviene la necesidad u oportunidad de realizar un proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?	Medioambiental
	Economía circular
	Electromovilidad
	Costo operación
	Empresas privadas
	Prototipo

Ítems	Categorías
N4: En la práctica, ¿Cómo opera hoy el proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?	Cambio componentes
	Instalación controladores
	Carrocería sin cambio
	No conocimiento
N5: ¿Cómo cree usted que se podría implementar esta propuesta en el sistema de transporte público metropolitano?	Intervención Estado
	Ensamble local
	Inversión público-privada
	Licitación
	Estándar
	Prototipo
N6: ¿Cuáles serían los aspectos relevantes que se deben considerar para la conversión de buses?	Normativa
	Proveedores
	Homologación (3CV)
	Seguridad
	Estandarización
	Suministro eléctrico
	Operación (recorridos)
	Costos de inversión Personal calificado
N7: Estando en operación este tipo de buses, ¿Cuáles cree usted que serían los indicadores a controlar para asegurar un correcto funcionamiento?	Inconfiabilidad
	Indisponibilidad
	Costo por Km
	Seguridad
	Nivel aceptación usuario
	Indicador vandalismo
	Baterías
N8: ¿Cómo cree usted que se pueda preservar este modelo de conversión en el futuro?, considerando que desde 2030 solo ingresarán buses eléctricos al sistema	Muy de acuerdo
	Relativamente de acuerdo
	Poco de acuerdo
N9: ¿Qué modelo de conversión sería el idóneo para la conversión de buses?	Motor central
	Montor en cada rueda
	A evaluar
N10: ¿Qué factores podrían poner en riesgo la conversión de buses?	Normativa
	Altos costos
	Financiamiento
	Proveedores (oferta)
	Percepción usuario
	Tecnología Infraestructura

Ítems	Categorías
N11: ¿Qué alternativas se podrían proponer para mitigar estos riesgos?	Estado
	Tecnología
	Personal calificado
	Inversión
	Prototipo
	Gestión proveedores
N12: Considerando la puesta en operación de estos buses, ¿Cómo cree que sería la aceptación de parte de los usuarios de estos buses convertidos?	Buena aceptación
	Indiferente
	Mala aceptación
	Al principio mala, luego buena
N13: Considerando los riesgos de conversión en la región metropolitana ¿Qué tan viable sería la conversión de buses diésel a eléctricos en regiones?	Muy factible
	Factible
	No factible

## 2.4 Análisis de datos

### **Pregunta 1: ¿Cuál cree usted que es el nivel de conocimiento que posee la población acerca de la conversión de vehículos eléctricos realizada en Chile?**

Las respuestas a esta pregunta indican que un 75% de los entrevistados conoce al menos una empresa que realiza esta conversión dentro del país: “Si, en Chile actualmente hay 2 empresas que se dedican a la conversión de vehículos, una de ellas convierte buses para la minería y la otra empresa vehículos livianos” (Entrevistado 6, 53 años). Con esto podemos inferir que la conversión de buses es un tema que cada vez más se está dando a conocer. Además, el hecho que se tenga conocimiento de que en Chile ya existan empresas que se dedican a ello introduce un precedente para iniciar esta actividad.

### **Pregunta 2: ¿Qué entiende usted por un proceso de conversión de un bus de propulsión diésel a 100% eléctrico?**

Si revisamos las respuestas a esta pregunta anterior, aunque no todos tenían conocimiento de que es lo que era o lo que podría ser la conversión de buses, todos los entrevistados conoce o tiene cierta noción de los que es la conversión de buses: “Un Bus que tiene motor

propulsado con combustible se reemplaza por uno que se alimenta por energía y baterías” (Entrevistado 2, 31 años) o “Consiste en agregar baterías, cambiar el motor e instalar controladores del circuito y la carga de combustible” (Entrevistado 3, 33 años). Este resultado nos da seguridad en que este proceso, aunque pueda ser desconocido, se puede inferir preliminarmente como puede ser. Además, al momento de explicarles a grandes rasgos a los entrevistados que respondieron no conocer el proceso, se mostraron bastante motivados y con hartas expectativas de que la empresa decida comenzar la conversión de buses.

**Pregunta 3: ¿De dónde proviene la necesidad u oportunidad de realizar un proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?**

De acuerdo con esta pregunta, el 88% de las personas cree que el factor medioambiental es la problemática principal de convertir una flota de buses diésel, es por esto que implementar la conversión podría convertirse en una alternativa para reducir la huella de carbono. Un 38% de los entrevistados cree que una optimización de costos es una gran oportunidad para convertir, ya que “el precio para suministrar el combustible, ha estado bastante volátil, en 3 años se triplicó” (Entrevistado 2, 31 años) o también “...y el segundo un beneficio a largo plazo en términos económicos, reduciéndose el costo de mantenimiento, además de darle una segunda vida al bus reutilizándolo” (Entrevistado 3, 33 años). En resumen, un alto porcentaje de entrevistados cree que la problemática o necesidad principal es el generar un impacto positivo en reducir la contaminación ambiental sumado a un menor costo de operación de este tipo de buses en comparación a un bus diésel.

**Pregunta 4: ¿En la práctica como opera hoy el proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?**

Alrededor del 75% de los entrevistados no tiene mayor conocimiento de cómo opera la conversión de buses en la actualidad: “Yo no he visto o no tengo conocimiento de que se haga esta conversión de buses” (Entrevistado 5, 41 años). De los entrevistados que tienen noción del proceso de conversión afirma que el proceso debe considerar una etapa de pruebas a través de un prototipo, que considere rendimiento, autonomía y performance para los usuarios en un recorrido real, ya que de ello depende la real utilidad de la conversión.

**Pregunta 5: ¿Cómo cree usted que se podría implementar la conversión de buses dentro del sistema de transporte público metropolitano?**

Todos los entrevistados concuerdan que para llevar a cabo la conversión de buses es necesaria la participación del Estado a través del Ministerio de Transportes, ya que “Hay que hablar con el ministerio, hacer una propuesta donde se puedan ensamblar estos prototipos con las especificaciones que ellos necesitan y que ellos se hagan cargo del prototipo para que se validen” (Entrevistado 6, 53 años) y “Tiene que ser aprobado por el ministerio de transporte, validar que lo necesita dentro del sistema de transporte” (Entrevistado 4, 45 años). El 50% de los entrevistados cree que el proceso de conversión (desarme y ensamble) debe realizarse de manera local: “Esto daría más trabajo a chilenos”, (Entrevistado 1, 44 años). El 38% de los encuestados indica que el proceso debe considerar la fabricación de un bus prototipo para así asegurar el éxito del proceso. En resumen, hacer partícipe al Ministerio de transporte y realizar un prototipo se posicionan con unos de los pasos fundamentales a desarrollar.

**Pregunta 6: ¿Cuáles serían los aspectos relevantes que se deben considerar para la conversión de buses?**

Considerando esta pregunta, el 63% de los entrevistados considera que estandarizar el proceso de conversión como un aspecto relevante que se debe considerar para llevar a cabo la conversión de buses, “el bus debe ser homologado por el 3CV, que cumpla con los estándares de seguridad (Entrevistado 1, 44 años). Además, consideran que el factor seguridad debe ser cubierta a cabalidad para asegurar el éxito de estos buses. Otro factor a considerar es la necesidad que proviene del Ministerio de Transportes, la necesidad de implementar buses para operar recorridos: “La necesidad del transporte público, necesitamos los buses eléctricos” (Entrevistado 4, 45 años). Por último, el mismo porcentaje de entrevistados cree que el factor económico sobre la operación de los buses y la inversión que requiere la conversión de buses, “Cuanto es el gasto que tiene un bus nuevo versus uno convertido” (Entrevistado 8, 35 años) y “En general el tema costo, ver si es rentable por sobre traer uno nuevo” (Entrevistado 5, 41 años).

**Pregunta 7: Estando en operación este tipo de buses, ¿Cuál cree usted que serían los indicadores a controlar para asegurar un correcto funcionamiento?**

El 88% de los entrevistados concuerda que el indicador principal a controlar estos buses es el costo por kilómetro recorrido, el que incluye el costo de energía y los adicionales para poder mantener la flota operativa, “El estado de las baterías es algo importante a tener en cuenta, ya que cada una cuesta casi 8 millones de pesos” (Entrevistado 2, 31 años) y también el 50% de los entrevistados señala que los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de flota son importantes de controlar: “Medir la cantidad de fallas de un bus por kilómetro recorrido” (Entrevistado 4, 45 años). En definitiva, los indicadores principales para estos buses convertidos no son muy distintos a los controlados para una flota de buses eléctricos de fábrica.

**Pregunta 8: ¿Cómo cree usted que se pueda preservar este modelo de conversión en el futuro?, considerando que desde 2030 solo ingresarán buses eléctricos al sistema.**

El 100% de los entrevistados se mostró optimista al indicar que este proceso podría seguir en el futuro: “Habría que buscar un mercado de conversión para regiones o para la minería, cuando ya se traigan solo buses eléctricos a Santiago” (Entrevistado 4, 45 años), el éxito y continuidad del proyecto depende de la disponibilidad de buses diésel aptos para ser convertidos.

**Pregunta 9: ¿Qué modelo de conversión sería el idóneo para la conversión de buses?**

Para seleccionar el modelo de conversión idóneo, los entrevistados basaron su respuesta principalmente en reducir costos reutilizando una cantidad mayor de piezas, el 50% cree que el modelo ideal es reemplazar el motor a combustión interna y reemplazarlo por un motor eléctrico junto con su pack de baterías y controladores electrónicos, reutilizando la mayoría de sus componentes de tracción, “La primera sería ideal, para mantener la integridad del bus y sus costos” (Entrevistado 2, 31 años). En cambio, el 38% de los entrevistados considera que el método idóneo es el de instalar un motor en cada rueda (2) del eje de tracción, asegurando una mejor confiabilidad al requerir un mayor cambio de componentes usados por nuevos

(diferencial, entre otros), “Además de estar cambiando el motor se cambiaría todo el eje de tracción” (Entrevistado 1, 44 años).

