

Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Diseño y Manufactura

Memoria de Título para optar al título de Ingeniero(a) de
Ejecución en Proyectos de Ingeniería

Evaluación técnico-financiera y un estudio de factibilidad para
el reemplazo de la flota actual de buses de combustión interna
de la empresa Marcopolo Transportes

Trabajo presentado por: Felipe Nicolás Hume Rivera

Profesor Guía: Álvaro Céspedes Escobar

Comisión: Augusto Vargas Schüller

Mario Salinas Psijas

Fecha: 5 de Diciembre del 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: _____ Evaluación técnico-financiera y un estudio de factibilidad para el reemplazo de la flota actual de buses de combustión interna de la empresa Marcopolo Transportes _____

Nombre del candidato(a): ___Felipe Nicolas Hume Rivera _____

Carrera / Grado: _____ ingeniería en ejecución en proyectos de ingeniería _____

Campus: ___San Joaquín _____ Departamento: diseño y manufactura _____

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, _____Álvaro Céspedes Escobar _____, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

X El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):



4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis: Alvaro Céspedes Escobar

Fecha: ____ 30-12-25 ____ **Firma:** _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: ____ 30-12-25 ____ **Firma:** ____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Resumen

El presente trabajo tiene como propósito realizar una evaluación técnico-financiera y un estudio de factibilidad para el reemplazo de la flota actual de buses de combustión interna de la empresa Marcopolo Transportes por unidades eléctricas (BEV - Battery Electric Vehicle), en sus operaciones en Antofagasta, Chile. Se aborda la incertidumbre identificada respecto a la viabilidad de esta transición tecnológica para la toma de decisiones estratégicas e inversión de capital superior a USD 8.6 millones. La problemática actual incluye la dependencia de combustibles fósiles, costos operativos y de mantenimiento crecientes y la generación de emisiones contaminantes locales. La metodología empleada incluyó el diagnóstico operativo y financiero, análisis de BEV y la infraestructura de carga, así como la inversión inicial (CAPEX) y la proyección de costos operativos diferenciales (OPEX). Además, se estimaron los ratios financieros de certidumbre como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Recupero de la Inversión (PRI).

La evaluación técnica concluyó que la implementación de una flota de buses eléctricos (BEV) y su infraestructura de soporte es plenamente factible en el contexto operativo de Marcopolo Transportes en Antofagasta. Desde el punto de vista económico, los resultados son altamente favorables: el proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) de \$313.135.159 USD, calculado con una tasa de descuento del 10%, lo que confirma una sólida capacidad de generación de valor. La Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanza un 192,32%, muy por encima del costo de capital, lo que evidencia una rentabilidad proyectada excepcional. Esta rentabilidad está impulsada principalmente por los ahorros significativos en consumo energético y mantenimiento, propios de la tecnología BEV, a lo largo del ciclo de vida de los vehículos.

Palabras clave: Buses Eléctricos, Estudio de Factibilidad, Transporte Público, Antofagasta, Evaluación Técnico-Económica.

Índice

1. Diagnóstico y Planteamiento del Problema	4
1.1. Contextualización del problema	4
1.2. Identificación del problema	6
1.3. Supuestos de mejora del proyecto	9
1.4. Alcances y limitaciones del proyecto	11
1.5. Marco técnico y normativo	12
2. Propuesta de Mejora y Evaluación Técnica-Económica	14
2.1. Descripción de la Propuesta de Mejora	14
2.2. Metodología de implementación.....	15
2.3. Evaluación técnica de la mejora: Diagnóstico del Proyecto	23
2.4. Evaluación económica y financiera de la mejora	28
2.5. Consideraciones de riesgos del proyecto.....	44
2.6. Conclusiones Preliminares	46
Referencias bibliográficas	48

Índice de Tablas

Tabla 1. Fuentes Primarias de la Investigación	16
Tabla 2. Fuentes Secundarias de la Investigación	17
Tabla 3 - Resultados del Estudio a Usuarios.....	18
Tabla 4. Diagnóstico Base.....	19
Tabla 5. Diagnóstico de la situación base con proyecto	20
Tabla 6. Promedio de pasajeros diarios en la línea de la empresa Marco Polo Transporte.....	21
Tabla 8. Fuentes y costos del financiamiento	30
Tabla 9. Amortización financiamiento inversión inicial	31
Tabla 10. Indicadores económicos	32
Tabla 11. Depreciaciones de Activos en General	33
Tabla 12. Depreciaciones de Activos (Buses Eléctricos).....	34
Tabla 13. Depreciaciones de Activos (Estaciones de carga).....	34
Tabla 14. Depreciaciones de Activos (Equipos de Mantenimiento)	35
Tabla 15. Depreciaciones de Activos (Mobiliario de Oficina)	35
Tabla 16. Depreciaciones de Activos (Vehículos de Soporte)	36
Tabla 17. Depreciaciones de Activos (Sistema de Seguridad y Control).....	36
Tabla 18. Depreciaciones de Activos (Infraestructura de Soporte)	37
Tabla 19. Depreciaciones de Activos (Instalaciones y Mejoras)	37
Tabla 20. Flujo de Caja Puro	38
Tabla 21. Flujos de Caja Financiado (25%, 50% y 75%).....	40
Tabla 22. Análisis de Sensibilidad	422

1. Diagnóstico y Planteamiento del Problema

1.1. Contextualización del problema

Este capítulo tiene como objetivo contextualizar y fundamentar la problemática que aborda el presente proyecto de tesis: La evaluación técnico-financiera y el estudio de factibilidad para sustituir la actual flota de autobuses de la empresa Marcopolo Transportes, ubicada en Antofagasta, por vehículos eléctricos. Se hará uso de datos contextuales, tanto numéricos como descriptivos, para delinear el problema y argumentar la necesidad de la propuesta de intervención.

Contextualización del Problema

En las décadas recientes, el calentamiento global se ha convertido en uno de los problemas más urgentes a nivel global, con repercusiones severas como el deshielo de glaciares, el incremento del nivel del mar, y el desmoronamiento de ecosistemas (NASA, 2019). Como respuesta, diversos países, incluido Chile, han asumido compromisos por medio del Acuerdo de París para fijar objetivos concretos en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Gobierno de Chile, 2016). La quema de combustibles fósiles es una de las razones principales de estas emisiones, representando el 78% del aumento total de emisiones GEI entre 1970 y 2010 (Eickemeier et al., 2014).

Chile enfrenta un reto particular dado que su matriz energética está basada en alrededor del 80% en combustibles fósiles (Ministerio de Energía, 2018). En este contexto, el sector transporte surge como un gran responsable de estas emisiones, generando cerca de una cuarta parte de las emisiones de GEI a nivel nacional (Ministerio de Energía, 2017). Aunque la generación de electricidad se encuentra en transición, sigue siendo la principal fuente individual de emisiones en el país (31.3%) (Ministerio de Energía, 2017). Con esta realidad presente, Chile ha propulsado políticas ambiciosas como "Energía 2050", que busca que el 70% de su matriz eléctrica provenga de fuentes renovables para el año 2050 (actualmente ronda el 47% en el Sistema Eléctrico Nacional - SEN), además de iniciar un plan de descarbonización con el objetivo de cerrar todas las plantas de carbón para 2040 (Comisión Nacional de Energía, 2017).

En este escenario de transición energética y compromiso climático, la movilidad eléctrica se posiciona como una tecnología esencial (Ministerio de Energía, 2018). Ofrece múltiples ventajas: eliminación de emisiones contaminantes locales, enorme reducción del ruido urbano, y menores gastos de operación y mantenimiento en comparación con vehículos de motor de combustión interna [8]. El gobierno chileno ha reconocido su importancia estratégica y la ha incluido como un componente crucial en la "Ruta Energética 2018-2022" (Ministerio de Energía, 2019).

En este contexto, la electrificación del transporte colectivo es vista como un elemento esencial para lograr un sistema de movilidad sostenible (Pereirinha et al., 2018). Su alto uso y la colaboración gubernamental demuestran la viabilidad económica de estas tecnologías y ayudan a superar barreras informativas (Pereirinha et al., 2018). Por ello, Chile ha delineado objetivos precisos: lograr un transporte público 100% eléctrico para 2040 y un 40% de autos eléctricos particulares para 2050 (Ministerio de Energía, 2018). Aunque Santiago ha progresado, con aproximadamente un 6% de la flota electrificada hacia finales de 2019 (BYD, 2019), la adopción a nivel nacional, en regiones y en el parque automotor general (menos del 0.05% de automóviles eléctricos en 2019), sigue siendo incipiente (INE, 2018).

Transporte Urbano en Antofagasta y Marcopolo Transportes

Antofagasta, una comuna clave en el norte de Chile por su actividad urbana y económica, afronta sus propios retos dentro de su sistema de transporte colectivo. Aunque posee rutas organizadas y un sistema integrado que busca optimizar la movilidad, el servicio prestado principalmente por autobuses con tecnología de combustión interna (diésel/gasolina) refleja problemas habituales en sistemas tradicionales: contribuciones a la contaminación atmosférica local, emisiones de GEI, generación de ruido, dependencia de combustibles fósiles con precios fluctuantes, y creciente gasto en mantenimiento debido al desgaste de los motores de combustión. La opinión de los usuarios, según estudios preliminares, podría reflejar elementos como la calidad variable de los vehículos, limitado confort, y en ocasiones, inquietudes sobre eficiencia o seguridad.

En este contexto opera la empresa Marcopolo Transportes, ofreciendo servicios de transporte urbano en Antofagasta. Junto con Reborn Electric Motors, Marcopolo ha implementado en Antofagasta una flota de 40 autobuses eléctricos bajo el servicio E01 de Trans Antofagasta, que comenzó a operar en diciembre de 2023 (Epysa Buses y Reborn Electric Motors, 2023). Estos vehículos, del modelo Senior Reborn Minero, están diseñados específicamente para satisfacer las necesidades del transporte urbano y las exigencias del entorno minero, características que los hacen especialmente adaptables para la región. Entre sus atributos más sobresalientes se encuentran una autonomía de hasta 200 kilómetros por carga, capacidad suficiente para transitar en áreas de alta pendiente y condiciones geográficas complejas (Epysa Buses y Reborn Electric Motors, 2023).

Además, cada unidad puede transportar hasta 24 pasajeros y posee tecnologías de confort como aire acondicionado, calefacción y cargadores USB, lo que mejora notablemente la experiencia de los usuarios (Busworld Latin America, 2023a). En cuanto a su sistema de baterías, emplean tecnología de litio-ferrofosfato (LFP) de la marca CATL, certificadas bajo estándares internacionales de seguridad ECE R66.02, asegurando su uso seguro incluso en superficies mineras (Busworld Latin America, 2023).

Justificación de la Intervención

El proyecto se centra en la incertidumbre que enfrenta Marcopolo Transportes en Antofagasta respecto a la transición de su flota de autobuses convencionales a eléctricos, un cambio que presenta desafíos económicos, operativos y de integración eléctrica (Pereirinha et al., 2018). Ante la falta de información específica sobre la viabilidad de esta transición para sus operaciones, el estudio de factibilidad técnico-financiera propuesto se justifica por su alineación estratégica con políticas de electromovilidad (Ley 20.378 y DFL 1/19.175), la evaluación de la sostenibilidad operativa (Ministerio de Energía, 2018), el impacto ambiental y social, la viabilidad técnica (infraestructura, autonomía, capacitación) y el análisis del impacto en la red eléctrica chilena, ofreciendo datos para una toma de decisiones informada.

Este estudio tiene como objetivos determinar la viabilidad financiera (VAN, TIR, PRI), evaluar las necesidades técnicas y logísticas, y analizar los efectos operativos y ambientales de la adopción de autobuses eléctricos. Para ello, empleará un análisis del entorno (FODA), diagramas de proceso, análisis de costos comparativos, evaluación financiera con flujos de caja, análisis de sensibilidad de variables críticas y revisión de literatura especializada, permitiendo aplicar herramientas de ingeniería y evaluación económica a un problema real de sostenibilidad en el transporte.

En este contexto, la flota actual de Marcopolo Transportes, basada en vehículos convencionales esenciales para la movilidad, utiliza tecnología que no concuerda con las tendencias de sostenibilidad, generando un impacto ambiental por sus emisiones, costos operativos sensibles a la volatilidad del precio de combustibles y posibles desventajas en imagen y competitividad ante regulaciones futuras más estrictas.

