



**Ingeniería
Civil Industrial**
FACULTAD DE INGENIERÍA

Universidad Finis Terrae
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil Industrial

ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA- ECONÓMICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ÚLTIMA MILLA DE SANTIAGO DE CHILE

FERNANDO ANDRÉS PINO MATURANA

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Finis Terrae, para
optar al Título de Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía: Alfredo Candia

Santiago, Chile

2025



AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar este espacio para poder agradecer a todas las personas involucradas en este proceso de aprendizaje, es algo complicado ya que en estos 5 casi 6 años de extensión se han vivido muchos altos y bajos, y quizás sin el apoyo de estas personas todo se hubiese hecho complicado o más difícil de sobrellevar.

Primero que todo quiero agradecer a mi familia, padre, madre y hermanas; cada uno fue fundamental en mi proceso vivido, cada uno de estos aportó a que pudiese dar lo mejor de mí durante este tiempo, y cada uno de ellos me apoyó cuando lo necesité a lo largo de este proceso.

Quiero hacer un honor especial a mi madre, ya que sin duda ella ha sido el motor de todo esto, definitivamente no podría haber hecho tanto sin ella presente, y estoy profundamente agradecido de todo el apoyo, cariño y comprensión que me dio todo este tiempo, si bien todo esto lo hago por mí, hay un porcentaje que también lo hago por ella.

Por otra parte no puedo dejar afuera a mis amigos, los cuales estuvieron ahí para poder sobrellevar lo que conlleva la carrera, fueron los que me ayudaron a despejarme cuando necesité, y han estado conmigo a lo largo de toda la carrera apoyándome, esperando que por fin llegue el día en que me convierta en Ingeniero.

Finalmente y no menos importante, agradecer a los profesores que tuve durante la carrera, quizás con ninguno tuve una relación de amistad o algo parecido, pero si hubieron muchos profesores que me ayudaron a forjar mi personalidad, que me hicieron entender y conocer muchas cosas relacionadas al mundo de la ingeniería, y que aportaron a que pueda terminar esta carrera.



ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO 1	10
1. Introducción	10
1.1 Situación actual	10
1.2 Situación actual a nivel internacional	12
1.3 Situación actual Chile	14
1.4 Planteamiento del problema	16
1.5 Solución propuesta	17
1.6 Objetivos	19
1.7 Alcances y limitaciones	20
CAPÍTULO 2	22
2. Estado del arte	22
CAPÍTULO 3	27
3. Marco teórico	27
3.1 Vehículo eléctrico	27
3.2 Vehículo eléctrico híbrido enchufable	27
3.3 Vehículo eléctrico híbrido no enchufable	27
3.4 Última milla	27
3.5 Vehículos/Motor de combustión interna	28
3.6 Costos operativos	28
3.7 Valor presente neto	28
3.8 Movilidad sostenible	28
3.9 Economía Circular	28
3.10 Tecnología de la Información y la Comunicación	28



3.11 Internet de las Cosas	29
3.12 Análisis de Big Data	29
3.13 Políticas Públicas y Regulaciones	29
3.14 Sistemas de Gestión de Energía	29
3.15 Infraestructura de Recarga	29
3.16 Planificación Urbana y Logística	29
CAPÍTULO 4	30
4. Metodología	30
4.1 Revisión Bibliográfica	30
4.2 Recopilación de Datos	30
4.3 Análisis Económico	30
4.4 Modelado y Simulación	30
4.5 Validación y Análisis de Resultados	30
4.6 Elaboración de Conclusiones y Recomendaciones	31
CAPÍTULO 5	32
5. Desarrollo	32
5.1 Análisis de los costos operativos asociados con los vehículos de motor de combustión interna (ICEVs) en las entregas de última milla en Santiago de Chile.	32
5.1.1 Análisis de Costos Operativos	32
5.2 Comparación de la eficiencia operativa y los costos asociados entre los vehículos eléctricos y los vehículos de motor de combustión interna en las entregas de última milla en Santiago de Chile	33
5.2.1 Análisis de Costos Operativos	34
5.2.2 Comparación de Costos	35
5.2.3 Fuentes de Valores Utilizados	35
5.2.4 Análisis tablas de costos	36
5.2.5 Comparación Detallada entre Maxus eDeliver 3 y Ford Transit Custom	37