### **Pregunta 10: ¿Qué factores podrían poner en riesgo la conversión de buses?**

Tal como indica la figura 1, de acuerdo a la opinión de los entrevistados, el factor costo de inversión es el que resulta ser el más crítico para que la conversión pueda llevarse a cabo, con un 75% de los entrevistados: “Si la inversión es mucha o superior y el tiempo de fabricación es prolongado creo que puede ser mejor comprar buses nuevos que convertirlos” (Entrevistado 8, 35 años), otro factor que consideran relevante es el de la tecnología que pueda estar disponible para la ejecución de la conversión de buses, el 63% de los entrevistados cree que puede ser decisivo al igual que la inversión de que pueda ejecutarse, “La tecnología, que no podamos acceder a esta tecnología para poder llevar a cabo la conversión” (Entrevistado 2, 31 años). Sin embargo, al contrario de lo que se podría suponer, solo un 38% de los entrevistados ve a la normativa vigente como un factor de riesgo. La mayoría de los entrevistados concuerdan que el factor costos y tecnología son preponderantes a la hora de convertir buses a eléctricos.

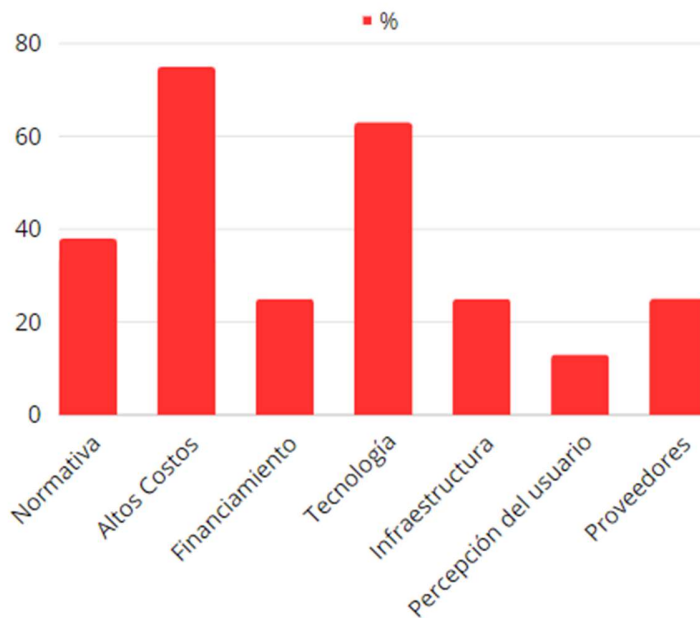


Figura 1 Factores que podrían poner en riesgo la conversión de buses. Elaboración propia

**Pregunta 11: ¿Qué alternativas se podrían proponer para mitigar estos riesgos?**

Para mitigar los riesgos asociados a los costos de inversión, los entrevistados concuerdan (con un 75% de las preferencias) en que se debe abordar alianzas estratégicas o acuerdos con proveedores de piezas y componentes a utilizar dentro de la conversión: “Evaluar con los proveedores que realizan las conversiones el costo de realizarlo y realizar alianzas estratégicas” (Entrevistado 6, 53 años) y en relación al riesgo de déficit de conocimiento o tecnología disponible, los entrevistados afirman que realizando un prototipo y probar su funcionamiento es una buena fuente de conocimiento y ayuda a sentar las bases de la conversión: “Primero realizar un prototipo, ver cómo anda y de ahí producir” (Entrevistado 4, 45 años).

**Pregunta 12: Considerando la puesta en operación de estos buses, ¿Cómo cree que sería la aceptación de parte de los usuarios de estos buses convertidos?**

De acuerdo a lo mostrado por la figura 2, el 88% de los entrevistados cree que estos buses tendrán en general una buena aceptación por parte de los usuarios, ya que promueve la economía circular y aporta a la disminución de partículas contaminantes al aire, pero esta evaluación está condicionada a que el bus convertido cumpla los estándares actuales de los buses que están circulando bajo el nuevo sistema Red de Movilidad Metropolitana: “Haciendo un tipo de ‘overhaul’ en la carrocería la opinión de la gente será buena” (Entrevistado 5, 41 años). Además, para conseguir esta aceptación de parte de los usuarios, el Ministerio de Transportes debe (a través de campañas publicitarias) informar a la ciudadanía de este nuevo tipo de bus y las ventajas que ofrece, “Se debe cumplir que el Estado realice una campaña informativa” (Entrevistado 1, 44 años). Por lo tanto, la conversión de buses tendría buena aceptación por parte del público, dejando esta variable controlada.

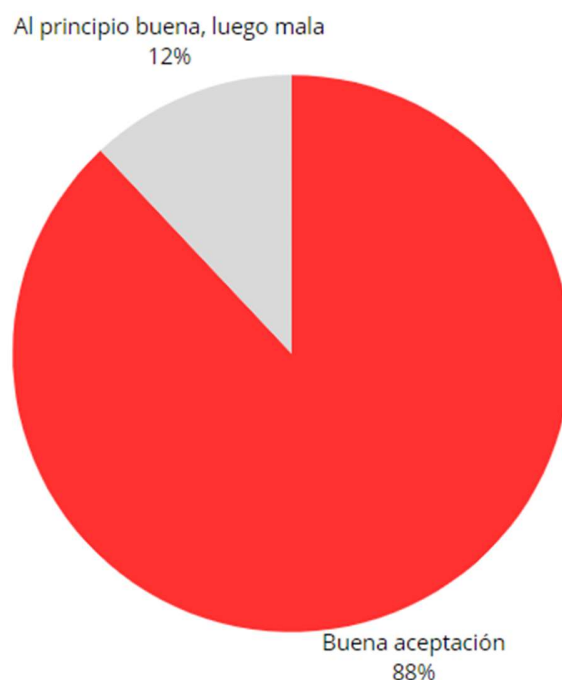


Figura 2 Nivel de aceptación de los buses convertidos. Elaboración propia

**Pregunta 13: Considerando los riesgos de conversión en la región metropolitana ¿Qué tan viable sería la conversión de buses diésel a eléctricos en regiones?**

Todos los entrevistados concuerdan que puede ser viable la conversión de buses en regiones, aunque indican que la estructura del sistema es distinta a la de Santiago, podría tener un gran éxito en primera instancia en las grandes ciudades: “Las exigencias en Santiago que en regiones es distinto, por ende, sería de forma distinta la adquisición de buses, ya el dueño de flota debiese adquirir la flota y dependerá de su presupuesto o de los proyectos del estado” (Entrevistado 3, 33 años).

**2.5 Discusión de resultados**

Considerando la primera etapa de caracterización del presente y comprensión de la realidad, es posible visibilizar que un porcentaje importante de los colaboradores concuerda en que la conversión de un bus con motor de combustión interna a uno de propulsión 100% eléctrico sería una alternativa viable para poder descarbonizar el transporte público de una forma sostenible y eficiente. Este hallazgo concuerda a los resultados propuestos por (Moreno,

2022) en que la inclusión de buses eléctricos apoyaría la descarbonización del transporte público. Además, creen pertinente para asegurar el éxito de esta conversión implementar el diseño y ensamble de un bus prototipo. En línea a lo indicado por (Rosas et al., 2022) el realizar un prototipo contribuye a la interiorización y por consiguiente realización de dicho plan que se esté ejecutando, ya que existe un alto nivel de incertidumbre si la conversión de la propulsión a combustión interna a una eléctrica sea factible de realizar. Otro punto relevante es contar con una etapa inicial de evaluación y diseño: considerando la flota apta para poder realizar la conversión (cumpliendo kilometraje y un buen estado en general de la carrocería y del chasis).

Por otro lado, los resultados recalcan la importancia que tiene que exista una regulación para poder realizar este tipo de procedimientos, esto está alineado con lo expuesto por (Rosas, 2022) sobre que debe haber una relación entre organizaciones y entes reguladores para poder homologar este tipo de vehículos.

Adicionalmente, la mayoría estima que tendrá un impacto positivo en los pasajeros, pero recalcan en que es necesario que el bus cuente con el mismo estándar con el que funciona actualmente un bus de estándar "Red" (Aire acondicionado, Wi-Fi a bordo, cargadores USB) y estéticamente sea presentado como un bus prácticamente nuevo, ya que creen que existe la posibilidad de que en las zonas donde transite este tipo de buses lo consideren como algo de nivel inferior al que tenga un bus eléctrico nuevo. Estos resultados contrastan a lo indicado por (Baruj et al., 2022), ya que ellos indican que el Retrofit puede ser una alternativa sustentable, pero no necesariamente implica una conversión del apartado estético y carrocería del bus, por lo que se centran principalmente en aumentar la oferta de buses eléctricos en desmedro que tengan un estándar de un bus nuevo actual.

Por último, los entrevistados concuerdan que el(los) encargado(s) de realizar la conversión de buses sean compañías dedicadas especializadas en dichos procesos, lo que permitiría aumentar la oferta de proveedores y en consecuencia contar con la posibilidad de acceder a mejores precios. Esto concuerda con lo expresado por (Baruj et al., 2022), acerca de que los fabricantes o convertidores de buses pueden desarrollar proveedores alternativos para que puedan fabricar sus partes, generando un ahorro en la adquisición de estas piezas.