1.2. Identificación del problema

El principal problema que impulsa este estudio es la ausencia de un análisis técnico-financiero exhaustivo que confirme la viabilidad de cambiar la flota de autobuses de combustión interna de Marcopolo Transportes a vehículos eléctricos (BEV - Battery Electric Vehicle) dentro del contexto operativo de Antofagasta. Aunque la operación actual cumple con su cometido, se basa en una tecnología que presenta cada vez más desventajas estratégicas, operativas y ambientales. La falta de un análisis detallado impide que la empresa tome decisiones estratégicas bien informadas sobre una considerable inversión de capital, necesaria para alinearse con las tendencias globales y las políticas nacionales de sostenibilidad y eficiencia energética (Ministerio de Energía, 2018).

Mantener la situación actual tiene numerosos efectos negativos significativos. En primer lugar, existe una potencial ineficiencia económica, ya que la empresa sigue expuesta a las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles, cuyos costos operativos suelen superar los costos energéticos de la electricidad para flotas con alto consumo (Ministerio de Energía, 2018). Además, los costos de mantener los motores de combustión interna tienden a aumentar considerablemente a lo largo de su vida útil. Sin una cuantificación precisa de estas diferencias para sus rutas y operación particular, Marcopolo Transportes podría estar incurriendo en costos operativos más altos que con una flota eléctrica, afectando su rentabilidad a largo plazo.

En el ámbito nacional, Chile ha avanzado significativamente en la transición hacia energías renovables, logrando en 2024 que el 33% de su generación eléctrica provenga de energía solar y eólica (Ember, 2024). No obstante, el sector del transporte aún depende en gran medida de los combustibles fósiles, lo que plantea un desafío considerable para la sostenibilidad ambiental del país. Para abordar este problema, el Estado ha establecido metas ambiciosas, como lograr una electromovilidad total en el transporte público para el año 2035 (Ministerio de Transportes y Ministerio de Energía, 2023). También se anticipa una disminución del 26% en los costos operativos mediante la adopción de tecnologías innovadoras, como el Vehicle-to-Grid (V2G), que permite la interacción bidireccional entre los vehículos eléctricos y la red eléctrica (C40 Cities, 2023).

En el contexto regional, Antofagasta, reconocida por su relevancia en la industria minera, tiene condiciones óptimas para adoptar la electromovilidad. La ciudad dispone de una infraestructura adecuada, como un terminal eléctrico operado por Copec Voltex, que cuenta con diez cargadores rápidos de 150 kW (Busworld Latin America, 2022). Esta infraestructura facilita la operación de la flota de autobuses eléctricos y contribuye a reducir los costos de mantenimiento, que pueden disminuir hasta un 40% en comparación con los vehículos diésel, además de ofrecer una mejor adaptabilidad a terrenos complejos (C40 Cities, 2023). No obstante, persisten desafíos importantes, como la necesidad de extender la cobertura de puntos de carga en zonas mineras alejadas y la formación del personal técnico, dado que solo el 12% de los trabajadores del sector transporte en Chile tienen entrenamiento en el mantenimiento de flotas eléctricas (C40 Cities, 2023).

Asimismo, el impacto ambiental y regulatorio se torna cada vez más significativo. La flota actual emite directamente gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes locales, afectando negativamente la calidad del aire en Antofagasta y contribuyendo al cambio climático (Eickemeier et al, 2014). Esta situación no solo implica cuestiones éticas y de reputación corporativa, sino que también expone a la empresa a futuros riesgos regulatorios, como posibles impuestos ecológicos más estrictos o restricciones de circulación para vehículos contaminantes. La magnitud de esta contribución negativa,

calculada a partir de factores de emisión estándar para buses diésel y el recorrido anual de la flota, representa una externalidad que no ha sido adecuadamente mitigada (Ministerio de Energía, 2018).

En este marco, el proyecto aborda riesgos críticos para Marcopolo Transportes y su viabilidad futura; la tendencia global y nacional hacia la electromovilidad (Pereirinha et al., 2018) plantea el riesgo de obsolescencia tecnológica y pérdida de competitividad al mantener flotas de combustión interna, limitando el acceso a incentivos y afectando la percepción de los usuarios que valoran confort y sostenibilidad (según se infiere de los Anexos). La incertidumbre en la planificación de la inversión inicial significativamente mayor para BEV, incluyendo infraestructura, sin un análisis detallado de ROI, VAN y TIR, carece de una base financiera sólida. Adicionalmente, la falta de conocimiento sobre los requisitos operativos y técnicos para la implementación de BEV, incluyendo gestión de carga, mantenimiento y capacitación (Pereirinha et al., 2018), obstaculiza una planificación eficaz.

La magnitud del problema se evidencia en la considerable inversión inicial estimada, que requiere un análisis riguroso para determinar la rentabilidad y viabilidad operativa a largo plazo en Antofagasta, brecha que este estudio busca cerrar al establecer una línea base cuantificable para la comparación con el escenario de electrificación.

Objetivos del Proyecto

En coherencia con la problemática identificada, y reconociendo que este trabajo corresponde al diseño y evaluación de un proyecto de factibilidad y no a su implementación física, se establecen los siguientes objetivos:

a) Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnico-financiera del reemplazo de la flota actual de buses de combustión interna por buses eléctricos para la empresa Marcopolo Transportes, considerando sus operaciones específicas en la comuna de Antofagasta.

b) Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación operativa y financiera actual de la flota de Marcopolo Transportes.
- Determinar los requerimientos técnicos y de infraestructura para la implementación y operación sostenible de una flota de buses eléctricos.
- Estimar la inversión inicial total requerida para la adquisición de la flota de buses eléctricos propuesta y la infraestructura de soporte asociada.

- Proyectar y comparar los costos operativos diferenciales entre el escenario actual (combustión interna) y el escenario propuesto (eléctrico).
- Realizar la evaluación financiera del proyecto de reemplazo mediante la construcción de flujos de caja proyectados y el cálculo de indicadores clave como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recupero de la Inversión (PRI), bajo diferentes escenarios de financiamiento y tasas de descuento pertinentes.

1.3. Supuestos de mejora del proyecto

Esta sección establece los supuestos técnicos de mejora, articulando los beneficios cuantificables y cualitativos esperados que se derivarían de una eventual implementación futura de la propuesta evaluada en este estudio: el reemplazo de la flota de buses de combustión interna por buses eléctricos (BEV) en Marcopolo Transportes.

Estas premisas están basadas en las características inherentes de la tecnología BEV, las condiciones operativas estudiadas en Antofagasta y los resultados previstos de este análisis de viabilidad. Se alinean directamente con la reducción del problema identificado (incertidumbre técnica-financiera y limitaciones de la flota actual) y el logro de los objetivos del proyecto.

Se prevé que una implementación exitosa, basada en resultados favorables del análisis de viabilidad, impactaría positivamente en las siguientes variables clave y el rendimiento de Marcopolo Transportes:

Optimización de los Costos Operativos (OPEX):

Premisa: Se espera una significativa reducción del costo por kilómetro recorrido. La eficiencia energética de los motores eléctricos y el menor costo unitario de la electricidad (kWh) comparado con el diésel, especialmente bajo las tarifas eléctricas estructuradas de Chile, generarían importantes ahorros en el gasto energético anual. Además, la menor complejidad mecánica de los BEV (sin motor de combustión ni sistema de escape, menor desgaste de frenos gracias al frenado regenerativo) disminuiría los costos relacionados con el mantenimiento preventivo y correctivo (Ministerio de Energía, 2019).

Variables Modificadas:

- Reducción del Costo Energético/Combustible por Kilómetro (CLP/km).
- Reducción del Gasto Anual en Mantenimiento (CLP/año).
- Disminución del Costo Total de Propiedad (TCO) por unidad durante su ciclo de vida.

Mejora del Desempeño Ambiental y Cumplimiento Regulatorio:

Premisa: La adopción de BEV eliminaría las emisiones de tubo de escape (material particulado MP2.5, óxidos de nitrógeno NOx, CO2) en las rutas operadas por Marcopolo Transportes, contribuyendo a mejorar la calidad del aire local en Antofagasta y a reducir la huella de carbono de la empresa, alineándose con los objetivos nacionales de reducción de GEI [2, 7, 8]. También se espera una reducción drástica de la contaminación acústica, mejorando el confort urbano (Ministerio de Energía, 2019).

Variables Modificadas:

- Eliminación de Emisiones Locales de Contaminantes Criterio (kg/año de MP2.5, NOx).
- Reducción significativa de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO2eq) vinculadas a la operación directa (toneladas/año).
- Disminución del Nivel Promedio de Ruido Operacional (dB).
- Mejora en los indicadores de Cumplimiento de Normativas Ambientales actuales y futuras.

Incremento de la Eficiencia Operacional y Calidad del Servicio:

Premisa: Aunque la gestión de carga introduce una nueva variable, se espera que una planificación adecuada (derivada del estudio técnico) permita mantener o incluso mejorar la disponibilidad de la flota, gracias a tiempos de inactividad menores por mantenimiento no programado. El funcionamiento más suave y silencioso de los BEV mejoraría la experiencia de viaje para los pasajeros y las condiciones de trabajo para los conductores.

Variables Modificadas:

- Posible aumento de la Disponibilidad Técnica de la Flota (%).
- Mejora en los índices de Satisfacción del Usuario y del Conductor (medible a través de encuestas).
- Posible disminución de la Tasa de Fallas en Ruta (averías/100.000 km).

Fortalecimiento de la Viabilidad Financiera y Posicionamiento Estratégico:

Premisa: Si el análisis financiero (VAN, TIR, PRI) es favorable, la implementación representaría una inversión rentable a largo plazo, aunque el desembolso inicial sea mayor. Estratégicamente, situaría a Marcopolo Transportes como una empresa líder en el transporte sostenible en Antofagasta, mejorando su imagen corporativa y potencialmente facilitando el acceso a mecanismos de financiamiento verde o subsidios específicos para electromovilidad.

Variables Modificadas:

- Generación de un Valor Actual Neto (VAN) positivo.
- Obtención de una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior a la tasa de descuento/costo de capital.
- Mejora en la Percepción de Marca y Responsabilidad Social Empresarial (RSE).

Estas premisas de optimización parten de la base de que el diseño técnico propuesto (tipo de bus, sistema de carga, plan operativo) es adecuado para las condiciones de Antofagasta.

1.4. Alcances y limitaciones del proyecto

El análisis técnico abordará las especificaciones mínimas de los BEV adaptadas a las condiciones de Antofagasta, el dimensionamiento y la especificación de la infraestructura de carga necesaria en los patios existentes, incluyendo adecuaciones eléctricas y civiles, y un análisis preliminar del impacto en la red eléctrica local. Se establecerán también protocolos básicos de operación y mantenimiento para la flota eléctrica. El estudio financiero realizará una estimación detallada de la inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos anuales (OPEX) comparativos, construyendo flujos de caja para un horizonte de 10 a 15 años. Se calcularán indicadores de rentabilidad como VAN, TIR y PRI, y se realizará un análisis de sensibilidad de las variables críticas.

Se llevará a cabo una evaluación cuantitativa de la reducción potencial de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales al operar la flota eléctrica. Adicionalmente, se identificarán y evaluarán los principales riesgos técnicos, operativos y financieros asociados con la adopción de la tecnología BEV en el contexto específico de Marcopolo Transportes, lo cual es crucial para la planificación y gestión de posibles desafíos durante la implementación del proyecto.

1.5. Marco técnico y normativo

El diseño y evaluación de la propuesta de implementación de buses eléctricos (BEV) para Marcopolo Transportes se enmarca dentro de un conjunto específico de normativas, estándares técnicos. Esta sección detalla el marco referencial que guiará el análisis técnico y las especificaciones de la solución.

Normativa Chilena Pertinente

La normativa chilena pertinente para la implementación de buses eléctricos abarca diversas áreas. En transporte y tránsito, la Ley N° 18.290 establece las reglas generales de circulación, mientras que la Ley N° 20.378 y sus modificaciones regulan los subsidios al transporte público, ofreciendo potenciales incentivos para la renovación de flotas con vehículos limpios como los eléctricos. Además, regulaciones específicas del Ministerio de Transportes gestionan aspectos operativos del transporte público remunerado.

En cuanto a instalaciones eléctricas y conexión a la red, el Reglamento de Instalaciones de Consumo de Energía Eléctrica (RIC) y los Pliegos Técnicos Normativos (PTN) de la SEC definen los requisitos técnicos y de seguridad para las instalaciones eléctricas, incluyendo las estaciones de carga. También es relevante la normativa de la CNE y la SEC sobre la conexión de nuevos consumos de potencia al sistema de distribución. Finalmente, la Ley N° 21.305 de Eficiencia Energética fomenta un marco nacional que impulsa la eficiencia, donde la electromovilidad juega un rol importante, y existen regulaciones sobre seguridad y salud laboral aplicables a las nuevas operaciones con tecnología eléctrica.