5.2.6	Comparación Detallada entre Renault Kangoo E-Tech y Renault Kangoo Diésel	38
5.2.7	Análisis comparativo	39
5.2.7.1	Análisis Comparativo: Maxus eDeliver 3 y Ford Transit Custom	39
5.2.7.2	Análisis Comparativo: Renault Kangoo E-Tech vs. Renault Kangoo Diésel	40
5.3	Identificación de las limitaciones de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Santiago de Chile y su impacto en la viabilidad de la transición hacia vehículos eléctricos en el servicio de delivery de última milla.	42
5.3.1	Análisis de la Infraestructura de Carga.	42
5.3.2	Distribución de la Potencia de Carga y Tipo de Corriente.	43
5.3.3	Cobertura Geográfica y Desafíos Logísticos	45
5.3.4	Impacto en la Viabilidad de la Transición a Vehículos Eléctricos	46
5.3.5	Estrategias y Recomendaciones para Mejorar la Infraestructura	47
5.4	Análisis del impacto económico de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile.	50
5.4.1	Contexto y Tendencias de la Electromovilidad en Última Milla	50
5.4.2	Comparación de Costos Iniciales y Operacionales.	51
5.4.3	Análisis de Flujo de Caja y Punto de Equilibrio	53
5.4.3.1	Flujo de Caja para Vehículos de Combustión Interna	53
5.4.3.2	Flujo de Caja para Vehículos Eléctricos	54
5.4.3.3	Impacto del Punto de Equilibrio en la Rentabilidad a Largo Plazo	54
5.4.4	Factores que Influyen en la Rentabilidad.	56
5.4.4.1	Factores Económicos y Políticos	56
5.4.4.2	Variabilidad de Costos Energéticos	56
5.4.4.3	Infraestructura de Carga y su Efecto en Costos Operativos	58
5.4.4.4	Avances Tecnológicos y su Influencia en Costos Futuros	59
5.5	Propuesta de recomendaciones para mejorar	60



la eficiencia y sostenibilidad del servicio de delivery de última milla en Santiago de Chile, con énfasis en la transición hacia una flota de vehículos eléctricos y la superación de los desafíos identificados

5.5.1	Introducción a la necesidad de mejorar la eficiencia y sostenibilidad.	60
5.5.2	Estrategias para optimizar la transición hacia flotas eléctricas.	61
5.5.2.1	Planificación financiera y modelos de inversión	61
5.5.2.2	Gestión eficiente de la infraestructura de carga	62
5.5.2.3	Incentivos y políticas empresariales	62
5.5.3	Recomendaciones para mejorar la operatividad y reducir costos.	63
5.5.3.1	Uso de herramientas tecnológicas para la gestión de rutas	63
5.5.3.2	Estrategias de carga inteligente	63
5.5.3.3	Capacitación del personal en conducción eficiente y mantenimiento	64
5.5.4	Medidas para superar los desafíos identificados.	64
5.5.4.1	Expansión de la infraestructura de carga en zonas clave	65
5.5.4.2	Soluciones para la logística en zonas con menor cobertura de Electrolinerías	65
5.5.4.3	Estrategias para reducir la dependencia de la red pública de carga	66

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
---------------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	69
---------------------	----



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1: Cantidad de electrolineras por Región	42
Figura 5.2: Distribución de puntos de carga AC vs DC	44
Figura 5.3: Cantidad de Electrolineras por comuna	45
Figura 5.4: Flujo de Caja para Vehículos de Combustión Interna	53
Figura 5.5: Flujo de Caja para Vehículos Eléctricos	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1: Costo combustible-mantenimiento ICEVs	36
Tabla 5.2: Costo combustible-mantenimiento VEs	36
Tabla 5.3: Comparación Detallada entre Maxus eDeliver 3 y Ford Transit Custom	37
Tabla 5.4: Comparación Detallada entre Renault Kangoo E-Tech y Renault Kangoo Diésel	38



RESUMEN

El servicio de delivery de última milla en Santiago de Chile enfrenta desafíos económicos y operativos debido al uso predominante de vehículos de combustión interna (VCI), los cuales generan altos costos en combustible y mantenimiento. En respuesta, esta investigación evaluó la viabilidad técnico-económica de la implementación de vehículos eléctricos (VE) en este sector, considerando los costos operativos, el análisis de flujo de caja y la infraestructura de carga disponible.