Para abordar las brechas detectadas, se propone idear un modelo integral de conversión de buses, en el que se incluya una etapa inicial de evaluación de factibilidad dependiendo del requerimiento de Voy Santiago (o de algún otro operador o administrador de flota de buses diésel), para luego iniciar el diseño y elaboración del prototipo. Una vez validado y homologado por el organismo competente se procede con la conversión en serie de la flota seleccionada para este proyecto. El modelo propuesto no considera el mantenimiento de este tipo de buses una vez ya convertidos, ya que, de acuerdo a los entrevistados, este bus tendría el mismo mantenimiento y el mismo control de indicadores que el de un bus eléctrico de fábrica.

## **2.6 Modelo propuesto por el estudio**

Según las respuestas obtenidas y como se aprecia en la figura 3, existen 3 actores principales en la conversión de buses con motor de combustión interna a eléctrico: El Estado, la empresa convertidora y el operador que tendrá dentro de su operación estos buses. Como puntos principales a considerar dentro de la conversión, el Estado debe normalizar y legalizar esta conversión (que el vehículo pueda transitar por la calle y esté apto para transportar pasajeros) y luego de ello que exista la necesidad por parte del Ministerio de Transportes contar con este tipo de buses (principalmente para reducir la contaminación ambiental). Para el financiamiento se debe considerar inversión a través de subsidios o capital privado para invertir en las empresas convertidoras e incentivando a que inicien su operación y así ofrecer mayor oferta, y también para financiar la etapa inicial de proyección de costos y tiempos que tardaría la transformación (Martínez Correa, 2022), considerando dentro de esta evaluación si resulta rentable la utilización de un bus convertido eléctrico (tiempo de operación, flota requerida y características de la ruta para la combinación de baterías adecuada para asegurar continuidad operacional). Para que estos buses tengan una buena aceptación por parte de los usuarios es necesario que se creen campañas de difusión de las características y beneficios potenciales que puede significar el uso de este tipo de buses, tanto para cuidar el medioambiente como para la economía interna (Baruj et al., 2022).

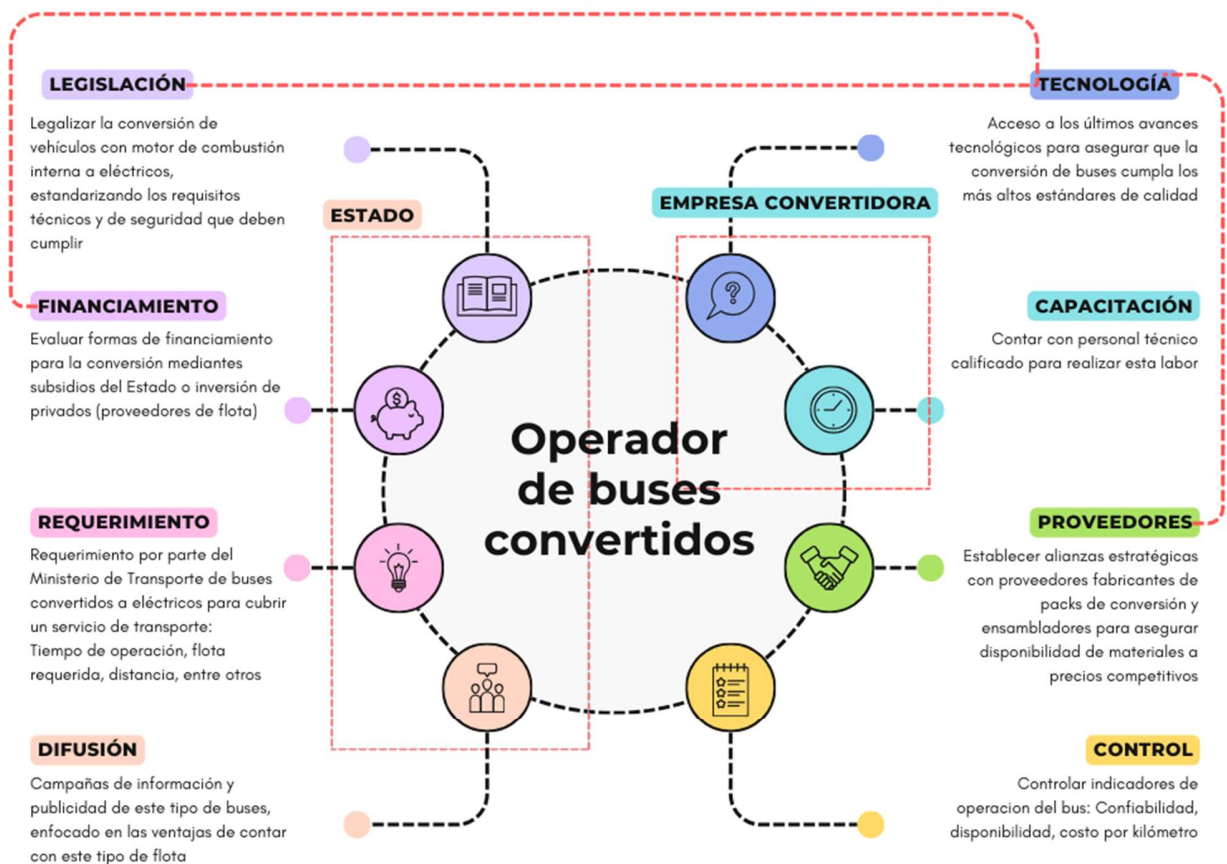


Figura 3 Modelo y variables que impactan en la conversión de buses a eléctricos. Elaboración propia

Una vez ya regularizado y normado el proceso de conversión de buses, la empresa convertidora debe ser capaz de estandarizar su proceso de acuerdo a las exigencias que fueron reguladas, a través de infraestructura adecuada y contar con el personal capacitado para ello.

El operador de buses debe ser capaz de crear alianzas estratégicas con las empresas que se encargarán de la conversión, como también de los distribuidores o fabricantes de piezas y componentes para poder asegurar la continuidad operacional de la flota convertida (mantenimiento), en conjunto a ellos debe invertir en tecnología y capacitación con el fin de contar con los más altos estándares de servicio.

Para asegurar el correcto desempeño y rendimiento de estos buses, es necesario realizar un seguimiento continuo a los indicadores de la operación y evaluar si es necesario hacer modificaciones a la conversión o evaluar directamente si es rentable o no operar con este tipo de buses.

Validando lo expuesto por (Fragozo, 2019), la conversión de buses debe venir aunada con asegurar una infraestructura adecuada para dar carga a los bus, seguido de la tecnología y capacitación del personal idóneo para su correcta mantención y por sobre todo asegurar una oferta de proveedores de componentes y piezas ideal para contar con un costo de adquisición adecuado.

### **3 ARTÍCULO**

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

# CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIÉSEL A ELÉCTRICOS: MODELO DE INCORPORACIÓN AL SISTEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Gonzalo Ignacio Rocha Díaz

## Resumen:

Este trabajo presenta un estudio realizado a la empresa de transporte público metropolitano Voy Santiago, en el contexto de aumentar su flota eléctrica mediante un plan de reutilización de buses que cumplieron su vida útil y están obsoletos, modificando su fuente energética de acuerdo a los lineamientos del transporte público durante la siguiente década. El objetivo de esta investigación es proponer un modelo de conversión diésel-eléctrico de buses de transporte público para su reincorporación al sistema de transporte Red de Movilidad Metropolitana. Para lograrlo se propone una aproximación cualitativa, basada en entrevistas semi estructuradas a las opiniones de 8 informantes claves (gerente, jefes de mantenimiento e ingenieros) para la comprensión de cuáles y cuántos son los indicadores claves, necesarios para implementación operacional y financiera de un proceso de transformación energética de buses, así como la interacción entre variables, parámetros y etapas del modelo. Los datos muestran que, la conversión de un bus diésel a eléctrico y estándar "Red", resulta ser una fuente confiable de suministro de buses y asegura un estándar similar a los buses que circulan actualmente de manera más económica. Sin embargo, dicho proceso requiere, además, de un cambio de regulación que permita esta operación. En síntesis, la reconversión de diésel-eléctrico en el marco de la electromovilidad para el sistema de transporte "Red", resulta en un proceso que permite la inversión local huella de carbono que generan cada una de las empresas operadoras de transporte privada, reactivando la economía, desde un foco de reducción de costos, economía circular y la y la huella de carbono que generan cada una de las empresas operadoras de transporte.

**Palabras clave:** Red de movilidad metropolitana; Economía circular; Electromovilidad; Huella de carbono; Renovación de flota; Retrofit; Reutilización de componentes.

## 1. Introducción

La Red Metropolitana de Movilidad (o Red), conocida como Transantiago de 2006 a 2019, es el sistema de transporte público que opera dentro de la ciudad de Santiago, Chile, que incluye servicios de buses, metro y trenes suburbanos (Maillet y Carrasco, 2019). Actualmente, el servicio de buses cuenta con una flota de 7.279 vehículos operados por seis empresas (u operadores) de transporte, con 382 rutas diferentes que cubren el área metropolitana de Santiago y una demanda estimada de pasajeros de 5,8 millones de usuarios. Los primeros buses del Transantiago fueron buses con motores diésel de combustión interna dejando atrás a las antiguas "micro amarillas". Entre las marcas más utilizadas de buses están Mercedes Benz, Volvo y Scania. (Lizama Valenzuela, 2021).

Transantiago puso en funcionamiento los primeros buses eléctricos a partir de noviembre de 2017 y desde entonces el número de buses ha ido aumentando paulatinamente. A agosto de 2020 se encontraban en funcionamiento un total de 676 autobuses eléctricos,

lo que representa el 9,3% de la flota total (Lizama Valenzuela, 2021), posicionando a Santiago como la ciudad con la mayor cantidad de autobuses eléctricos después de China. Todos estos vehículos eléctricos se abastecen exclusivamente de baterías que se cargan en las terminales, lo que implica que no hay autobuses híbridos (que combinen motores de combustión interna y eléctricos), trolebuses (que obtienen electricidad de cables a lo largo de la ruta) ni autobuses eléctricos con carga en movimiento o en puntos específicos de la ruta. Junto con la introducción de una considerable cantidad de autobuses diésel Euro VI, estas dos tecnologías limpias constituían más del 30% de la flota total de autobuses del sistema, generando un impacto positivo en la reducción de contaminantes locales y globales, además de disminuir el nivel de ruido (Herrán, Moenne y Krause, 2021).