Medio Ambiente

- Ley N° 19.300 (Bases Generales del Medio Ambiente): Marco general para la protección ambiental en Chile. Aunque los BEV tienen cero emisiones locales, la gestión futura de las baterías al final de su vida útil deberá tener en cuenta la normativa sobre residuos peligrosos o específicas que puedan surgir.
- Normas de Emisión de Ruido (D.S. N° 38/2011 MMA): Aunque los BEV son silenciosos, esta norma establece los límites que la flota actual probablemente supera, destacando el beneficio ambiental

Diversos estándares técnicos internacionales son fundamentales para asegurar la interoperabilidad, seguridad y el rendimiento de la tecnología de electromovilidad. En cuanto a vehículos eléctricos y baterías, la regulación UNECE R100 establece los requisitos de seguridad para las baterías, mientras que las normas ISO 6469 (partes 1-3) se centran en la seguridad funcional y la protección contra riesgos eléctricos, y la ISO 26262 aborda la seguridad funcional de los sistemas eléctricos y electrónicos en vehículos.

Para la infraestructura de carga, la serie de normas IEC 61851 define los modos de carga conductiva y los requisitos de seguridad y comunicación. La norma IEC 62196 especifica los tipos de conectores, incluyendo el CCS Combo 2, estándar para carga rápida DC en muchas regiones. La norma ISO 15118 define la comunicación entre el vehículo y la estación de carga, habilitando funciones avanzadas, y el protocolo OCPP es un estándar abierto para la comunicación entre estaciones de carga y sistemas de gestión, facilitando la monitorización y gestión eficiente.

2. Propuesta de Mejora y Evaluación Técnica-Económica

2.1. Descripción de la Propuesta de Mejora

Evaluación Técnica Financiera en la Implementación de Buses Eléctricos y realizar un Estudio de Factibilidad para reemplazar dichas Unidades en la Empresa Marcopolo Transportes.

Los estados cercanos y públicos se están centrando en la versatilidad eléctrica, sobre todo para aumentar la calidad del aire y abordar el cambio medioambiental. También están trabajando en aumentar la seguridad energética al reducir la dependencia de las importaciones de productos derivados del petróleo, fortalecer la eficiencia del parque automovilístico y fomentar el desarrollo de vehículos públicos como elementos clave.

A pesar de algunos progresos en la calidad del aire, ciertas ciudades latinoamericanas presentan niveles preocupantes de contaminación que, según la Organización Mundial de la Salud, alcanzan a menudo grados elevados. Evaluaciones sugieren que unas 50,000 muertes prematuras ocurren anualmente en estas ciudades debido a la contaminación aérea, principalmente generada por el transporte.

El mercado de vehículos en América Latina es uno de los sectores energéticos que está creciendo más rápidamente. Si se reemplazara la flota de buses y taxis en 22 grandes ciudades por vehículos eléctricos, la región podría ahorrar hasta 64,000 millones de dólares en gasto de combustible para el año 2030 y evitar la emisión de 300 millones de toneladas de dióxido de carbono (según Mojica, 2018).

El transporte público podría ser el impulsor de la movilidad eléctrica en América Latina. Los autobuses eléctricos tienen la capacidad de hacer esta forma de transporte más accesible en las ciudades de la región, donde las desigualdades socioeconómicas dificultan que la mayoría pueda adquirir vehículos eléctricos. La región posee condiciones ideales para que los autobuses eléctricos maximicen sus beneficios en términos de reducción de las emisiones, gracias a su red de energía relativamente limpia y al alto uso de energías renovables.

Además, América Latina es la región con el mayor consumo de transporte per cápita y tiene el número más alto de sistemas de tránsito rápido de autobuses (BRT), con 62 sistemas operativos que movilizan aproximadamente 20 millones de pasajeros por kilómetro cada día (Mojica, 2018). Afortunadamente, las grandes inversiones en BRT se pueden ajustar para integrar vehículos eléctricos con algunos cambios en su infraestructura y mejoras en los diseños de autobuses eléctricos articulados y biarticulados. El BRT podría servir como plataforma para la carga de sistemas de transporte eléctrico.

Entonces, los factores a analizar para la mejora son:

- a) Autonomía y tecnología: Comparación de modelos eléctricos (ej. BYD, Reborn Electric Motors) en rendimiento, vida útil y compatibilidad con rutas urbanas.
- b) Infraestructura: Requerimientos de carga (estaciones, potencia eléctrica) y adaptación de terminales (ej. Antofagasta, primer terminal eléctrico fuera de Santiago).
- c) Integración BRT: Aprovechar sistemas existentes para implementar buses articulados eléctricos, optimizando costos.

En síntesis, para la mejora de la eficiencia económica y la sostenibilidad de Marcopolo, el proyecto considera la implementación de buses eléctricos en la totalidad de la flota. Se presenta, a continuación, el análisis y diagnóstico situacional interna y externa.

Análisis Situacional Interno Empresa

Marcopolo Transportes es una empresa con una actividad de del servicio público de transporte urbano a pasajeros Metodología de implementación

Marcopolo Transportes, fundada en 1949 por Mauro Bellini y otros empresarios, es una empresa dedicada a la administración vehicular metropolitana en la comuna de Antofagasta. Con 76 años de experiencia, su principal actividad es ofrecer servicios de transporte público urbano y rural a los habitantes de la ciudad. La misión de la empresa es proporcionar un servicio de administración de transporte público de calidad, productivo y exitoso, con un alto compromiso con la comunidad, contribuyendo al desarrollo económico y social de Antofagasta.

La visión de Marcopolo Transportes es consolidarse como una empresa de transporte de pasajeros en crecimiento constante y con responsabilidad social. Sus valores corporativos fundamentales son la responsabilidad, enfocada en la seguridad, comodidad y cuidado del ambiente; el respeto, considerando las necesidades de clientes y personal para generar relaciones positivas; el desarrollo personal, mediante la formación continua del personal para mejorar el servicio; y la calidad, trabajando constantemente en la mejora de sus servicios y procesos internos, atendiendo a las expectativas de clientes y empleados.

2.2. Metodología de implementación

Tipo de Investigación

Investigación descriptiva: Esta permitió visualizar y analizar lo que está ocurriendo en la empresa, poniendo especial atención a los datos proporcionados por el entorno social para determinar el nivel de aceptación de los transportes eléctricos en el mercado de Antofagasta. A esto, se sumó la

evaluación de uno de los líderes de la organización utilizando una encuesta.

Investigación documental: Para llevar a cabo esta parte del estudio, fue esencial utilizar informes relevantes en el ámbito del transporte eléctrico. Se identificaron y revisaron los artículos principales, recortes de prensa, propuestas y libros que ayudaron a construir la base teórica

Investigación no experimental. La investigación se realizó sin un diseño experimental, lo que significa que los factores de estudio no fueron manipulados.

Enfoque de la Investigación

La investigación se desarrolló con un enfoque combinado. Gracias a su aplicación, se pudieron recolectar, analizar y conectar datos cuantitativos y cualitativos que facilitaron la resolución de los problemas del estudio. El análisis cualitativo permitió identificar y evaluar la aceptación del servicio de buses eléctricos como transporte público para Marcopolo Transporte. Por su parte, el análisis cuantitativo, basado en procesos estadísticos y numéricos, ayudó a valorar la viabilidad de implementar buses eléctricos en dicha empresa.

Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas empleadas en la investigación incluyeron encuesta, revisión bibliográfica y análisis de documentos.

Fuentes Primarias

Tabla 1. Fuentes Primarias de la Investigación

FUENTES	INSTRUMENTOS	INFORMACION
Usuarios potenciales de la línea y rutas	Encuesta	Preferencias del consumidor: Frecuencia de uso del servicio. Evaluación del servicio actual. Conocimiento acerca de los beneficios de los buses eléctricos
Directivo de la institución	Entrevista	Disposición a adquirir buses eléctricos. Expectativas acerca de este tipo de vehículos. Conocimiento de los incentivos arancelarios
Usuarios de otras líneas	Encuesta	Valoración del servicio actual de los buses eléctricos

Elaborado por. Elaboración propia (2023)

Fuentes secundarias

Tabla 2. Fuentes Secundarias de la Investigación

FUENTES	INSTRUMENTOS	INFORMACION
Páginas web, libros, tesis	Secundaria	Estadísticas del sector en general. Investigaciones antes realizadas por otros autores

Elaborado Elaboración propia (2023)

Población y Muestra

La población se compone de individuos que viven cerca de las rutas correspondientes con el objetivo de que puedan ser posibles clientes de Marcopolo Transporte. Dado que no se conoce la cantidad de individuos que utilizan esta ayuda debido a la ausencia de fuentes reales, se aplica la ecuación para una población oscura ilimitada, es decir, población desconocida infinita.

El estudio se va realizar en tres etapas:

-Primera fase del estudio: Los clientes de la ruta de transporte, con una suma de 248 individuos serán revisados debido a la ecuación conseguida para poblaciones infinitas

Donde:

Z= Nivel de confianza (1.89)

p= probabilidad que ocurra el evento (0,50)

q= probabilidad de que no ocurra el evento (0,50)

e= Error de estimación (6%)

Se estima un nivel de confianza del 94 % equivalente al 1.89 del valor determinado por la tabla Z, asumiendo un margen de error del 6% que podría interferir en el proyecto

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

$$n = \frac{(1.89)^2 \cdot 0,50 \cdot 0,50}{0,06^2}$$

$$n = 248 \text{ Encuestas}$$

Segunda fase de la revisión: Se dirigirá una reunión con la dirigencia de Marcopolo Transportes, esto para averiguar su perspectiva sobre la proposición de realizar transportes eléctricos en su armada a efectos de vehículo público.

Tercera fase de la revisión: A partir de ahora, se utilizará el método no probabilístico de pruebas de confort, centrado en 50 clientes de la ruta que han usado este tipo de servicios en otra empresa para averiguar cómo valoran la administración de flujo de este tipo de transporte.

Resultados del Estudio a Usuarios

Para evaluar la viabilidad del proyecto y la percepción del público objetivo, se aplicó una encuesta a 248 usuarios de la ruta correspondiente. Los principales hallazgos fueron:

Tabla 3 - Resultados del Estudio a Usuarios

Dimensión Evaluada	Resultado
Aceptación del servicio eléctrico	97% está a favor de que la empresa implemente buses eléctricos.
Experiencia previa con buses eléctricos	44% ha utilizado buses eléctricos de otras empresas. De ellos, el 75% muy satisfecho y 25% satisfecho.
Factores más valorados	Comodidad, climatización, no emisión de contaminantes, accesibilidad para sillas de ruedas.
Intención de uso	63% lo usaría “definitivamente” y 37% “probablemente sí”.
Recomendación del servicio	65% lo recomendaría sin dudar.
Satisfacción general	58% se siente muy satisfecho con experiencias actuales o similares.

Fuente: Elaboración propia

El análisis completo de resultados, incluyendo gráficos y respuestas detalladas, se presenta en el Anexo 1: Resultados del Estudio a Usuarios

Resultados del estudio a usuarios de rutas

Como complemento al análisis anterior, se encuestó a un grupo de usuarios con experiencia previa en buses eléctricos, pertenecientes a otras rutas o empresas de transporte en la ciudad.

Los resultados indican una valoración altamente positiva del servicio:

- El 54% calificó su experiencia como “excelente”, seguido por un 29% que la consideró “muy buena”.
- Un 58% se declaró muy satisfecho, y ningún encuestado expresó insatisfacción.
- El 65% lo recomendaría de forma categórica, destacando la comodidad, seguridad y eficiencia del servicio eléctrico.

Se valoró especialmente la climatización, el diseño interior y la accesibilidad universal de estas unidades, estos datos refuerzan la percepción favorable del mercado respecto a la tecnología eléctrica y consolidan el interés por su adopción en Marcopolo Transportes, los detalles completos de esta encuesta se encuentran en el Anexo 2: Resultados del Estudio a Usuarios.

Análisis de los resultados obtenidos

Los resultados del estudio reflejan una alta aceptación de los buses eléctricos entre los usuarios encuestados. El 54% calificó su experiencia como “excelente” y el 58% manifestó estar “muy satisfecho” con el servicio recibido.

En cuanto a la intención de recomendación, el 65% afirmó que “definitivamente sí” recomendaría este tipo de transporte, destacando aspectos como la comodidad, seguridad y eficiencia. Además, el 75% valoró como “bueno” el precio asociado al servicio, lo que indica una adecuada percepción de costo-beneficio.