Para ello, se realizó un análisis comparativo entre VCI y VE, considerando costos de adquisición, operacionales y tiempos de recuperación de la inversión. Se utilizaron herramientas de modelado financiero para proyectar el flujo de caja de una flota de 50 vehículos de cada tipo, permitiendo determinar la rentabilidad y los factores clave que afectan la adopción de VE en la última milla.

Los resultados indicaron que, aunque los VE presentan costos operativos un 70-80% menores que los VCI, su inversión inicial es un 25-35% más alta. Se determinó que los VCI recuperan su inversión hacia el final del segundo año, mientras que los VE alcanzan el punto de equilibrio casi al finalizar el tercer año. Además, la infraestructura de carga en Santiago aún presenta limitaciones en cobertura y velocidad de carga, dificultando la adopción masiva de VE en el sector logístico.

Se concluyó que, si bien la transición a vehículos eléctricos es viable a mediano y largo plazo, su adopción será aún más conveniente en los próximos años cuando los costos de adquisición disminuyan y se equiparen con los de combustión interna. Para facilitar este proceso, se recomendaron estrategias como la expansión de la infraestructura de carga, incentivos fiscales y la optimización tecnológica para mejorar la eficiencia operativa de las flotas eléctricas.

Palabras clave: última milla, vehículos eléctricos, costos operativos, infraestructura de carga, viabilidad económica.



ABSTRACT

The last-mile delivery service in Santiago, Chile, faces economic and operational challenges due to the predominant use of internal combustion vehicles (ICV), which generate high fuel and maintenance costs. In response, this research evaluated the technical and economic feasibility of implementing electric vehicles (EV) in this sector, considering operational costs, cash flow analysis, and the availability of charging infrastructure.

To achieve this, a comparative analysis between ICV and EV was conducted, taking into account acquisition costs, operational expenses, and investment recovery times. Financial modeling tools were used to project the cash flow of a fleet of 50 vehicles of each type, allowing for an assessment of profitability and the key factors affecting EV adoption in last-mile logistics.

The results indicated that while EVs have 70-80% lower operating costs than ICVs, their initial investment is 25-35% higher. It was determined that ICVs recover their investment by the end of the second year, whereas EVs reach their breakeven point almost at the end of the third year. Additionally, Santiago's charging infrastructure still has limitations in coverage and charging speed, making the large-scale adoption of EVs in the logistics sector more challenging.

It was concluded that, although transitioning to electric vehicles is viable in the medium and long term, their adoption will become even more advantageous in the coming years as acquisition costs decrease and become comparable to those of internal combustion vehicles. To facilitate this process, strategies such as expanding the charging infrastructure, implementing tax incentives, and optimizing technology to enhance the operational efficiency of electric fleets were recommended.

Keywords: last-mile delivery, electric vehicles, operating costs, charging infrastructure, economic feasibility.



CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1 Situación actual

El transporte y la logística urbana han evolucionado significativamente en las últimas décadas, impulsados por el crecimiento del comercio electrónico, el aumento de la urbanización y las expectativas de los consumidores respecto a la rapidez en las entregas. Sin embargo, esta expansión ha generado problemas críticos a nivel global, especialmente en las operaciones de última milla, el segmento final de la cadena de distribución. Este es considerado el más costoso y menos eficiente debido a factores como la congestión del tráfico, la falta de planificación urbana adecuada y la dependencia excesiva de vehículos de combustión interna (VCI) (International Transport Forum, 2022).

Problemas Ambientales Globales

El uso predominante de VCI en las operaciones de última milla contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la contaminación atmosférica en áreas urbanas. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), el sector transporte es responsable del 24% de las emisiones globales de CO₂, de las cuales cerca del 75% provienen de vehículos de carretera. Este impacto ambiental no solo exacerba el cambio climático, sino que también afecta la calidad del aire, con consecuencias graves para la salud pública, como el aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (IEA, 2021).