La inclusión de esta nueva flota, que además presenta un nuevo estándar de calidad para los usuarios, ha sido muy apreciada por estos últimos. En sus primeros viajes con estos autobuses nuevos, los usuarios les han otorgado una calificación superior en comparación

con los autobuses anteriores. La llegada de la movilidad eléctrica ha transformado a Santiago en un escenario global para poner a prueba nuevas tecnologías en el ámbito del transporte público. Diversos fabricantes de autobuses han manifestado interés en experimentar con variantes como autobuses eléctricos articulados y rígidos, e incluso un autobús con ejes direccionales en ambos extremos (Herrán, Moenne y Krause, 2021).

Para llevar a cabo este propósito, el operador de transporte Voy Santiago está en proceso de evaluación y posterior implementación de un modelo en el que los buses con más de 10 años de funcionamiento (cumpliendo ya su vida útil dentro del sistema Transantiago) se les cambia su sistema de propulsión a combustión por uno totalmente eléctrico con el fin de reinsertarlos en el sistema de transporte.

En la reconversión se aplicará el método Retrofit (Martínez Correa, 2022), que consiste en retirar el motor (junto a la transmisión) del bus e instalar un motor (o motores) eléctrico(s) que se encargue de la propulsión. Este(os) motor(es) son alimentados mediante un pack de baterías que se instalarán en un sector dentro del chasis del bus.

### **Electrificación de flota**

De acuerdo a lo recopilado por (Fragozo, 2019) para dar una solución a los problemas de contaminación que pasan las distintas ciudades, se están buscando la opción de buscar vehículos más amigables con las grandes ciudades, los denominados vehículos de combustión alternativos (AFV por sus siglas en inglés), su gama inicia en buscar un método combustible alternativo (bio-gas, por ejemplo) o como la alternativa que ha empezado a ganar peso en la actualidad: los vehículos eléctricos.

Este tipo de vehículos puede lograr reducir en hasta 20 veces las emisiones de NOx y hasta 4 veces menos de partículas en suspensión que su similar en combustión interna, por lo que este tipo de tecnología se marca como pionera en el proceso de renovación de flota para el siguiente periodo.

Según lo indicado por (Fragozo, 2019) y en conjunto a lo indicado anteriormente, la incorporación de buses eléctricos al sistema de transporte no está exenta de obstáculos que se deben tener presente: el primer punto a considerar es la oferta disponible en el mercado, aunque los esfuerzos de por parte de fabricantes y gobiernos la penetración de este tipo de

buses es bastante baja, esto se apoya fuertemente al alto valor de adquisición de este (apalancado principalmente por el alto costo de las baterías). El segundo punto a tener en consideración es lo relativamente nueva de esta tecnología, por lo que existe una gran incertidumbre en términos de conocimiento e infraestructura apta para su carga junto con los tiempos largos que esto implica (mínimo dos horas para que pueda cargar al 100%), por lo que la autonomía es crucial para poder determinar si es conveniente o no.

### **Bus eléctrico en Chile**

De acuerdo con (Romero y Ramirez, 2020) los resultados del análisis del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) y el costo de ciclo de vida (LCC por sus siglas en inglés) de las flotas de autobuses eléctricos, con un suministro eléctrico 100% renovable, son menos contaminantes y tienen un menor costo total de propiedad que las flotas de autobuses diésel. Por lo tanto, la inclusión de autobuses eléctricos en el transporte público y la transición hacia una matriz energética más limpia son acciones clave para la descarbonización en Chile. Los autobuses eléctricos generan menos emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y material particulado (PM en inglés) en su fase de uso cuando se utiliza electricidad renovable, aunque en su ciclo de vida completo, los autobuses diésel pueden tener menores emisiones debido a la dependencia de las matrices energéticas en la fabricación. Sin embargo, la transición energética en Chile hace que los autobuses eléctricos sean más limpios en su fase de uso. Además, los autobuses eléctricos tienen un menor costo total de propiedad debido a su eficiencia energética y menor costo de mantenimiento en comparación con los autobuses diésel. De acuerdo con lo expuesto por (Rojas, 2022) se sugiere realizar un análisis futuro extrapolando los resultados a vehículos de otras dimensiones y se proponen mejoras adicionales para futuros estudios, como analizar el rendimiento de las flotas debido a la degradación del banco de baterías y considerar otras tecnologías como bio-combustibles, combustibles sintéticos y/o hidrógeno, por ejemplo.

### **Electromovilidad y Retrofit en el mundo**

Según (Zagorodny, 2023) América Latina muestra avances en electromovilidad, con países como Chile, Colombia, Perú, Brasil y Uruguay liderando la electrificación de sus flotas de transporte público. Se ha observado una tendencia regional en la formulación

de estrategias nacionales de movilidad eléctrica. Varios países ya tienen políticas establecidas, mientras otros están en proceso de desarrollo. Existe legislación que incentiva la importación y uso de vehículos eléctricos, y algunos países también han implementado regulaciones para promover la eficiencia energética de sus flotas de vehículos. La interoperabilidad de la recarga es un tema crucial para el escalamiento de la electromovilidad, y algunos países han avanzado en el estudio de normativas al respecto. Además, se han desarrollado compendios regulatorios para proteger zonas ecológicas y turísticas.

Actualmente, Europa se encuentra un paso más adelante en políticas de incentivo de cambio de vehículos de combustión interna a eléctricos. Además, ya varios países cuentan con el proceso de conversión de vehículos con motor de combustión interna a eléctrico normado y a disposición de ejecución. Es el caso de Alemania, que en promedio la conversión de un bus de pasajeros tiene un valor que oscila entre 13.000 y 15.000 euros (Hoeft, 2021).

De acuerdo con lo expuesto por (Martínez Correa, 2022) la aplicación de Retrofit a la flota que está a término de su vida útil y que se encuentre en buen estado resulta una alternativa viable para el país para cumplir su plan de descarbonización y aumento del parque móvil eléctrico a un costo menor en comparación a la adquisición de un bus eléctrico de fábrica y tiene un gran potencial de ejecución en empresarios dueños de pequeñas flotas de buses, e inclusive, de operadores de buses para el transporte público. El costo mayor será absorbido por la primera unidad (prototipo) y a medida que se vayan produciendo más conversiones el costo unitario irá decreciendo. Por último, aunque es una gestión innovadora no tendrá una duración tan extensa, debido a las políticas públicas que desde el año 2035 solo se comercializarán buses eléctricos (Ministerio de Energía de Chile, 2021).

Aunque aún no se encuentra normado, ha consolidado la motivación de este estudio la intención del país permitir e incentivar la conversión de este tipo de vehículos de combustión interna a eléctrico, regulando los requisitos y entes certificadores para asegurar que funcionen en óptimas condiciones (Ley 21.505, 2022).

Entendida esta realidad, y considerando la revisión bibliográfica presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento investigativo: ¿Cuáles son

los indicadores y variables clave que impactan la conversión de buses Diésel ya terminada su vida útil a una de propulsión 100% eléctrica?

En efecto, Voy Santiago no cuenta con un modelo de reconversión de buses y actualmente se encuentra explorando distintas alternativas para aumentar su flota eléctrica mediante la conversión de buses en desuso.

Se propone entonces la explicitación de las variables clave y los indicadores que participan dentro del proceso y que deben considerarse para la implementación de este modelo de conversión de buses (Retrofit). En este sentido contribuye a la incorporación de un modelo de conversión de buses cumpliendo con las directrices del sistema de transporte público metropolitano con respecto a la electrificación de los buses operativos dentro del sistema.

Entendido esto, El objetivo de esta investigación es proponer un modelo de conversión diésel-eléctrico de buses de transporte público para su reincorporación al sistema de transporte Red de Movilidad Metropolitana

## **2. Metodología**

### **Paradigma**

Se optó por la utilización un enfoque cualitativo, entendido como una actividad sistemática destinada a conocer las variables que afectan al transporte público y su incorporación a la flota reacondicionada (Sánchez, 2019). Utilizamos un enfoque explicativo porque sentimos que era más apropiado desde un punto de vista holístico para el descubrimiento de los factores presentes en este proceso.

### **Datos utilizados para este estudio**

Los datos se obtuvieron a través de entrevistas semi estructuradas aplicadas en una empresa operadora del transporte público de Santiago, entre el área de mantenimiento y la alta gerencia. El criterio utilizado condujo a que se seleccionaran Ingenieros del área de mantenimiento y miembros de la alta administración de la empresa (administrativos, jefes y gerentes). En total participaron 8 miembros de la empresa, que constituyen un 12% del área administrativa, con una edad promedio de 41 años, con un máximo de 53 años y un mínimo de 31 años. En promedio poseen 3 años dentro de la empresa y 15 años dentro de la industria, con un mínimo de 4 años y un máximo de 24 años.

## Entorno

El estudio se lleva a cabo dentro de la compañía Voy Santiago, la cual fue fundada en 2020 y fusiona más de dos décadas de experiencia en la industria del transporte en América Latina. En Chile, comenzó su actividad al brindar servicios a concesionarios del Sistema RED de Transporte Público en la ciudad de Santiago. Tras operar durante más de un año con excelentes resultados en términos de regularidad y frecuencia, Voy Santiago se integró oficialmente al Sistema en noviembre de 2021 como operadora de la Unidad N°4. Esta unidad conecta comunas distantes como Pudahuel, Lo Barnechea, La Reina, Peñalolén y Las Condes, gestionando 41 servicios y recorriendo 120 mil kilómetros al mes. Además, abarca 29 comunas en la Región Metropolitana y moviliza a más de seis millones de personas cada mes. La empresa cuenta con una plantilla de casi 1.900 empleados, incluyendo 275 profesionales y técnicos, y logró generar ganancias superiores a 1.800 millones de pesos en el año 2021 (Voy Santiago, 2022).