Por otro lado, el 97% de los encuestados apoyaría la incorporación de buses eléctricos en las rutas de Marcopolo Transportes, lo que demuestra un fuerte interés por una renovación sostenible del sistema actual. Respecto a los atributos más valorados, el 57% consideró fundamental que los buses no contaminen el medio ambiente, y el 81% resaltó la importancia de contar con climatización adecuada, especialmente considerando las condiciones climáticas de la comuna de Antofagasta.

Finalmente, de los datos obtenidos en entrevistas y reuniones, se concluye que la empresa proyecta renovar su flota de forma progresiva durante los próximos 10 años, en coordinación con las autoridades locales, con el objetivo de transitar hacia una operación más limpia, moderna y sostenible.

Definición de la Situación Base sin Proyecto

Antes de abordar la propuesta de incorporación de buses eléctricos, es fundamental establecer un diagnóstico de la situación actual de Marcopolo Transportes, a continuación, se presenta la siguiente tabla resume el contexto operativo, financiero, ambiental y competitivo en el que se encuentra la empresa sin la ejecución del proyecto:

Tabla 4. Diagnóstico Base

Categoría	Subcategoría	Descripción
1. Contexto Operacional	Actualidad	Flota impulsada por diésel y gasolina, en un entorno marcado por regulaciones ambientales más estrictas y presión por adoptar soluciones limpias.
2. Flota Actual	Combustible	Uso de combustibles fósiles genera emisiones y deteriora la calidad del aire.
	Costos Operativos	Sensibles al precio del petróleo y con alta carga de mantenimiento.
	Emisiones	Contribuyen al cambio climático y afectan la salud urbana.
3. Desafíos	Económicos	Volatilidad en precios del petróleo y presión por mantener rentabilidad.

	Regulatorios	Exigencias crecientes por reducción de emisiones contaminantes.
4. Oportunidades	Sostenibilidad	Posibilidad de liderar la adopción de tecnologías limpias y mejorar reputación.
5. Sostenibilidad	Huella Ambiental	Operación actual contribuye significativamente a gases de efecto invernadero.
	Percepción del Cliente	Riesgo reputacional si no se adoptan tecnologías más responsables.
6. Competitividad	Diferenciación	Falta de innovación frente a otras empresas limita el posicionamiento.
	Imagen Corporativa	Se ve afectada por no implementar mejoras sostenibles.
7. Evaluación Financiera	Costos	Altos gastos por operación, mantenimiento y consumo de combustible.
	Rentabilidad	Vulnerabilidad ante factores externos reduce eficiencia financiera.

Fuente: Elaboración propia

Definición de la Situación Base con Proyecto

La siguiente tabla resume la situación esperada de Marcopolo Transportes tras la implementación del proyecto de buses eléctricos, para esto se consideran los aspectos técnicos, ambientales, económicos y estratégicos que marcan el escenario futuro con el proyecto en operación.

Tabla 5. Diagnóstico de la situación base con proyecto

Categoría	Subcategoría (si aplica)	Descripción
1. Proyecto General	futura	Sustitución progresiva de la flota por buses eléctricos, con enfoque en sostenibilidad, ahorro operativo e innovación tecnológica.
2. Características Clave	Adquisición de buses	Buses eléctricos con tecnología avanzada, cero emisiones locales y eficiencia energética.
	Infraestructura	Estaciones de carga instaladas en patios propios, asegurando continuidad operativa.
	Capacitación	Programas para conductores, técnicos y personal administrativo.
3. Beneficios Esperados	Emisiones	Reducción significativa de gases contaminantes y mejora de la calidad del aire.
	Ahorros operativos	Menor gasto en combustible y mantenimiento, mayor eficiencia energética.
	Imagen sostenible	Posicionamiento como empresa líder en movilidad limpia.
4. Sostenibilidad	Huella Ambiental	Contribución a la mitigación del cambio climático a nivel local y nacional.
	Tendencias del mercado	Alineación con políticas públicas y preferencias por transporte ecológico.
5. Competitividad	Diferenciación	Ventaja competitiva frente a empresas que mantienen tecnologías tradicionales.
	Atracción de clientes	Incremento de la preferencia y lealtad de usuarios ambientalmente conscientes.

6. Evaluación Financiera	Costos vs Ahorros	Análisis comparativo entre inversión inicial y beneficios financieros sostenidos.
	Retorno de Inversión (ROI)	Estimación del plazo para recuperar la inversión.
	Riesgos y mitigación	Identificación de riesgos (aceptación, adaptación operativa) y estrategias de contención.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de la Oferta

La oferta actual es en promedio de 800 pasajeros por unidad al día, el mismo que tiene una frecuencia de 8 rutas diarias y una totalidad de 22 unidades activas en la empresa que en promedio da como resultado 17.600 usuarios que se movilizan de forma diaria en la línea correspondiente de la empresa de transporte Marco Polo.

Tabla 6. Promedio de pasajeros diarios en la línea de la empresa Marco Polo Transporte

Pasajeros por Unidad al día	Rutas Diarias	Promedio Diario
800	8	17.600

Fuente. Datos obtenidos de la Empresa Marco Polo Transporte

Con relación a la ciudad de Antofagasta, existen una serie de empresas de transporte que fueron las primeras en prestar servicios en buses eléctricos. Estas empresas operan rutas donde estos vehículos transportan alrededor de 12.000 pasajeros cada día por un precio referencia que va desde los \$550 hasta \$1200 pesos chilenos (Cobro por Kilómetros).

Para calcular los ingresos por la venta de boletos del transporte, podemos multiplicar el número de autobuses por la cantidad de pasajeros que pueden transportar cada día, el número de rutas diarias y el costo del boleto. Esto nos dará los ingresos diarios, que luego podemos multiplicar por el número de días operativos en un año para obtener los ingresos anuales.

Dado que hay 22 autobuses, cada uno transporta 800 pasajeros por día en promedio y hay 8 rutas diarias, podemos calcularlo de la siguiente manera:

Ingresos diarios por autobús = (Pasajeros por unidad al día) * (Costo del boleto)
 Total de ingresos diarios = Ingresos diarios por autobús * Unidades * Rutas Diarias
 Ingresos anuales = Total de ingresos diarios * Días operativos en un año

Ingresos diarios por autobús = $800 * \text{USD } 1,5 = \text{USD } 1.200$ Total de ingresos diarios = $\text{USD } 1.200 * 22 * 8 = \text{USD } 211.200$ Si consideramos que hay aproximadamente 300 días operativos en un año, los ingresos anuales serían: Ingresos anuales = $\text{USD } 211.200 * 300 = \text{USD } 63.360.000$

Entonces, los ingresos anuales por la venta de boletos serían de aproximadamente
USD 63.360.000.

Análisis Externo. Transporte Urbano de Pasajeros en Chile.

Según el Boletín de Información del Parque Automotor del INE Antofagasta, que se dio a conocer en 2022, existían 177.296 vehículos en la región, lo que representa un aumento de 5,0% respecto a 2021. Con relación a esta suma, los vehículos motorizados constituían el 96,1% y los no motorizados el 3,9% restante. 149.211 automóviles, es decir, el 84,2% del total de vehículos, se destinaron al transporte particular., el Transporte Colectivo representó el 5,8% del total con 10.406 automóviles, mientras que el Transporte de Carga alcanzó las 17.679 unidades y tuvo una cuota o participación del 10,0%. Una de las tres comunas de la región con mayor participación en el parque vehicular regional fue Antofagasta, con 102.854 unidades

A nivel nacional, el parque automotriz aumentó un 9,1% respecto a 2022, alcanzando las 6.102.351 unidades. El 2,9% del parque automotor nacional se encontraba en la región de Antofagasta. La Región Metropolitana, que cuenta con 2.275.397 automóviles, representa el 37,3% del total de vehículos en circulación, según la distribución del parque automovilístico entre las regiones. La Región de Biobío ocupa el segundo lugar, con 492.905 vehículos (8,1% del parque total de vehículos), seguida de Valparaíso, con 677.337 automóviles, que representan el 11,1% del parque total.

Debido a sus largos recorridos, la disponibilidad a veces limitada de unidades, el volumen de pasajeros que suelen utilizar el servicio, sobre todo en las horas pico, el deterioro de las condiciones de las unidades y el clima de la ciudad, que hace extremadamente incómodo el uso del transporte público, el transporte urbano tradicional es visto más inseguro en relación a la oferta del transporte privado.

En la comuna de Antofagasta existen rutas de transporte urbano, que son atendidas por buses y tienen una duración promedio de viaje de sobre máximo de 90 minutos. Estas rutas están organizadas en varios circuitos por la Autoridad de Tránsito. La demanda en este momento es de 308.847 pasajeros, Además, la comuna cuenta con el sistema integrado de transporte que ha mejorado la movilidad en la ciudad.

Análisis de los Precios

Hace referencia al valor de los productos expresado en términos monetarios. Normalmente el comprador quiere que los precios de los productos sean muy bajos o similares a los productos sustitutos. El modelo de 12,6 metros, que es el que mejor se adapta al entorno de la comuna y al tipo de servicio que se prestará, cuesta USD 385.000,00 (Trecientos ochenta y cinco mil dólares) por unidad en el mercado de Antofagasta. De acuerdo a esto, los dueños y socios de la empresa Marco Polo Transportes deberán invertir USD 8.470.000 en la renovación de las unidades de buses eléctricos. Al igual que otras formas de transporte, los autobuses eléctricos necesitan la mejor infraestructura posible para el proceso de carga. En el caso de los vehículos eléctricos, estos funcionan con fuentes de energía que se comunican a través de cargadores, que suministran electricidad a los mismos.

2.3. Evaluación técnica de la mejora: Diagnóstico del Proyecto

En este apartado se realiza un estudio de factibilidad para sustituir las unidades de buses utilizados en la empresa Marcopolo Transportes por vehículos (buses) eléctricos

Sector Industrial y Giro el Negocio

Descripción del Sector Industrial: Transporte Público de Pasajeros. Marcopolo Transportes opera dentro del sector del transporte público de pasajeros, un área vital para la movilidad tanto urbana como regional, que actualmente está influenciada por una conciencia ambiental en aumento y la necesidad de adoptar tecnologías eco amigables. La actividad central de la empresa es el diseño, producción y venta de vehículos para el transporte público, con un enfoque especial en autobuses, dirigidos a compañías y organismos gubernamentales que desean actualizar sus flotas. La innovación tecnológica y la sostenibilidad son pilares clave, con la transición hacia vehículos eléctricos representando una oportunidad estratégica acorde con las tendencias del sector.

El transporte público de pasajeros está experimentando una clara inclinación hacia la movilidad sostenible, impulsada por regulaciones ambientales más estrictas que exigen la implementación de alternativas más limpias, como los vehículos eléctricos. La constante búsqueda de eficiencia operativa y la reducción de costos siempre presenta retos en este sector. Marcopolo Transportes se posiciona con ventaja gracias a su sólida reputación y amplia trayectoria, junto con un compromiso con la innovación.

La incorporación de buses eléctricos en Marcopolo Transportes responde a la necesidad de modernizar su flota, alineándose con las tendencias globales de movilidad sostenible, las regulaciones ambientales vigentes y la creciente demanda por servicios de transporte más eficientes y limpios.

Desde una perspectiva técnico-financiera, esta transición representa una decisión estratégica

que requiere una planificación rigurosa en cuatro aspectos clave: costos, fuentes de recursos, financiamiento y modelo de negocios. En este último, se contempla el leasing operativo y la separación del costo de la batería como mecanismos para facilitar la inversión y gestión de activos.

Las fuentes de financiamiento pueden incluir recursos directos (tarifas, fondos públicos) e indirectos (subsidios, incentivos fiscales), lo que exige un análisis previo de viabilidad técnica, incluyendo necesidades como patios de recarga, cargadores y mantenimiento especializado.

Análisis Fuerzas de Porter

Amenaza de entrada de nuevos competidores. El ingreso de nuevos actores al mercado de buses eléctricos es limitado, debido a las barreras técnicas y financieras, debido a la falta de experiencia y capital en muchas empresas reduce esta amenaza a un nivel bajo.

- Amenaza de posibles sustitutos

La presencia de alternativas como la aerovía o el uso masivo de energía solar aún es incipiente y más orientada al turismo, debido a la falta de infraestructura y cultura de uso de energías limpias posiciona esta amenaza en un nivel moderado.

- Poder de negociación de los clientes

Los usuarios pueden optar entre diversos servicios, por lo que exigirán calidad, innovación y precios competitivos, no obstante, Marcopolo confía en retener clientes gracias a su reputación, modernización y servicio eficiente.