## Instrumento

Para los grupos de discusión se utilizaron dos tipos de instrumentos para recoger los datos: por un lado, una grabadora de voz y por otro lado un documento que representa las repuestas de la entrevista semi estructurada realizada al personal seleccionado de la empresa.

La entrevista propuesta consta de 13 preguntas, todas ellas de respuesta abierta, tal como se detalla en la siguiente lista:

### Etapa 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad

1. ¿Cuál cree usted que es el nivel de conocimiento que posee la población acerca de la conversión de vehículos eléctricos realizada en Chile?
2. ¿Qué entiende usted por un proceso de conversión de un bus de propulsión diésel a 100% eléctrico?
3. ¿De dónde proviene la necesidad u oportunidad de realizar un proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?
4. En la práctica, ¿Cómo opera hoy el proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?

### Etapa 2: Propuestas de alto impacto

5. ¿Cómo cree usted que se podría implementar la conversión de buses dentro del sistema de transporte público metropolitano?
6. ¿Cuáles serían los aspectos relevantes que se deben considerar para la conversión de buses?
7. Estando en operación este tipo de buses, ¿Cuáles cree usted que serían los indicadores a controlar para asegurar un correcto funcionamiento?
8. ¿Cómo cree usted que se pueda preservar este modelo de conversión en el futuro?, considerando que desde 2030 solo ingresarán buses eléctricos al sistema
9. ¿Qué modelo de conversión sería el idóneo para la conversión de buses?

### Etapa 3: Alertas sobre transformaciones

10. ¿Qué factores podrían poner en riesgo la conversión de buses?
11. ¿Qué alternativas se podrían proponer para mitigar estos riesgos?
12. Considerando la puesta en operación de estos buses, ¿Cómo cree que sería la aceptación de parte de los usuarios de estos buses convertidos?
13. Considerando los riesgos de conversión en la región metropolitana ¿Qué tan viable sería la conversión de buses diésel a eléctricos en regiones?

### Método de verificación y validación del instrumento

Con el fin de validar el instrumento de investigación, éste fue analizado por dos expertos chilenos independientes, que a su vez entregaron retroalimentación del mismo, para alinearlos con los objetivos propuestos.

### Análisis de datos

De acuerdo a lo expuesto por (García, 2020), para el análisis de las respuestas, se aplicó un proceso de categorización. Se utilizó un enfoque deductivo para identificar los criterios que nos permitieron examinar las variables que influyen en la transformación de buses a eléctricos. Al mismo tiempo, hemos mantenido un enfoque inductivo para estar atentos a las situaciones que podrían surgir de los documentos y las observaciones. Esta categorización representa una selección de factores y elementos que consideramos relevantes (Lopezosa, 2023). Sin embargo,

reconocemos que, debido a la amplitud de la temática y su práctica, esta categorización podría ampliarse aún más.

### Ética

Durante la investigación se priorizó la integridad hacia las personas y los datos. Se mantuvo un enfoque ético al respetar a los participantes, sin juzgar sus respuestas o preferencias. No se intentó alterar sus características individuales ni se ejerció presión para su participación. Los participantes no estaban en posiciones vulnerables ni con enfermedades mentales diagnosticadas. Los datos son exclusivos de este proyecto y se conservarán por 2 años después de su publicación. Se obtuvo el consentimiento informado previo a las entrevistas.

### 3. Resultados

A continuación, presentamos los resultados del estudio en sus 3 etapas (13 preguntas). Para mejorar la comprensión se ha optado por incluir la información relevante para este artículo.

#### 3.1 Análisis de datos

Pregunta 1: ¿Cuál cree usted que es el nivel de conocimiento que posee la población acerca de la conversión de vehículos eléctricos realizada en Chile?

Las respuestas a esta pregunta indican que un 75% de los entrevistados conoce al menos una empresa que realiza esta conversión dentro del país: "Si, en Chile actualmente hay 2 empresas que se dedican a la conversión de vehículos, una de ellas convierte buses para la minería y la otra empresa vehículos livianos" (Entrevistado 6, 53 años). Con esto podemos inferir que la conversión de buses es un tema que cada vez más se está dando a conocer. Además, el hecho que se tenga conocimiento de que en Chile ya existan empresas que se dedican a ello introduce un precedente para iniciar esta actividad.

Pregunta 2: ¿Qué entiende usted por un proceso de conversión de un bus de propulsión diésel a 100% eléctrico?

Si revisamos las respuestas a esta pregunta anterior, aunque no todos tenían conocimiento de que es lo que era o lo que podría ser la conversión de buses, todos los entrevistados conoce o tiene cierta noción de los que es la conversión de buses: "Un Bus que tiene motor propulsado con combustible se reemplaza por uno que se alimenta por energía y baterías" (Entrevistado 2, 31 años) o "Consiste en agregar baterías, cambiar el

motor e instalar controladores del circuito y la carga de combustible" (Entrevistado 3, 33 años). Este resultado nos da seguridad en que este proceso, aunque pueda ser desconocido, se puede inferir preliminarmente como puede ser. Además, al momento de explicarles a grandes rasgos a los entrevistados que respondieron no conocer el proceso, se mostraron bastante motivados y con hartas expectativas de que la empresa decida comenzar la conversión de buses.

Pregunta 3: ¿De dónde proviene la necesidad u oportunidad de realizar un proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?

De acuerdo con esta pregunta, el 88% de las personas cree que el factor medioambiental es la problemática principal de convertir una flota de buses diésel, es por esto que implementar la conversión podría convertirse en una alternativa para reducir la huella de carbono. Un 38% de los entrevistados cree que una optimización de costos es una gran oportunidad para convertir, ya que "el precio para suministrar el combustible, ha estado bastante volátil, en 3 años se triplicó" (Entrevistado 2, 31 años) o también "...y el segundo un beneficio a largo plazo en términos económicos, reduciéndose el costo de mantenimiento, además de darle una segunda vida al bus reutilizándolo" (Entrevistado 3, 33 años). En resumen, un alto porcentaje de entrevistados cree que la problemática o necesidad principal es el generar un impacto positivo en reducir la contaminación ambiental sumado a un menor costo de operación de este tipo de buses en comparación a un bus diésel.

Pregunta 4: ¿En la práctica como opera hoy el proceso de conversión de buses diésel a eléctrico?

Alrededor del 75% de los entrevistados no tiene mayor conocimiento de cómo opera la conversión de buses en la actualidad: "Yo no he visto o no tengo conocimiento de que se haga esta conversión de buses" (Entrevistado 5, 41 años). De los entrevistados que tienen noción del proceso de conversión afirma que el proceso debe considerar una etapa de pruebas a través de un prototipo, que considere rendimiento, autonomía y performance para los usuarios en un recorrido real, ya que de ello depende la real utilidad de la conversión.

Pregunta 5: ¿Cómo cree usted que se podría implementar la conversión de buses dentro del sistema de transporte público metropolitano?

Todos los entrevistados concuerdan que para llevar a cabo la conversión de buses es necesaria la participación del Estado a través del Ministerio de Transportes, ya que “Hay que hablar con el ministerio, hacer una propuesta donde se puedan ensamblar estos prototipos con las especificaciones que ellos necesitan y que ellos se hagan cargo del prototipo para que se validen” (Entrevistado 6, 53 años) y “Tiene que ser aprobado por el ministerio de transporte, validar que lo necesita dentro del sistema de transporte” (Entrevistado 4, 45 años). El 50% de los entrevistados cree que el proceso de conversión (desarme y ensamble) debe realizarse de manera local: “Esto daría más trabajo a chilenos”, (Entrevistado 1, 44 años). El 38% de los encuestados indica que el proceso debe considerar la fabricación de un bus prototipo para así asegurar el éxito del proceso. En resumen, hacer partícipe al Ministerio de transporte y realizar un prototipo se posicionan con unos de los pasos fundamentales a desarrollar.

Pregunta 6: ¿Cuáles serían los aspectos relevantes que se deben considerar para la conversión de buses?

Considerando esta pregunta, el 63% de los entrevistados considera que estandarizar el proceso de conversión como un aspecto relevante que se debe considerar para llevar a cabo la conversión de buses, “el bus debe ser homologado por el 3CV, que cumpla con los estándares de seguridad (Entrevistado 1, 44 años). Además, consideran que el factor seguridad debe ser cubierta a cabalidad para asegurar el éxito de estos buses. Otro factor a considerar es la necesidad que proviene del Ministerio de Transportes, la necesidad de implementar buses para operar recorridos: “La necesidad del transporte público, necesitamos los buses eléctricos” (Entrevistado 4, 45 años). Por último, el mismo porcentaje de entrevistados cree que el factor económico sobre la operación de los buses y la inversión que requiere la conversión de buses, “Cuanto es el gasto que tiene un bus nuevo versus uno convertido” (Entrevistado 8, 35 años) y “En general el tema costo, ver si es rentable por sobre traer uno nuevo” (Entrevistado 5, 41 años).

Pregunta 7: Estando en operación este tipo de buses, ¿Cuál cree usted que serían los indicadores a controlar para asegurar un correcto funcionamiento?