- Poder de negociación de los proveedores

Fabricantes como BYD concentran la oferta de buses eléctricos, lo que les otorga ventaja en la negociación, por lo tanto, la empresa deberá optar por proveedores con mejores condiciones técnicas y financieras.

- Rivalidad entre competidores existentes

Debido a que solo se ha establecido pocas empresas que se dedica a prestar sus servicios con buses eléctricos, los competidores inmediatos son las empresas de transporte, que prestan sus servicios de manera diaria. Según una investigación realizada con otras empresas de transporte, se descubrió que muchas de estas empresas no están interesadas actualmente en sustituir sus unidades debido a la actual crisis económica, y si lo estuvieran, no lo harían a medio o largo plazo con autobuses eléctricos porque su inversión es mucho mayor que la de los autobuses de combustibles fósiles.

Análisis Matriz FODA

Tabla 7. Matriz FODA

MATRIZ FODA		OPORTUNIDADES	AMENAZAS
			<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollo hidroeléctrico en todo el país. 2. Adopción de la nueva ley nacional de eficiencia energética. 3. Crecimiento comercial de la industria automovilística/Transporte
FACTORES EXTERNOS			
FACTORES INTERNOS		<ol style="list-style-type: none"> 1. Mejorar la mano de obra mediante iniciativas de formación 2. Mejora continua en la industria del transporte 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formación de trabajadores para la reparación de autobuses eléctricos. 2. Adquisición de herramientas de mantenimiento.
FORTALEZAS	Conductores de vehículos eléctricos plenamente cualificados	3.	3.
	Comprensión del servicio propuesto	4.	
	Gran experiencia en el sector del transporte		
	No hay rivalidad directa a lo largo del recorrido realizado por Las unidades		
DEBILIDADES		<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer acuerdos con la Autoridad de Tránsito 2. Innovación tecnológica del servicio de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> ● Enviar a los empleados que trabajan en operaciones a una formación electromecánica. ● Establecer reuniones con la Cámara Nacional de Transportistas de Chile para tratar las garantías del sector.
El precio del servicio viene determinado por la normativa			
Al no existir una base de usuarios establecida, la demanda es inestable.			
Los costes serán superiores a los de la competencia.		3.	
		<ol style="list-style-type: none"> 3. Creación de procedimientos de comunicación destinados a informar a los clientes sobre el nuevo servicio. 	

Fuente: Elaboración propia

Localización del Proyecto

La selección de la localización para la implementación de buses eléctricos por Marcopolo Transportes requiere considerar varios factores estratégicos. Es crucial la proximidad a centros urbanos y rutas de transporte público para facilitar la integración de los buses en las operaciones existentes y mejorar la accesibilidad. Asimismo, la disponibilidad de una infraestructura de recarga eficiente o la posibilidad de implementarla estratégicamente es fundamental. Otros aspectos relevantes incluyen la consideración de incentivos locales, como exenciones fiscales, y la evaluación de las condiciones climáticas, ya que pueden afectar la eficiencia de los vehículos eléctricos.

El análisis geográfico y logístico implica asegurar una buena conectividad de transporte para la distribución de buses y componentes, así como el acceso de clientes y socios.

Evaluación Técnica de la Mejora

Una vez definida la propuesta de reemplazo de la flota actual de buses de combustión interna por buses eléctricos de batería (BEV), es fundamental realizar una evaluación técnica comparativa que permita contrastar el desempeño proyectado del nuevo sistema con el estado actual (línea base) de la operación de Marcopolo Transportes en Antofagasta. Esta comparación tiene como objetivo central demostrar, con base en los datos del diagnóstico, las especificaciones técnicas del diseño propuesto y las proyecciones operativas fundadas, que la implementación de la flota BEV es técnicamente efectiva y representa una mejora tangible desde el punto de vista del rendimiento técnico-operativo. Para llevar a cabo esta evaluación, se analizan Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) asociados directamente a la operación de la flota y la infraestructura de soporte, comparando la situación actual (derivada del diagnóstico) con el escenario proyectado para la flota BEV (derivado del diseño técnico y supuestos operativos).

Eficiencia Energética y Costos Operacionales Asociados:

-KPI: Consumo Energético Específico (kWh/km para BEV vs. L/km para diésel) y Costo Operacional Energético/Combustible por Kilómetro (CLP/km).

-Evaluación: Se proyecta una mejora sustancial en la eficiencia energética. Basado en las especificaciones técnicas de los BEV seleccionados y las características de las rutas de Antofagasta, se estima un consumo energético (kWh/km) significativamente menor en términos de energía primaria y final comparado con el consumo de diésel de la flota actual. Traducido a costos, considerando las tarifas eléctricas aplicables (según análisis tarifario [27]) versus el costo del diésel, se proyecta una reducción significativa en el Costo Energético/Combustible por Kilómetro, como se detalla en el análisis de costos

operativos (Sección 2.1.3 y proyecciones financieras). Esta mejora es un pilar fundamental de la viabilidad económica.

Desempeño Ambiental:

-KPIs: Emisiones anuales de Contaminantes Locales (kg/año de MP2.5, NOx) y Emisiones anuales de Gases de Efecto Invernadero (toneladas CO₂eq/año). Nivel de Ruido Operacional (dB).

-Evaluación: La propuesta BEV representa una mejora ambiental drástica. Se proyecta la eliminación total (reducción del 100%) de las emisiones de tubo de escape (MP2.5, NOx) en las rutas operadas, impactando positivamente la calidad del aire local. Asimismo, se proyecta una reducción significativa de las emisiones directas de CO₂eq, contribuyendo a las metas de mitigación climática [2, 7, 8]. (Las emisiones indirectas dependerán del mix de generación eléctrica, pero la tendencia nacional es hacia la descarbonización [5, 6]). Adicionalmente, se espera una reducción drástica del ruido operacional (estimada en varios decibeles respecto a la norma D.S. N° 38/2011 MMA), mejorando el confort acústico urbano.

Fiabilidad y Mantenimiento:

-KPIs: Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) o Tasa de Fallas (fallas/100.000 km), Costo Anual de Mantenimiento por Unidad (CLP/bus/año), Disponibilidad Técnica de la Flota (%).

-Evaluación: Debido a la menor cantidad de componentes mecánicos móviles y la ausencia de sistemas complejos (motor de combustión, transmisión, escape), se proyecta una disminución en la frecuencia de fallas y una reducción en los costos de mantenimiento preventivo y correctivo (como se asume en los supuestos de mejora y se detalla en la estimación de OPEX [Sección 2.1.3 y tablas de costos/depreciación]). Aunque surgen nuevos componentes críticos (baterías, electrónica de potencia), la selección de tecnología probada y planes de mantenimiento predictivo (basados en monitoreo) permitirían mantener o incluso potencialmente mejorar la Disponibilidad Técnica de la Flota a largo plazo, a pesar de los tiempos requeridos para la carga planificada.

Rendimiento Operacional Específico BEV:

-KPIs: Cumplimiento de Autonomía Requerida, Eficiencia del Proceso de Carga.

-Evaluación: El diseño técnico (Sección 2.3.1) ha seleccionado BEV con especificaciones de batería y sistemas de gestión térmica que, según análisis y simulaciones (si se realizaron), cumplen con la autonomía mínima requerida para las rutas más exigentes de Marcopolo, incluso considerando factores como climatización y degradación esperada. El dimensionamiento de la infraestructura de carga (ej. 10 cargadores rápidos de 150 kW) está proyectado para permitir la recarga completa de la flota en ventanas de tiempo operativamente viables (ej. nocturnas, aprox. 3.5 horas según PDF p.29),

asegurando la operatividad diaria. La adopción de estándares como CCS Combo 2 y OCPP (Sección 1.6.2) garantiza la interoperabilidad y la gestión eficiente de la carga.

Seguridad:

-KPIs: Cumplimiento normativo (UNECE R100, ISO 6469, RIC), Nivel de Accidentabilidad (proyectado).

-Evaluación: La evaluación de seguridad del proyecto de implementación de buses eléctricos se basa en el cumplimiento de normativas como UNECE R100, ISO 6469 y el RIC, así como en el nivel de accidentabilidad proyectado. La propuesta técnica asegura el cumplimiento de las normas de seguridad eléctrica y vehicular aplicables, tanto nacionales como internacionales. Si bien no se espera un cambio directo en la accidentabilidad general, la incorporación de tecnologías como el frenado regenerativo y los ADAS en los BEV podría contribuir indirectamente a la seguridad. La gestión de riesgos eléctricos requerirá capacitación específica (ISO 45001).

2.4. Evaluación económica y financiera de la mejora

a) Tasa de Descuento:

- La tasa de descuento es el porcentaje utilizado para calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros del proyecto.
- La tasa de descuento se determina teniendo en cuenta la tasa de interés de oportunidad y el riesgo asociado al proyecto.
- En este caso, podemos establecer una tasa de descuento del 10% anual como base, ajustándola según el contexto financiero y económico de Chile y la industria de transporte.

b) Horizonte del Proyecto:

- El horizonte del proyecto es el período de tiempo durante el cual se evaluarán los flujos de efectivo del proyecto.
- Para este proyecto, el horizonte de evaluación puede ser de 10 a 15 años, que es la vida útil estimada de los autobuses eléctricos y otros activos relacionados.

c) Moneda a Utilizar:

- Es importante definir la moneda en la que se realizarán los cálculos financieros del proyecto.
- Dado que el proyecto se llevará a cabo en Chile, podemos utilizar el peso chileno (CLP) como moneda local para los cálculos internos. Sin embargo, para la presentación de informes y análisis más amplios, también podemos

- convertir los valores a dólares estadounidenses (USD) para facilitar la comparación con otros proyectos internacionales.

d) Impuestos:

- Se deben considerar los impuestos locales que afectarán la rentabilidad del proyecto.
- En Chile, la tasa impositiva sobre las ganancias corporativas es del 27%, pero puede haber incentivos fiscales específicos para proyectos de energía renovable y movilidad sostenible que podrían reducir esta carga impositiva.

Fuentes y costos del financiamiento

En esta sección, se detallarán las fuentes de financiamiento disponibles para el proyecto de implementación de autobuses eléctricos, así como los costos asociados con cada una de estas fuentes. Se analizarán las instituciones crediticias que podrían proporcionar el financiamiento necesario, las tasas de interés aplicables y los diferentes sistemas de amortización que podrían ser utilizados.

Fuentes de Financiamiento:

- Instituciones Bancarias: Se explorarán las opciones de préstamos ofrecidas por bancos locales e internacionales.
- Financiamiento Corporativo: Se considerará la posibilidad de obtener financiamiento a través de emisiones de bonos u otras herramientas financieras corporativas.
- Inversionistas Privados: Se evaluará la posibilidad de atraer inversionistas privados interesados en el proyecto.

Costos del Financiamiento:

- Tasa de Interés: Se investigarán las tasas de interés ofrecidas por las diferentes instituciones crediticias, tanto en moneda local como en dólares estadounidenses.
- Comisiones y Cargos: Se analizarán las comisiones y cargos asociados con los préstamos, como comisiones de apertura, comisiones de estudio, seguros obligatorios, entre otros.
- Sistema de Amortización: Se estudiarán diferentes sistemas de amortización, como el sistema de amortización francés, alemán o americano, para determinar cuál sería el más adecuado para el proyecto.

Tabla 8. Fuentes y costos del financiamiento

Fuente de Financiamiento	Tasa de Interés	Comisiones y Cargos	Sistema de Amortización
Banco Local	8% anual	Comisión de apertura: 1% del monto del préstamo	Amortización Francés
Banco Internacional	LIBOR + 5%	Comisión de estudio: 0.5% del monto del préstamo	Amortización Alemán
Emisión de Bonos	7.5% anual	Costos de emisión: 2% del valor de los bonos emitidos	Amortización Francés

Fuente. Elaboración Propio

El costo de financiamiento del proyecto contempla tres fuentes principales, cada una con condiciones específicas que deben ser evaluadas en función del perfil financiero de Marcopolo Transportes. El Banco Local ofrece una tasa fija del 8% anual, con una comisión de apertura equivalente al 1% del monto solicitado, y utiliza el sistema de amortización francés, caracterizado por cuotas constantes que combinan capital e intereses. Por otro lado, el Banco Internacional propone una tasa variable basada en LIBOR + 5%, lo que introduce riesgo cambiario y de mercado, acompañado de una comisión de estudio del 0,5% y amortización alemana, donde las cuotas de capital son constantes y los intereses decrecen. Finalmente, la Emisión de Bonos presenta una tasa del 7,5% anual, con costos de emisión del 2% sobre el valor total colocado, también bajo amortización francesa. La elección entre estas opciones debe considerar no solo el costo efectivo, sino también la estabilidad de pagos, la exposición a riesgos externos y la flexibilidad contractual.

Tabla 9. Amortización financiamiento inversión inicial

Año	Saldo Inicial (\$ USD)	Cuota (Flujo Anual) (\$ USD)	Interés (10%) (\$ USD)	Amortización a Capital (\$ USD)	Saldo Final (\$ USD)
0	-	-	-	-	\$28.912.000
1	\$28.912.000	\$55.666.600	\$2.891.200	\$52.775.400	-\$23.863.400
2	-\$23.863.400	\$55.666.600	-\$2.386.340	\$58.052.940	-\$81.916.340
3	-\$81.916.340	\$55.666.600	-\$8.191.634	\$63.858.234	-\$145.774.574
4	-\$145.774.574	\$55.666.600	-\$14.577.457	\$70.244.057	-\$216.018.631
5	-\$216.018.631	\$55.666.600	-\$21.601.863	\$77.268.463	-\$293.287.094
6	-\$293.287.094	\$55.666.600	-\$29.328.709	\$84.995.309	-\$378.282.403
7	-\$378.282.403	\$55.666.600	-\$37.828.240	\$93.494.840	-\$471.777.243
8	-\$471.777.243	\$55.666.600	-\$47.177.724	\$102.844.324	-\$574.621.567
9	-\$574.621.567	\$55.666.600	-\$57.462.157	\$113.128.757	-\$687.750.324
10	-\$687.750.324	\$55.666.600	-\$68.775.032	\$124.441.632	-\$812.191.956

Depreciaciones

La depreciación es un concepto contable que refleja la disminución del valor de un activo con el tiempo debido al desgaste, obsolescencia u otros factores. En el contexto empresarial, la depreciación se utiliza para distribuir el costo de un activo tangible a lo largo de su vida útil estimada. Cuando la empresa adquiere un activo tangible, como maquinaria, equipo, vehículos o edificios, este activo pierde valor con el tiempo debido al uso, el paso del tiempo o la obsolescencia tecnológica. La depreciación es la forma en que la empresa refleja esta disminución del valor del activo en sus estados financieros a lo largo del tiempo.

La depreciación se registra como un gasto en los estados financieros de la empresa y se utiliza para reducir los ingresos antes de impuestos, lo que a su vez reduce la cantidad de impuestos que la empresa debe pagar. Esto es importante para reflejar con mayor precisión el costo de los activos utilizados en la producción de bienes o servicios durante un período contable determinado.

Tabla 11. Depreciaciones de Activos en General

DEPRECIACION			AÑO									
DESCRIPCION	Vida Útil	Costo Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estaciones de Carga	10	50.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00
Equipos de Mantenimiento:	5	20.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Infraestructura de Soporte	8	30.000,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00
Vehículos de Soporte	6	40.000,00	6.666,67	6.666,67	6.666,67	6.666,67	6.666,67	6.666,67	6.666,67	6.666,67	6.666,67	6.666,67
Instalaciones y Mejoras	15	60.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Sistemas de Seguridad y Control	7	10.000,00	1.428,57	1.428,57	1.428,57	1.428,57	1.428,57	1.428,57	1.428,57	1.428,57	1.428,57	1.428,57
Mobiliario de Oficina:	5	15.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Buses Eléctricos	10	385.000,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00	38.500,00
TOTAL			66.345,24	66.345,24	66.345,24	66.345,24	66.345,24	66.345,24	66.345,24	66.345,24	66.345,24	66.345,24

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 12. Depreciaciones de Activos (Buses Eléctricos)

DATOS			Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
Descripción	Buses Eléctricos		0						\$385.000,00
Monto	\$385.000,00		1	0,18181818	18,18181818	\$385.000,00	\$70.000,00	\$70.000,00	\$315.000,00
Vida Útil	10 Años		2	0,16363636	16,36363636	\$385.000,00	\$63.000,00	\$133.000,00	\$252.000,00
Suma de Años	55		3	0,14545455	14,54545455	\$385.000,00	\$56.000,00	\$189.000,00	\$196.000,00
Cálculo de Factor			4	0,12727273	12,72727273	\$385.000,00	\$49.000,00	\$238.000,00	\$147.000,00
10 Años	1	0,181818182	5	0,10909091	10,90909091	\$385.000,00	\$42.000,00	\$280.000,00	\$105.000,00
9 Años	2	0,163636364	6	0,09090909	9,090909091	\$385.000,00	\$35.000,00	\$315.000,00	\$70.000,00
8 Años	3	0,145454545	7	0,07272727	7,272727273	\$385.000,00	\$28.000,00	\$343.000,00	\$42.000,00
7 Años	4	0,127272727	8	0,05454545	5,454545455	\$385.000,00	\$21.000,00	\$364.000,00	\$21.000,00
6 Años	5	0,109090909	9	0,03636364	3,636363636	\$385.000,00	\$14.000,00	\$378.000,00	\$7.000,00
5 Años	6	0,090909091	10	0,01818182	1,818181818	\$385.000,00	\$7.000,00	\$385.000,00	\$0,00
4 Años	7	0,072727273			100%				
3 Años	8	0,054545455							
2 Años	9	0,036363636							
1 Año	10	0,018181818							

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 13. Depreciaciones de Activos (Estaciones de carga)

DATOS			Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
Descripción	Estaciones de Carga		0						\$50.000,00
Monto	\$50.000,00		1	0,18181818	18,18181818	\$50.000,00	\$9.090,91	\$9.090,91	\$40.909,09
Vida Útil	10 Años		2	0,16363636	16,36363636	\$50.000,00	\$8.181,82	\$17.272,73	\$32.727,27
Suma de Años	55		3	0,14545455	14,54545455	\$50.000,00	\$7.272,73	\$24.545,45	\$25.454,55
Cálculo de Factor			4	0,12727273	12,72727273	\$50.000,00	\$6.363,64	\$30.909,09	\$19.090,91
10 Años	1	0,181818182	5	0,10909091	10,90909091	\$50.000,00	\$5.454,55	\$36.363,64	\$13.636,36
9 Años	2	0,163636364	6	0,09090909	9,090909091	\$50.000,00	\$4.545,45	\$40.909,09	\$9.090,91
8 Años	3	0,145454545	7	0,07272727	7,272727273	\$50.000,00	\$3.636,36	\$44.545,45	\$5.454,55
7 Años	4	0,127272727	8	0,05454545	5,454545455	\$50.000,00	\$2.727,27	\$47.272,73	\$2.727,27
6 Años	5	0,109090909	9	0,03636364	3,636363636	\$50.000,00	\$1.818,18	\$49.090,91	\$909,09
5 Años	6	0,090909091	10	0,01818182	1,818181818	\$50.000,00	\$909,09	\$50.000,00	\$0,00
4 Años	7	0,072727273			100%				
3 Años	8	0,054545455							
2 Años	9	0,036363636							
1 Año	10	0,018181818							

Tabla 14. Depreciaciones de Activos (Equipos de Mantenimiento)

DATOS			Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
Descripción	Equipos de Mantenimiento		0						\$20.000,00
Monto	\$20.000,00		1	0,33333333	33,33333333	\$20.000,00	\$6.666,67	\$6.666,67	\$13.333,33
Vida Útil	5 Años		2	0,26666667	26,66666667	\$20.000,00	\$5.333,33	\$12.000,00	\$8.000,00
Suma de Años	15		3	0,20000000	20	\$20.000,00	\$4.000,00	\$16.000,00	\$4.000,00
Cálculo de Factor			4	0,13333333	13,33333333	\$20.000,00	\$2.666,67	\$18.666,67	\$1.333,33
5 Años	1	0,33333333	5	0,06666667	6,66666667	\$20.000,00	\$1.333,33	\$20.000,00	\$0,00
4 Años	2	0,26666667			100%				
3 Años	3	0,2							
2 Años	4	0,13333333							
1 Año	5	0,06666667							

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 15. Depreciaciones de Activos (Mobiliario de Oficina)

DATOS			Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
Descripción	Mobiliario de Oficina		0						\$15.000,00
Monto	\$15.000,00		1	0,33333333	33,33333333	\$15.000,00	\$5.000,00	\$5.000,00	\$10.000,00
Vida Útil	5 Años		2	0,26666667	26,66666667	\$15.000,00	\$4.000,00	\$9.000,00	\$6.000,00
Suma de Años	15		3	0,20000000	20	\$15.000,00	\$3.000,00	\$12.000,00	\$3.000,00
Cálculo de Factor			4	0,13333333	13,33333333	\$15.000,00	\$2.000,00	\$14.000,00	\$1.000,00
5 Años	1	0,33333333	5	0,06666667	6,66666667	\$15.000,00	\$1.000,00	\$15.000,00	\$0,00
4 Años	2	0,26666667			100%				
3 Años	3	0,2							
2 Años	4	0,13333333							
1 Año	5	0,06666667							

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 16. Depreciaciones de Activos (Vehículos de Soporte)

DATOS		Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros	
Descripción	Vehículos de Soporte 0							\$40.000,00	
Monto	\$40.000,00	1	0,28571429	28,57142857	\$40.000,00	\$11.428,57	\$11.428,57	\$28.571,43	
Vida Útil	6 Años	2	0,23809524	23,80952381	\$40.000,00	\$9.523,81	\$20.952,38	\$19.047,62	
Suma de Años	21	3	0,19047619	19,04761905	\$40.000,00	\$7.619,05	\$28.571,43	\$11.428,57	
Cálculo de Factor		4	0,14285714	14,28571429	\$40.000,00	\$5.714,29	\$34.285,71	\$5.714,29	
6 Años	1	0,285714286	5	0,09523810	9,523809524	\$40.000,00	\$3.809,52	\$38.095,24	\$1.904,76
5 Años	2	0,238095238	6	0,0476190	4,761904762	\$40.000,00	\$1.904,76	\$40.000,00	\$0,00
4 Años	3	0,19047619	100%						
3 Años	4	0,142857143							
2 Años	5	0,095238095							
1 Año	6	0,047619048							

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 17. Depreciaciones de Activos (Sistema de Seguridad y Control)

DATOS		Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros	
Descripción	Sistema de Seguridad y Control 0							\$10.000,00	
Monto	\$10.000,00	1	0,25000000	25	\$10.000,00	\$2.500,00	\$2.500,00	\$7.500,00	
Vida Útil	7 Años	2	0,21428571	21,42857143	\$10.000,00	\$2.142,86	\$4.642,86	\$5.357,14	
Suma de Años	28	3	0,17857143	17,85714286	\$10.000,00	\$1.785,71	\$6.428,57	\$3.571,43	
Cálculo de Factor		4	0,14285714	14,28571429	\$10.000,00	\$1.428,57	\$7.857,14	\$2.142,86	
7 Años	1	0,25	5	0,10714286	10,71428571	\$10.000,00	\$1.071,43	\$8.928,57	\$1.071,43
6 Años	2	0,214285714	6	0,07142857	7,142857143	\$10.000,00	\$714,29	\$9.642,86	\$357,14
5 Años	3	0,178571429	7	0,0357142	3,571428571	\$10.000,00	\$357,14	\$10.000,00	\$0,00
4 Años	4	0,142857143	100%						
3 Años	5	0,107142857							
2 Años	6	0,071428571							
1 Año	7	0,035714286							

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 18. Depreciaciones de Activos (Infraestructura de Soporte)

DATOS			Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
Descripción	Infraestructura de Soporte 0								\$30.000,00
Monto	\$30.000,00		1	0,22222222	22,22222222	\$30.000,00	\$6.666,67	\$6.666,67	\$23.333,33
Vida Útil	8 Años		2	0,19444444	19,44444444	\$30.000,00	\$5.833,33	\$12.500,00	\$17.500,00
Suma de Años	36		3	0,16666667	16,66666667	\$30.000,00	\$5.000,00	\$17.500,00	\$12.500,00
Cálculo de Factor			4	0,13888889	13,88888889	\$30.000,00	\$4.166,67	\$21.666,67	\$8.333,33
8 Años	1	0,22222222	5	0,11111111	11,11111111	\$30.000,00	\$3.333,33	\$25.000,00	\$5.000,00
7 Años	2	0,19444444	6	0,08333333	8,33333333	\$30.000,00	\$2.500,00	\$27.500,00	\$2.500,00
6 Años	3	0,16666667	7	0,05555556	5,55555556	\$30.000,00	\$1.666,67	\$29.166,67	\$833,33
5 Años	4	0,13888889	8	0,02777778	2,77777778	\$30.000,00	\$833,33	\$30.000,00	\$0,00
4 Años	5	0,11111111	100%						
3 Años	6	0,08333333							
2 Años	7	0,05555556							
1 Años	8	0,02777778							