El 88% de los entrevistados concuerda que el indicador principal a controlar estos buses es el costo por kilómetro recorrido, el que incluye el costo de energía y los adicionales para poder mantener la flota

operativa, “El estado de las baterías es algo importante a tener en cuenta, ya que cada una cuesta casi 8 millones de pesos” (Entrevistado 2, 31 años) y también el 50% de los entrevistados señala que los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de flota son importantes de controlar: “Medir la cantidad de fallas de un bus por kilómetro recorrido” (Entrevistado 4, 45 años). En definitiva, los indicadores principales para estos buses convertidos no son muy distintos a los controlados para una flota de buses eléctricos de fábrica.

Pregunta 8: ¿Cómo cree usted que se pueda preservar este modelo de conversión en el futuro?, considerando que desde 2030 solo ingresarán buses eléctricos al sistema.

El 100% de los entrevistados se mostró optimista al indicar que este proceso podría seguir en el futuro: “Habría que buscar un mercado de conversión para regiones o para la minería, cuando ya se traigan solo buses eléctricos a Santiago” (Entrevistado 4, 45 años), el éxito y continuidad del proyecto depende de la disponibilidad de buses diésel aptos para ser convertidos.

Pregunta 9: ¿Qué modelo de conversión sería el idóneo para la conversión de buses?

Para seleccionar el modelo de conversión idóneo, los entrevistados basaron su respuesta principalmente en reducir costos reutilizando una cantidad mayor de piezas, el 50% cree que el modelo ideal es reemplazar el motor a combustión interna y reemplazarlo por un motor eléctrico junto con su pack de baterías y controladores electrónicos, reutilizando la mayoría de sus componentes de tracción, “La primera sería ideal, para mantener la integridad del bus y sus costos” (Entrevistado 2, 31 años). En cambio, el 38% de los entrevistados considera que el método idóneo es el de instalar un motor en cada rueda (2) del eje de tracción, asegurando una mejor confiabilidad al requerir un mayor cambio de componentes usados por nuevos (diferencial, entre otros), “Además de estar cambiando el motor se cambiaría todo el eje de tracción” (Entrevistado 1, 44 años).

Pregunta 10: ¿Qué factores podrían poner en riesgo la conversión de buses?

Tal como indica la figura 1, de acuerdo a la opinión de los entrevistados, el factor costo de inversión es el que resulta ser el más crítico para que la conversión pueda llevarse a cabo, con un 75% de los entrevistados: “Si la

inversión es mucha o superior y el tiempo de fabricación es prolongado creo que puede ser mejor comprar buses nuevos que convertirlos” (Entrevistado 8, 35 años), otro factor que consideran relevante es el de la tecnología que pueda estar disponible para la ejecución de la conversión de buses, el 63% de los entrevistados cree que puede ser decisivo al igual que la inversión de que pueda ejecutarse, “La tecnología, que no podamos acceder a esta tecnología para poder llevar a cabo la conversión” (Entrevistado 2, 31 años). Sin embargo, al contrario de lo que se podría suponer, solo un 38% de los entrevistados ve a la normativa vigente como un factor de riesgo. La mayoría de los entrevistados concuerdan que el factor costos y tecnología son preponderantes a la hora de convertir buses a eléctricos.

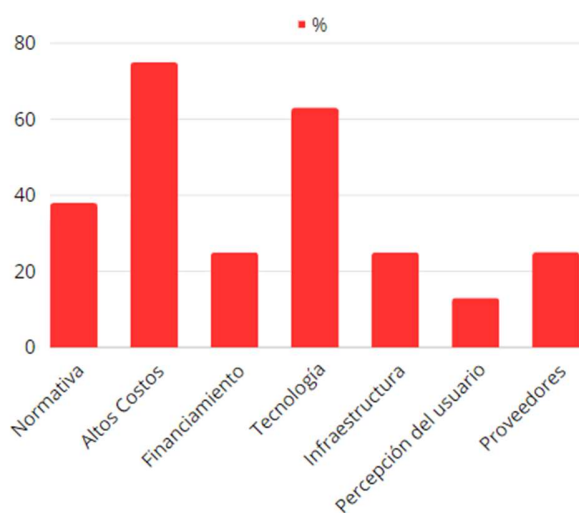


Figura 1 Factores que podrían poner en riesgo la conversión de buses. Elaboración propia

Pregunta 11: ¿Qué alternativas se podrían proponer para mitigar estos riesgos?

Para mitigar los riesgos asociados a los costos de inversión, los entrevistados concuerdan (con un 75% de las preferencias) en que se debe abordar alianzas estratégicas o acuerdos con proveedores de piezas y componentes a utilizar dentro de la conversión: “Evaluar con los proveedores que realizan las conversiones el costo de realizarlo y realizar alianzas estratégicas” (Entrevistado 6, 53 años) y en relación al riesgo de déficit de conocimiento o tecnología

disponible, los entrevistados afirman que realizando un prototipo y probar su funcionamiento es una buena fuente de conocimiento y ayuda a sentar las bases de la conversión: “Primero realizar un prototipo, ver cómo anda y de ahí producir” (Entrevistado 4, 45 años).

Pregunta 12: Considerando la puesta en operación de estos buses, ¿Cómo cree que sería la aceptación de parte de los usuarios de estos buses convertidos?

De acuerdo a lo mostrado por la figura 2, el 88% de los entrevistados cree que estos buses tendrán en general una buena aceptación por parte de los usuarios, ya que promueve la economía circular y aporta a la disminución de partículas contaminantes al aire, pero esta evaluación está condicionada a que el bus convertido cumpla los estándares actuales de los buses que están circulando bajo el nuevo sistema Red de Movilidad Metropolitana: “Haciendo un tipo de ‘overhaul’ en la carrocería la opinión de la gente será buena” (Entrevistado 5, 41 años). Además, para conseguir esta aceptación de parte de los usuarios, el Ministerio de Transportes debe (a través de campañas publicitarias) informar a la ciudadanía de este nuevo tipo de bus y las ventajas que ofrece, “Se debe cumplir que el Estado realice una campaña informativa” (Entrevistado 1, 44 años). Por lo tanto, la conversión de buses tendría buena aceptación por parte del público, dejando esta variable controlada.

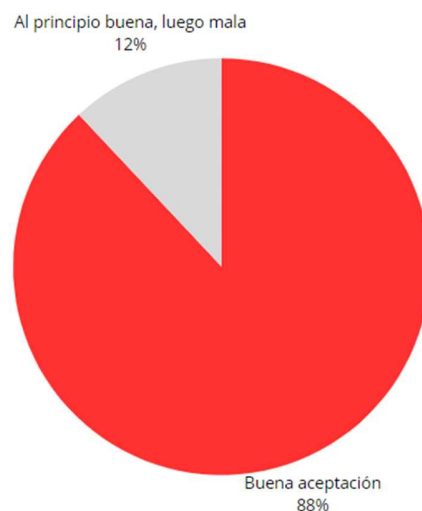


Figura 2 Nivel de aceptación de los buses convertidos. Elaboración propia

Pregunta 13: Considerando los riesgos de conversión en la región metropolitana ¿Qué tan viable sería la conversión de buses diésel a eléctricos en regiones?

Todos los entrevistados concuerdan que puede ser viable la conversión de buses en regiones, aunque indican que la estructura del sistema es distinta a la de Santiago, podría tener un gran éxito en primera instancia en las grandes ciudades: “Las exigencias en Santiago que en regiones es distinto, por ende, sería de forma distinta la adquisición de buses, ya el dueño de flota debiese adquirir la flota y dependerá de su presupuesto o de los proyectos del estado” (Entrevistado 3, 33 años).

### 3.2 Discusión de resultados

Considerando la primera etapa de caracterización del presente y comprensión de la realidad, es posible visibilizar que un porcentaje importante de los colaboradores concuerda en que la conversión de un bus con motor de combustión interna a uno de propulsión 100% eléctrico sería una alternativa viable para poder descarbonizar el transporte público de una forma sostenible y eficiente. Este hallazgo concuerda a los resultados propuestos por (Moreno, 2022) en que la inclusión de buses eléctricos apoyaría la descarbonización del transporte público. Además, creen pertinente para asegurar el éxito de esta conversión implementar el diseño y ensamble de un bus prototipo. En línea a lo indicado por (Rosas et al., 2022) el realizar un prototipo contribuye a la interiorización y por consecuente realización de dicho plan que se esté ejecutando, ya que existe un alto nivel de incertidumbre si la conversión de la propulsión a combustión interna a una eléctrica sea factible de realizar. Otro punto relevante es contar con una etapa inicial de evaluación y diseño: considerando la flota apta para poder realizar la conversión (cumpliendo kilometraje y un buen estado en general de la carrocería y del chasis).

Por otro lado, los resultados recalcan la importancia que tiene que exista una regulación para poder realizar este tipo de procedimientos, esto está alineado con lo expuesto por (Rosas, 2022) sobre que debe haber una relación entre organizaciones y entes reguladores para poder homologar este tipo de vehículos.

Adicionalmente, la mayoría estima que tendrá un impacto positivo en los pasajeros, pero recalcan en que es necesario que el bus cuente con el mismo estándar con el que funciona actualmente un bus de estándar

“Red” (Aire acondicionado, Wi-Fi a bordo, cargadores USB) y estéticamente sea presentado como un bus prácticamente nuevo, ya que creen que existe la posibilidad de que en las zonas donde transite este tipo de buses lo consideren como algo de nivel inferior al que tenga un bus eléctrico nuevo. Estos resultados contrastan a lo indicado por (Baruj et al., 2022), ya que ellos indican que el Retrofit puede ser una alternativa sustentable, pero no necesariamente implica una conversión del apartado estético y carrocería del bus, por lo que se centran principalmente en aumentar la oferta de buses eléctricos en desmedro que tengan un estándar de un bus nuevo actual.

Por último, los entrevistados concuerdan que el(los) encargado(s) de realizar la conversión de buses sean compañías dedicadas especializadas en dichos procesos, lo que permitiría aumentar la oferta de proveedores y en consecuencia contar con la posibilidad de acceder a mejores precios. Esto concuerda con lo expresado por (Baruj et al., 2022), acerca de que los fabricantes o convertidores de buses pueden desarrollar proveedores alternativos para que puedan fabricar sus partes, generando un ahorro en la adquisición de estas piezas.