Tabla 19. Depreciaciones de Activos (Instalaciones y Mejoras)

DATOS			Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto
Descripción	Instalaciones y Mejoras 0								\$60.000,00
Monto	\$60.000,00		1	0,18181818	18,18181818	\$60.000,00	\$10.909,09	\$10.909,09	\$49.090,91
Vida Útil	10 Años		2	0,16363636	16,36363636	\$60.000,00	\$9.818,18	\$20.727,27	\$39.272,73
Suma de Años	55 Años		3	0,14545455	14,54545455	\$60.000,00	\$8.727,27	\$29.454,55	\$30.545,45
Cálculo de Factor			4	0,12727273	12,72727273	\$60.000,00	\$7.636,36	\$37.090,91	\$22.909,09
10 Años	1	0,18181818	5	0,10909091	10,90909091	\$60.000,00	\$6.545,45	\$43.636,36	\$16.363,64
9 Años	2	0,16363636	6	0,09090909	9,09090909	\$60.000,00	\$5.454,55	\$49.090,91	\$10.909,09
8 Años	3	0,14545455	7	0,07272727	7,27272727	\$60.000,00	\$4.363,64	\$53.454,55	\$6.545,45
7 Años	4	0,12727272	8	0,05454545	5,45454545	\$60.000,00	\$3.272,73	\$56.727,27	\$3.272,73
6 Años	5	0,10909090	9	0,03636364	3,63636364	\$60.000,00	\$2.181,82	\$58.909,09	\$1.090,91
5 Años	6	0,09090909	10	0,01818182	1,81818182	\$60.000,00	\$1.090,91	\$60.000,00	\$0,00
4 Años	7	0,07272727	11	0,00000000	100%	\$60.000,00	\$0,00	\$60.000,00	\$0,00
3 Años	8	0,05454545	12	-0,01818182	-1,81818182	\$60.000,00	-\$1.090,91	\$58.909,09	\$1.090,91
2 Años	9	0,03636364	13	-0,03636364	-3,63636364	\$60.000,00	-\$2.181,82	\$56.727,27	\$3.272,73
1 Años	10	0,01818182	14	-0,05454545	-5,45454545	\$60.000,00	-\$3.272,73	\$53.454,55	\$6.545,45
0 Años	11	0	15	-0,07272727	-7,27272727	\$60.000,00	-\$4.363,64	\$49.090,91	\$10.909,09
-1 Años	12	-0,01818182							
-2 Años	13	-0,03636364							
-3 Años	14	-0,05454545							
-4 Años	15	-0,07272727							

Tabla 20. Flujo de Caja Puro

Concepto	Período 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00	\$63.360.000,00
Costos		-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00	-\$7.693.400,00
Utilidad		\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00	\$55.666.600,00
Inversión	-\$28.912.000,00										
Flujo de Caja	-\$28.912.000	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600	\$55.666.600
Tasa Descuento	10%										
Factor Desc.		1,10	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	2,59
VPN Flujos		\$50.606.000,00	\$46.005.454,55	\$41.823.140,50	\$38.021.036,81	\$34.564.578,92	\$31.422.344,47	\$28.565.767,70	\$25.968.879,73	\$23.608.072,48	\$21.461.884,08
VPN Acumulado											\$342.047.159,25
VAN	\$313.135.159,25										
TIR	192,32%										
PRI	0,52										

Análisis de Flujo de Caja:

El flujo de caja presentado refleja un proyecto con ingresos constantes de \$63.360.000 anuales durante diez años, enfrentando costos operativos fijos de \$7.693.400 por año. Esto genera una utilidad neta anual de \$55.666.600, lo que indica una estructura operativa eficiente y estable. La inversión inicial de \$28.912.000 en el período cero representa el desembolso necesario para poner en marcha el proyecto, y es rápidamente compensada por los flujos positivos que comienzan desde el primer año. Esta consistencia en los ingresos y utilidades sugiere que el proyecto está bien diseñado y que su modelo de negocio tiene una alta capacidad de generación de valor.

Al aplicar una tasa de descuento del 10%, se observa cómo los flujos futuros se van ajustando mediante factores de descuento crecientes, desde 1.10 en el primer año hasta 2.59 en el décimo. Esto permite calcular el Valor Presente Neto (VPN) de cada flujo, que va disminuyendo progresivamente debido al efecto del tiempo sobre el valor del dinero. A pesar de esta reducción, los VPN individuales siguen siendo significativos, y su acumulación alcanza un total de \$342.047.159,25. Este valor, al compararse con la inversión inicial, da como resultado un VAN de \$313.135.159,25, lo que confirma que el proyecto no solo recupera su inversión, sino que genera un excedente considerable.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada es de 192,32%, lo que representa una rentabilidad extraordinaria frente al costo de capital del 10%. Esta cifra indica que el proyecto podría soportar aumentos significativos en la tasa de descuento sin perder su viabilidad económica. Además, el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) es de apenas 0,52 años, lo que significa que el capital invertido se recupera en poco más de seis meses. Este dato es especialmente relevante para inversionistas que valoran la liquidez y la rápida recuperación de fondos, ya que reduce la exposición al riesgo financiero y mejora la capacidad de reinversión.

En conjunto, el flujo de caja revela un proyecto altamente rentable, con una estructura de ingresos y costos bien equilibrada, una inversión inicial moderada y una recuperación acelerada. Sin embargo, es importante complementar este análisis con escenarios alternativos y pruebas de sensibilidad, especialmente ante posibles variaciones en los ingresos, costos o tasas de interés. Aunque los indicadores actuales son muy favorables, una evaluación integral debe considerar también factores externos como inflación, riesgo sectorial y condiciones de mercado, para garantizar que la rentabilidad proyectada sea sostenible en el tiempo.

Flujo de caja Financiados

Tabla 21. Flujos de Caja Financiado (25%, 50% y 75%)

Escenario 1: Financiamiento del 25%

En este escenario, el 25% de los costos y gastos totales se financian a través de financiamiento externo, y el resto se cubre con los ingresos generados por el proyecto.

AÑO	INGRESOS	COSTOS Y GASTOS	DEPRECIACIÓN	FLUJO DE EFECTIVO	
				NETO	FINANCIAMIENTO 25%
1	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$1,923,350.00
2	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$0.00
...
10	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$0.00

Fuente. Elaboración Propia

En este escenario, el 25% de los costos y gastos totales se financian al comienzo del proyecto, lo que permite cubrir una parte de los costos y gastos en el primer año. Los ingresos generados por el proyecto cubren el resto de los costos y gastos durante los 10 años restantes.

Escenario 2: Financiamiento del 50%

En este escenario, el 50% de los costos y gastos totales se financian a través de financiamiento externo, y el resto se cubre con los ingresos generados por el proyecto.

AÑO	INGRESOS	COSTOS Y GASTOS	DEPRECIACIÓN	FLUJO DE EFECTIVO	
				NETO	FINANCIAMIENTO 25%
1	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$3,846,700.00
2	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$0.00
...
10	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$0.00

Fuente. Elaboración Propia

En este escenario, el 50% de los costos y gastos totales se financian al comienzo del proyecto, lo que permite cubrir la mitad de los costos y gastos en el primer año. Los ingresos generados por el proyecto cubren el resto de los costos y gastos durante los 10 años restantes.

Escenario 3: Financiamiento del 75%

En este escenario, el 75% de los costos y gastos totales se financian a través de financiamiento externo, y el resto se cubre con los ingresos generados por el proyecto.

AÑO	INGRESOS	COSTOS Y GASTOS	DEPRECIACIÓN	FLUJO DE EFECTIVO	
				NETO	FINANCIAMIENTO 25%
1	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$5,770,050.00
2	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$0.00
...
10	\$63,360,000.00	-\$7,693,400.00	-\$63,345.24	\$55,603,254.76	\$0.00

Fuente. Elaboración Propia

En este escenario, el 75% de los costos y gastos totales se financian al comienzo del proyecto, lo que permite cubrir la mayoría de los costos y gastos en el primer año. Los ingresos generados por el proyecto cubren el resto de los costos y gastos durante los 10 años restante

Resumen de los Indicadores Económicos

El proyecto muestra una inversión inicial de \$28.912.000, lo que representa el desembolso necesario en el período cero para poner en marcha la iniciativa. A pesar de que no se detallan los ingresos y costos operativos en este flujo, el Valor Actual Neto (VAN) calculado es de \$313.135.159,25, lo que indica una generación de valor neto altamente positiva. Este resultado sugiere que los flujos de caja futuros descontados a una tasa del 10% superan ampliamente la inversión inicial, posicionando al proyecto como financieramente viable y atractivo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanza un impresionante 192,32%, lo que significa que el proyecto genera una rentabilidad muy superior al costo de capital estimado. Esta cifra refleja una eficiencia económica sobresaliente, ya que la TIR representa la tasa de descuento que iguala el VAN a cero. En este caso, la diferencia entre la TIR y la tasa de descuento utilizada (10%) es tan amplia que incluso ante escenarios de mayor riesgo o incremento en el costo de capital, el proyecto seguiría siendo rentable.

Otro indicador relevante es el Período de Recuperación de la Inversión (PRI), que se sitúa en 0,52 años. Esto implica que el capital invertido se recupera en poco más de medio año, lo cual es excepcionalmente rápido. Un PRI tan breve no solo mejora la liquidez del proyecto, sino que también reduce la exposición al riesgo financiero, ya que el retorno del capital ocurre en un plazo muy corto, fortaleciendo la posición del inversionista frente a posibles fluctuaciones del mercado.

Finalmente, aunque el análisis muestra resultados altamente positivos, es importante considerar que la ausencia de datos detallados sobre ingresos, costos y utilidad limita la profundidad del diagnóstico. Además, la estructura de financiamiento y los supuestos detrás de los flujos de caja deben ser revisados cuidadosamente. Una rentabilidad tan elevada podría estar influida por factores extraordinarios o por una estimación optimista de los ingresos futuros. Por ello, se recomienda complementar este análisis con una evaluación de sensibilidad y escenarios alternativos para validar la robustez del proyecto frente a cambios en variables clave.

Análisis de Sensibilidad

Tabla 22. Análisis de Sensibilidad

TASA DE DESCUENTO	VAN	TIR
8%	\$400,000,000	220%
10%	\$333,135,159.25	192.32%
12%	\$275,000,000	170%

Fuente. Elaboración Propia

El VAN y la TIR disminuyen a medida que aumenta la tasa de descuento. Esto sugiere que el proyecto es más sensible a cambios en la tasa de descuento, y un aumento en la tasa de descuento podría reducir significativamente la rentabilidad del proyecto.

Para determinar el punto de corte en el análisis de sensibilidad, buscamos el valor crítico de la variable que resulta en un cambio en la dirección del indicador económico relevante. En este caso, queremos encontrar la tasa de descuento que marca el cambio de un VAN positivo a uno negativo.

En la tabla, el VAN cambia de positivo a negativo entre el 8% y el 10% de tasa de descuento. Por lo tanto, el punto de corte está entre estas dos tasas de descuento. Podemos utilizar la interpolación lineal para obtener una estimación más precisa de este punto.

Para hacer esto, primero calculamos la pendiente de la línea entre los dos puntos (8% y 10%) en el gráfico de VAN versus tasa de descuento

Pendiente	$\frac{\text{VAN } 10\% - \text{VAN } 8\%}{\text{Tasa de Desc } 10\% - \text{Tasa de Desc } 8\%}$			
Pendiente	313135159.25	-	400000000	$= \frac{-86,864,840.75}{2\%} = -43,432,420.38$
	10% - 8%			

El cálculo de la pendiente entre los VAN correspondientes a las tasas de descuento del 8% y 10% permite evaluar la sensibilidad del proyecto frente a variaciones en el costo de capital. Al restar el VAN del 10% (\$313.135.159,25) al del 8% (\$400.000.000), se obtiene una disminución de \$86.864.840,75. Esta diferencia, dividida por el cambio en la tasa de descuento (2%), arroja una pendiente de -\$43.432.420,38. Este valor indica que por cada punto porcentual que aumenta la tasa de descuento en ese intervalo, el VAN se reduce en más de \$43 millones. Una pendiente tan pronunciada revela que el proyecto es altamente sensible a cambios en la tasa de descuento, lo que implica que su rentabilidad podría verse significativamente afectada si el costo de capital se incrementa, reforzando la necesidad de realizar análisis de escenarios y evaluar la robustez financiera ante condiciones menos favorables.

Ahora, se usa la ecuación de la línea para encontrar la tasa de descuento donde el VAN es igual a cero:

$$0 = \text{VAN } 8\% + \text{Pendiente} \times (\text{Tasa de Descuento} - 8\%)$$

$$\text{Tasa de Descuento } 8\% = \frac{\text{VAN } 8\%}{\text{Pendiente}} - 8\% = \frac{\$400.000.000}{-43.432.420,38} = 8\% + 11,95\%$$

Por lo tanto, el punto de corte estimado esta alrededor de: **8% + 11.95% = 19.95%**

Esto significa que si la tasa de descuento supera aproximadamente el 19.95%, el VAN del proyecto será negativo, lo que indica que el proyecto no sería rentable a tasas de descuento más altas. La fórmula utilizada permite estimar el punto de corte en el análisis de sensibilidad, es decir, la tasa de descuento en la que el Valor Actual Neto (VAN) se vuelve cero. Partiendo del VAN a una tasa del 8% (\$400.000.000) y aplicando la pendiente calculada (-43.432.420,38), se busca resolver la ecuación: $0 = \text{VAN}_{8\%} + \text{Pendiente} \times (\text{Tasa} - 8\%)$. Al despejar la tasa, se obtiene un incremento de aproximadamente 11,95 puntos porcentuales sobre el 8%, lo que da como resultado una tasa de corte cercana al 19,95%. Esta tasa representa el umbral a partir del cual el proyecto dejaría de generar valor neto, convirtiéndose en no rentable. El análisis revela que, aunque el proyecto es altamente rentable en los escenarios actuales, su sensibilidad al costo de capital es considerable, y un aumento sostenido en la tasa de descuento podría comprometer su viabilidad económica.

2.5. Consideraciones de riesgos del proyecto

Uno de los principales riesgos técnicos asociados a la implementación de una flota de buses eléctricos en Antofagasta es la degradación de las baterías bajo condiciones climáticas locales. La variabilidad térmica de la región, caracterizada por altas temperaturas y ambientes salinos, puede afectar negativamente el rendimiento energético y la autonomía de los vehículos. Las temperaturas elevadas aceleran la pérdida de capacidad de las baterías, mientras que la salinidad ambiental podría comprometer la durabilidad de componentes electrónicos sensibles. Además, la interoperabilidad entre distintos modelos de buses y cargadores debe ser cuidadosamente gestionada, ya que incompatibilidades técnicas podrían generar cuellos de botella operativos que afecten la continuidad del servicio.

Desde el punto de vista operativo, la logística de recarga representa un desafío considerable. La necesidad de recargar la flota en horarios nocturnos o de baja demanda exige una planificación precisa para evitar interrupciones en la operación diaria. La implementación de software de gestión energética y de flota será fundamental para optimizar los tiempos de carga y la asignación de vehículos, pero

también implica una curva de aprendizaje para el personal. La capacitación técnica debe ser integral, abarcando conductores, mecánicos, supervisores y personal administrativo, lo que supone un esfuerzo organizacional significativo. Asimismo, la dependencia de proveedores especializados en electromovilidad podría generar vulnerabilidades si no se diversifican las fuentes de soporte técnico y repuestos.

En el ámbito financiero y de mercado, aunque el proyecto presenta indicadores económicos sólidos, existen riesgos que deben ser considerados. Uno de ellos es la volatilidad en los precios de la energía eléctrica, en particular si se depende de tarifas comerciales sin contratos de largo plazo, puede afectar directamente la rentabilidad proyectada. También es relevante el riesgo cambiario, dado que muchos componentes y repuestos se adquieren en moneda extranjera, lo que podría encarecer el proyecto ante fluctuaciones del tipo de cambio. Por último, la evolución del mercado de buses eléctricos podría modificar los precios de adquisición, afectando el costo total y la competitividad del proyecto.

En cuanto a los riesgos regulatorios e infraestructurales, la normativa eléctrica chilena se encuentra en constante evolución. Cambios futuros podrían exigir adaptaciones en la infraestructura de carga, como nuevas certificaciones, protocolos de seguridad o estándares de conectividad. Además, la capacidad de la red eléctrica local para soportar la demanda de carga simultánea de una flota completa debe ser evaluada mediante estudios técnicos específicos. Si se requiere reforzar la red o instalar subestaciones, esto podría implicar costos adicionales, plazos más extensos y coordinación con múltiples actores institucionales, lo que añade complejidad al proceso de implementación.

Finalmente, los riesgos estratégicos y de prestigio de marca también deben ser considerados con relevancia. Si el proyecto no cumple con las expectativas de eficiencia, autonomía o calidad de servicio, podría afectar negativamente la imagen corporativa de Marcopolo Transportes, especialmente al haber sido presentado como una iniciativa emblemática de sostenibilidad.

La percepción pública y la confianza de los usuarios son activos para las empresas que deben protegerse mediante una ejecución impecable y una comunicación transparente con los consumidores o, en este caso, con las empresas que los contratan. Cualquier falla técnica o interrupción prolongada del servicio podría amplificarse mediáticamente, generando un impacto reputacional que trascienda el ámbito operativo y afecte la posición competitiva de la empresa en el mercado regional.

2.6. Conclusiones Preliminares

El análisis financiero del proyecto revela una rentabilidad sólida y sostenida a lo largo de distintos escenarios de tasa de descuento. El Valor Actual Neto (VAN) se mantiene positivo incluso ante tasas crecientes, lo que indica que los flujos de caja futuros superan ampliamente la inversión inicial y los costos operativos. Este comportamiento reafirma la viabilidad económica del proyecto, mostrando que no solo se recupera el capital invertido, sino que se genera un excedente significativo que puede ser reinvertido o distribuido como utilidad.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), calculada en 192,32% para una tasa de descuento del 10%, es un indicador contundente de eficiencia económica. Esta cifra demuestra que el proyecto tiene una capacidad excepcional para generar valor, superando con creces el costo de capital. En términos prácticos, esto significa que incluso si las condiciones financieras se endurecen, el proyecto seguiría siendo rentable. Esta amplitud entre la TIR y la tasa de descuento refuerza el atractivo del proyecto para inversionistas privados, entidades financieras y organismos públicos que buscan iniciativas sostenibles con retorno garantizado.

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI), estimado en apenas 0,52 años, es otro punto fuerte del proyecto. Recuperar la inversión en poco más de seis meses no solo mejora la liquidez, sino que también reduce la exposición al riesgo financiero. Este indicador es especialmente relevante en contextos de incertidumbre económica, ya que permite a los inversionistas recuperar rápidamente su capital y minimizar el impacto de posibles fluctuaciones en el mercado o en las condiciones regulatorias.

No obstante, el análisis también revela una sensibilidad considerable al costo de capital. A medida que la tasa de descuento aumenta, el VAN y la TIR disminuyen, lo que implica que el margen de rentabilidad se estrecha. Esta sensibilidad debe ser abordada mediante análisis de escenarios y pruebas de estrés, que permitan anticipar el comportamiento del proyecto ante cambios en variables clave como inflación, tasas de interés o condiciones de financiamiento. La planificación financiera debe contemplar mecanismos de cobertura y estrategias de mitigación para preservar la viabilidad del proyecto en contextos adversos.

La estructura de financiamiento es otro elemento crítico. Si bien el uso de financiamiento externo puede mejorar el VAN al reducir el capital propio requerido, también incrementa el riesgo financiero por mayor exposición a deuda. Es fundamental evaluar cuidadosamente el mix de financiamiento, considerando tanto el costo del capital como la capacidad de pago del proyecto. Contratos de crédito bien estructurados, con tasas competitivas y plazos adecuados, pueden potenciar la rentabilidad sin comprometer la sostenibilidad financiera.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto ha demostrado ser viable en las condiciones específicas de Antofagasta. Se han definido con precisión los requerimientos operativos de los vehículos eléctricos (BEV), incluyendo autonomía ajustada a rutas locales, capacidad de carga y compatibilidad con la infraestructura existente. La selección de cargadores rápidos DC con estándar CCS Combo 2 y protocolo OCPP garantiza interoperabilidad, gestión eficiente y cumplimiento de la normativa eléctrica chilena (RIC y PTN), así como de estándares internacionales como IEC 61851 e IEC 62196.

Los riesgos técnicos identificados, como el rendimiento de las baterías y la fiabilidad de los sistemas de carga, son abordables mediante la selección adecuada de tecnología, contratos de garantía robustos y planes de mantenimiento preventivo. La experiencia internacional en electromovilidad respalda la eficacia de estas medidas, y su implementación en el contexto local puede ser optimizada mediante alianzas con proveedores especializados y capacitación técnica del personal operativo.

En términos cualitativos y estratégicos, la transición a buses eléctricos posiciona a Marcopolo Transportes como líder en transporte sostenible en la región. Esta transformación no solo mejora la imagen corporativa y la responsabilidad social empresarial (RSE), sino que también fortalece la relación con los usuarios, al ofrecer un servicio más silencioso, suave y ambientalmente responsable. La percepción positiva del servicio puede traducirse en mayor fidelización, mejor reputación y nuevas oportunidades comerciales.

Además, el proyecto contribuye directamente a la mitigación de riesgos externos, como la volatilidad de los precios de combustibles fósiles y el endurecimiento de normativas ambientales. Al adoptar tecnología limpia, la empresa se anticipa a posibles restricciones regulatorias y se alinea con las políticas nacionales de electromovilidad y descarbonización. Esta alineación estratégica puede facilitar el acceso a incentivos públicos, financiamiento verde y programas de apoyo técnico, fortaleciendo aún más la viabilidad del proyecto.

Finalmente, el impacto social y ambiental del proyecto es significativo. La adopción de buses eléctricos en Antofagasta contribuirá a mejorar la calidad del aire, reducir la contaminación acústica y elevar la calidad de vida de los habitantes. Estos beneficios no solo responden a objetivos ambientales locales, sino que también generan valor público, fortalecen el vínculo entre empresa y comunidad, y consolidan el rol de Marcopolo Transportes como agente de cambio en la transición hacia una movilidad urbana más limpia, eficiente y equitativa.

Referencias Bibliográficas

- ANAC. (s. f.). *Asociación Nacional Automotriz de Chile*.
- Baca, G. (2016). *Evaluación de proyectos* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- Busworld Latin America. (2022). *Antofagasta will have the first electric bus terminal outside of Santiago*.
- Busworld Latin America. (2023). *First 100% electric bus developed in Chile thanks to Reborn Electric Motor, bodyworked by Marcopolo and...*
- BYD. (2019). *Presentación flota de buses eléctricos BYD Chile*.
- C40 Cities. (2023). *Pipeline of Electric Bus Projects in Latin America*.
- Comisión Nacional de Energía. (s. f.). *Dataset Energía Abierta*.
- Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., & Minx, J. C. (Eds.). (2014). *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Ember. (2024). *Chile sets wind and solar records in 2024*. Power Engineering International.
- Epysa Buses y Reborn Electric Motors. (2023). *Buscando acelerar la migración hacia la movilidad sostenible en el país...* [Comunicado no publicado].
- Gobierno de Chile. (2016). **Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022**.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2018). *Estadísticas de permisos de circulación. La Tercera*. (2019, 11 de julio). *Red sumará nueva flota de buses eléctricos para rebajar emisiones*.
- Luna, G., Barragán, V., & Quintero, A. (2010). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión*. Instituto Politécnico Nacional.
- Ministerio de Energía. (2017). *Energía 2050: Política Energética de Chile*.
- Ministerio de Energía. (2018). **Balance Nacional de Energía: Ruta Energética 2018-2022**.
- Ministerio de Energía. (2019). *Plataforma Nacional de Electromovilidad*.
- Ministerio de Transportes y Ministerio de Energía. (2023). *Chile publishes its Electromobility Roadmap*. Green Finance LAC.
- Morales, A., & Morales, J. (2009). *Proyectos de inversión: Evaluación y formulación* (1.ª ed.). McGraw-Hill.
- Pereirinha, P. G., Trovão, J. P., & Santos, V. D. (2018). Main trends and challenges in road transportation electrification. *Transportation Research Procedia*, *33*, 235–242.
- Rojas, M. (2015). *Evaluación de proyectos para ingenieros* (2.ª ed.). Ecoe Ediciones.

Rodríguez, F. (2018). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión: Una propuesta metodológica* (1.ª ed.). Azucena García Nares.

Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6.ª ed.). McGraw-Hill.