Para abordar las brechas detectadas, se propone idear un modelo integral de conversión de buses, en el que se incluya una etapa inicial de evaluación de factibilidad dependiendo del requerimiento de Voy Santiago (o de algún otro operador o administrador de flota de buses diésel), para luego iniciar el diseño y elaboración del prototipo. Una vez validado y homologado por el organismo competente se procede con la conversión en serie de la flota seleccionada para este proyecto. El modelo propuesto no considera el mantenimiento de este tipo de buses una vez ya convertidos, ya que, de acuerdo a los entrevistados, este bus tendría el mismo mantenimiento y el mismo control de indicadores que el de un bus eléctrico de fábrica.

### 3.3 Modelo propuesto por el estudio

Según las respuestas obtenidas y como se aprecia en la figura 3, existen 3 actores principales en la conversión de buses con motor de combustión interna a eléctrico: El Estado, la empresa convertidora y el operador que

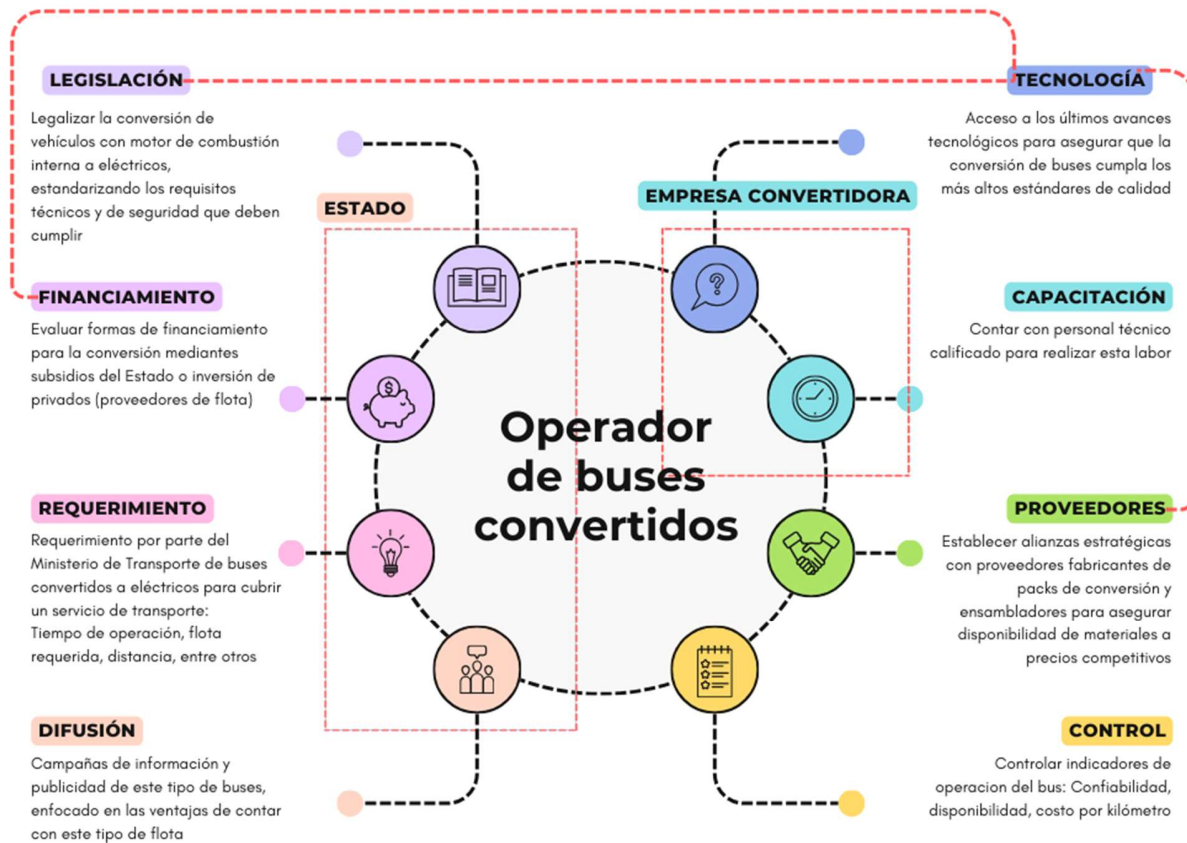


Figura 2 Modelo y variables que impactan en la conversión de buses a eléctricos. Elaboración propia

tendrá dentro de su operación estos buses. Como puntos principales a considerar dentro de la conversión, el Estado debe normalizar y legalizar esta conversión (que el vehículo pueda transitar por la calle y esté apto para transportar pasajeros) y luego de ello que exista la necesidad por parte del Ministerio de Transportes contar con este tipo de buses (principalmente para reducir la contaminación ambiental). Para el financiamiento se debe considerar inversión a través de subsidios o capital privado para invertir en las empresas convertidoras e incentivando a que inicien su operación y así ofrecer mayor oferta, y también para financiar la etapa inicial de proyección de costos y tiempos que tardaría la transformación (Martínez Correa, 2022), considerando dentro de esta evaluación si resulta rentable la utilización de un bus convertido eléctrico (tiempo de operación, flota requerida y características de la ruta para la

combinación de baterías adecuada para asegurar continuidad operacional). Para que estos buses tengan una buena aceptación por parte de los usuarios es necesario que se creen campañas de difusión de las características y beneficios potenciales que puede significar el uso de este tipo de buses, tanto para cuidar el medioambiente como para la economía interna (Baruj et al., 2022).

Una vez ya regularizado y normado el proceso de conversión de buses, la empresa convertidora debe ser capaz de estandarizar su proceso de acuerdo a las exigencias que fueron reguladas, a través de infraestructura adecuada y contar con el personal capacitado para ello.

El operador de buses debe ser capaz de crear alianzas estratégicas con las empresas que se encargarán de la conversión, como también de los distribuidores o

fabricantes de piezas y componentes para poder asegurar la continuidad operacional de la flota convertida (mantenimiento), en conjunto a ellos debe invertir en tecnología y capacitación con el fin de contar con los más altos estándares de servicio.

Para asegurar el correcto desempeño y rendimiento de estos buses, es necesario realizar un seguimiento continuo a los indicadores de la operación y evaluar si es necesario hacer modificaciones a la conversión o evaluar directamente si es rentable o no operar con este tipo de buses.

Validando lo expuesto por (Fragozo, 2019), la conversión de buses debe venir aunada con asegurar una infraestructura adecuada para dar carga a los bus, seguido de la tecnología y capacitación del personal idóneo para su correcta mantención y por sobre todo asegurar una oferta de proveedores de componentes y piezas ideal para contar con un costo de adquisición adecuado.

#### 4. Conclusiones

Este trabajo establece que los indicadores y variables clave que impactan la conversión de buses Diésel ya terminada su vida útil a una de propulsión 100% eléctrica son: Evaluar la factibilidad relacionada a la realidad de cada operador o dueño de flota, la evaluación de un prototipo que cumpla y cubra la necesidad de transporte indicadas para el sistema de transporte metropolitano, el costo por kilómetro asociado a su funcionamiento (consumo, costo de mantenimiento, etc.), el acceso a la tecnología y componentes para convertir y dar mantenimiento a estos buses y la factibilidad de que en Chile esté regulada la transformación de buses de combustión interna a eléctrica. Para ello se propuso un modelo de conversión diésel-eléctrico de buses de transporte público para su reincorporación al sistema de transporte Red de Movilidad Metropolitana. En efecto, los resultados obtenidos muestran que el mejor modelo para poder implementar la conversión de buses implica un proceso lógico de diseño, abordando las variables económicas de la empresa y en el que se consideran tres actores fundamentales que interactúan entre ellos: el operador de buses, el fabricante o “convertidor” de la flota y el Estado como parte garante y solicitante de este tipo de buses y por sobre todo el que permita la conversión de estos buses.

Habiendo expresado lo anterior, este estudio aporta a la implementación de un modelo de transformación de buses a combustión interna que se ajusta a las pautas

del sistema de transporte público metropolitano en términos de la transición de los buses en operación hacia la electrificación dentro del sistema.

Para abordar las brechas detectadas se propone como trabajos futuros las siguientes recomendaciones:

- Ahondar en estudios de factibilidad económica sobre la implementación de este tipo de buses convertidos dentro del sistema de transporte público metropolitano y
- Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica de implementar y convertir buses diésel a eléctricos para implementarlos al sistema de transporte público en regiones

#### Referencias

- Baruj, G., Mascarenhas, T. B., Gottig, A., Gutman, M., Porta, F., Rubio, J., Ubogui, M. y Vásquez, D. (2022). *Electromovilidad en la Argentina: Oportunidades y barreras para su desarrollo*. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundar; Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación-CIECTI, Libro digital.
- Fragozo, T. C. (2019). Marco legal para la conversión eléctrica de vehículos de combustión interna de servicio público en Colombia: una perspectiva de sostenibilidad. *Dialnet*.
- García, J. E. B. (2020). Validez y confiabilidad en la recolección y análisis de datos bajo un enfoque cualitativo. *Trascender, contabilidad y gestión*, 15, 79-97. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i15.90>
- Herrán, F. S., Moenne, S. T., & Krause, A. G. (2021). *Electromovilidad en el transporte público: La experiencia de Santiago de Chile*. *Estudios de Transporte*, 22(1), 1-15.
- Hoefl, F. (2021). Internal combustion engine to electric vehicle retrofitting: Potential customer's needs, public perception and business model implications. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100330>
- Ley 21505 de 2022. Promueve el almacenamiento de energía eléctrica y la electromovilidad. 08 de noviembre de 2022. D.O. No. 43406.
- Lizama Valenzuela, F. (2021). Emisiones de CO2 asociadas a los procesos de fabricación y uso de buses con motor diésel y eléctricos del sistema de transporte público de la ciudad de Santiago de

- Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184052>
- Lopezosa, Carlos; Codina, Lluís; Boté-Vericad, Juan-José (2023). Testeando ATLAS.ti con OpenAI: hacia un nuevo paradigma para el análisis cualitativo de entrevistas con Inteligencia artificial. Barcelona: Departamento de Comunicación. Serie Editorial DigiDoc. PCUV05/2023
- Maillet, A., & Carrasco, S. (2019). Regulación y poder empresarial: el caso del transporte público en Santiago (2007-2017). *Revista de Administração Pública*, 53, 942-959. <https://doi.org/10.1590/0034-761220180079>
- Martínez Correa, G. A. (2022, July 27). Descripción del proceso y análisis del Retrofit de un vehículo de combustión interna a pila de combustible (Proyecto Final de Máster Oficial). UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/371638>
- Ministerio de Energía de Chile (Ed.) (2021). Estrategia Nacional de Electromovilidad 2021. [s.n.]. Recuperado de: [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad\\_ministerio-de-energia.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf)
- Moreno, L. (2022). Propuesta de descarbonización del sistema de transporte público de la ciudad de Guayaquil [Tesis de maestría]. Escuela Superior Politécnica del Litoral
- Rojas Rincón, J. (2022). Análisis comparativo en la implementación y operación de buses eléctricos y buses diésel del Sistema de Transporte Público de Bogotá. Universidad de los Andes.
- Romero Campos, J.P., y Ramirez del Barrio, P. (2020). Análisis de ciclo de vida de buses eléctricos del sistema de Transporte Público de Santiago Red. Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación COSUDE
- Rosas Leutenegger, M., Villasana López, P., & Ahumada, A. (2022). Adopción de Tecnologías de Gestión de Flotas de Vehículos Eléctricos: ¿Un problema socio-técnico? *Revista Gestión De Las Personas Y Tecnología*, 15(43), 32. <https://doi.org/10.35588/gpt.v15i43.5481>
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Revista digital de investigación en docencia universitaria*, 13(1), 102-122. <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Voy Santiago SpA (2022). Memoria Anual 2020-2021 [Memoria]. Recuperado de: biblioteca interna de empresa, acceso restringido.
- Zagorodny, J. P. (2023). Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular. CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 173

#### **4 CONCLUSIONES GENERALES**

Este trabajo establece que los indicadores y variables clave que impactan la conversión de buses Diésel ya terminada su vida útil a una de propulsión 100% eléctrica son: Evaluar la factibilidad relacionada a la realidad de cada operador o dueño de flota, la evaluación de un prototipo que cumpla y cubra la necesidad de transporte indicadas para el sistema de transporte metropolitano, el costo por kilómetro asociado a su funcionamiento (consumo, costo de mantenimiento, etc.), el acceso a la tecnología y componentes para convertir y dar mantenimiento a estos buses y la factibilidad de que en Chile esté regulada la transformación de buses de combustión interna a eléctrica. Para ello se propuso un modelo de conversión diésel-eléctrico de buses de transporte público para su reincorporación al sistema de transporte Red de Movilidad Metropolitana. En efecto, los resultados obtenidos muestran que el mejor modelo para poder implementar la conversión de buses implica un proceso lógico de diseño, abordando las variables económicas de la empresa y en el que se consideran tres actores fundamentales que interactúan entre ellos: el operador de buses, el fabricante o “convertidor” de la flota y el Estado como parte garante y solicitante de este tipo de buses y por sobre todo el que permita la conversión de estos buses

Habiendo expresado lo anterior, este estudio aporta a la implementación de un modelo de transformación de buses a combustión interna que se ajusta a las pautas del sistema de transporte público metropolitano en términos de la transición de los buses en operación hacia la electrificación dentro del sistema.

También es importante considerar que:

- Se estudiaron los requisitos necesarios para llevar a cabo la conversión de buses diésel a eléctricos, los cuales son principalmente que los buses cumplan con el estándar vigente en términos de carrocería y confort del usuario, que cumpla con la homologación vigente para que pueda circular y por sobre todo

que cumpla los lineamientos del operador de buses a nivel económico para que resulte en una alternativa de suministro conveniente

- Se analizó la factibilidad de reincorporar buses convertidos a eléctrico en el sistema de transporte público metropolitano, resultando ser positiva, los entrevistados concuerdan que existe una alta factibilidad de incorporación, siempre y cuando se cumpla con todos los requisitos para que pueda operar como un bus adquirido nuevo
- Se propuso un modelo que considera a los actores que participan en la conversión de buses, los cuales son: el Estado como ente proveedor de la necesidad de utilización de buses, el operador de buses que provee y administra el funcionamiento de la flota y la empresa convertidora de buses, a cuál se encargará de la conversión cumpliendo los estándares y requerimiento de flota

#### **4.1 Propuesta para trabajos futuros (agregar debilidades)**

Como continuación de este trabajo de tesis, hay varias líneas de desarrollo que quedan pendientes, y en las que es posible continuar trabajando; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de preguntas que han ido surgiendo durante el proceso de investigación, como otras que son más tangenciales a la investigación. A continuación, revisaremos trabajos futuros que pueden investigarse como conclusión de esta investigación:

- Realizar una investigación incluyendo a los otros actores importantes dentro de la industria del transporte en el país, como operadores, fabricantes y distribuidores de componentes de vehículos eléctricos, lo que permitiría generalizar resultados.
- Realizar un estudio de viabilidad económica que nos pueda indicar la viabilidad real dentro del marco de operación actual de los operadores del transporte público

- Ampliar la investigación de viabilidad para otros tipos de transporte: privado, comercial y determinar el impacto que tendría la conversión de vehículos en otras industrias

## **5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Baruj, G., Mascarenhas, T. B., Gottig, A., Gutman, M., Porta, F., Rubio, J., Ubogui, M. y Vásquez, D. (2022). Electromovilidad en la Argentina: Oportunidades y barreras para su desarrollo. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundar; Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación-CIECTI, Libro digital.
- Fragozo, T. C. (2019). Marco legal para la conversión eléctrica de vehículos de combustión interna de servicio público en Colombia: una perspectiva de sostenibilidad. Dialnet.
- García, J. E. B. (2020). Validez y confiabilidad en la recolección y análisis de datos bajo un enfoque cualitativo. *Trascender, contabilidad y gestión*, 15, 79-97. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i15.90>
- Herrán, F. S., Moenne, S. T., & Krause, A. G. (2021). Electromovilidad en el transporte público: La experiencia de Santiago de Chile. *Estudios de Transporte*, 22(1), 1-15.
- Hoeft, F. (2021). Internal combustion engine to electric vehicle retrofitting: Potential customer's needs, public perception and business model implications. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100330>
- Ley 21505 de 2022. Promueve el almacenamiento de energía eléctrica y la electromovilidad. 08 de noviembre de 2022. D.O. No. 43406.
- Lizama Valenzuela, F. (2021). Emisiones de CO2 asociadas a los procesos de fabricación y uso de buses con motor diésel y eléctricos del sistema de

- transporte público de la ciudad de Santiago de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184052>
- Lopezosa, Carlos; Codina, Lluís; Boté-Vericad, Juan-José (2023). Testeando ATLAS.ti con OpenAI: hacia un nuevo paradigma para el análisis cualitativo de entrevistas con Inteligencia artificial. Barcelona: Departamento de Comunicación. Serie Editorial DigiDoc. PCUV05/2023
- Maillet, A., & Carrasco, S. (2019). Regulación y poder empresarial: el caso del transporte público en Santiago (2007-2017). *Revista de Administração Pública*, 53, 942-959. <https://doi.org/10.1590/0034-761220180079>
- Martínez Correa, G. A. (2022, July 27). Descripción del proceso y análisis del Retrofit de un vehículo de combustión interna a pila de combustible (Proyecto Final de Màster Oficial). UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/371638>
- Ministerio de Energía de Chile (Ed.) (2021). Estrategia Nacional de Electromovilidad 2021. [s.n]. Recuperado de: [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad\\_ministerio-de-energia.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf)
- Moreno, L. (2022). Propuesta de descarbonización del sistema de transporte público de la ciudad de Guayaquil [Tesis de maestría]. Escuela Superior Politécnica del Litoral
- Rojas Rincón, J. (2022). Análisis comparativo en la implementación y operación de buses eléctricos y buses diésel del Sistema de Transporte Público de Bogotá. Universidad de los Andes.
- Romero Campos, J.P., y Ramirez del Barrio, P. (2020). Análisis de ciclo de vida de buses eléctricos del sistema de Transporte Público de Santiago Red. Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación COSUDE
- Rosas Leutenegger, M., Villasana López, P., & Ahumada, A. (2022). Adopción de Tecnologías de Gestión de Flotas de Vehículos Eléctricos: ¿Un problema socio-

técnico? Revista Gestión De Las Personas Y Tecnología, 15(43), 32.  
<https://doi.org/10.35588/gpt.v15i43.5481>

Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. Revista digital de investigación en docencia universitaria, 13(1), 102-122.  
<https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>

Voy Santiago SpA (2022). Memoria Anual 2020-2021 [Memoria]. Recuperado de: biblioteca interna de empresa, acceso restringido.

Zagorodny, J. P. (2023). Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular. CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 173

## **6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO**

El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de: 7%



## Plagiarism Checker X - Report

Originality Assessment

**7%**



**Overall Similarity**

**Date:** dic. 26, 2023

**Matches:** 409 / 5716 words

**Sources:** 16

**Remarks:** Low similarity detected, consider making necessary changes if needed.

**Verify Report:**

Scan this QR Code