En respuesta, muchas ciudades y países han comenzado a implementar medidas para mitigar estos efectos, como la creación de zonas de bajas emisiones, el incentivo a la electrificación del transporte y la promoción de fuentes de energía renovable. Sin embargo, la transición hacia vehículos eléctricos (VE) en la última milla enfrenta desafíos significativos, como la limitada infraestructura de carga y los altos costos iniciales de adquisición, especialmente en economías en desarrollo (BloombergNEF, 2023).



Implicaciones Económicas Globales

Desde una perspectiva económica, las operaciones de última milla representan entre el 30% y el 50% del costo total de la logística de entrega, lo que pone una presión financiera significativa sobre las empresas, especialmente en mercados con alta competencia. Los costos operativos de los VCI, impulsados por el aumento constante en los precios del combustible y los costos de mantenimiento, han llevado a un interés creciente en alternativas más sostenibles y económicas, como los VE (DHL Global Logistics Report, 2021).

Los VE, aunque inicialmente más costosos, ofrecen ventajas económicas a largo plazo. Según un estudio de McKinsey & Company, los VE tienen costos operativos un 30-50% menores que los VCI debido a menores gastos en combustible y mantenimiento. Además, la electrificación de flotas permite a las empresas acceder a incentivos fiscales, evitar multas relacionadas con regulaciones ambientales y mejorar su reputación corporativa al alinearse con las demandas de sostenibilidad de los consumidores (McKinsey, 2022).

Innovaciones Tecnológicas

El avance tecnológico ha sido un catalizador clave para la transición hacia una logística de última milla más sostenible. Tecnologías como la inteligencia artificial (IA) y la optimización de rutas han permitido a las empresas mejorar la eficiencia operativa, mientras que los avances en baterías de iones de litio han incrementado la autonomía de los VE, haciéndolos más competitivos frente a los VCI (Union of Concerned Scientists, 2020). Adicionalmente, las ciudades han comenzado a implementar soluciones innovadoras como microhubs urbanos y vehículos autónomos eléctricos, que prometen reducir aún más el impacto ambiental y los costos de las operaciones de última milla (ITU, 2021).



Regulaciones y Políticas Globales

A nivel global, la implementación de regulaciones ambientales más estrictas ha incentivado la electrificación del transporte. En Europa, políticas como las Zonas de Bajas Emisiones (LEZ) y la reciente prohibición de ventas de vehículos a gasolina y diésel para 2035 han acelerado la transición hacia VE. En Estados Unidos, el estado de California lidera con mandatos que exigen que el 100% de las ventas de vehículos nuevos sean eléctricos para 2035 (European Environment Agency, 2023; California Air Resources Board, 2022).

Estas regulaciones no solo obligan a las empresas a adaptarse, sino que también promueven colaboraciones público-privadas para expandir la infraestructura de carga y desarrollar programas de incentivos económicos. Estas medidas han demostrado ser esenciales para superar las barreras iniciales y facilitar una adopción más amplia de los VE en la última milla (FedEx Sustainability Report, 2022).

1.2 Situación actual a nivel internacional

La electrificación del transporte en la última milla de entrega ha tomado fuerza a nivel global, impulsada por las regulaciones ambientales, los altos costos del combustible y la necesidad de reducir las emisiones de carbono en áreas urbanas. Países como los Países Bajos, el Reino Unido y Estados Unidos lideran este cambio con estrategias innovadoras y políticas públicas que han acelerado la adopción de vehículos eléctricos (VE) en las operaciones logísticas.

Ámsterdam, Países Bajos

Ámsterdam es considerada un referente mundial en la adopción de VE para la última milla. Empresas como DHL han electrificado sus flotas en el centro de la ciudad, respaldadas por un sólido programa gubernamental que incluye la implementación de zonas de emisión cero y la construcción de infraestructura de carga ampliamente distribuida. Este enfoque integral ha permitido reducir significativamente las emisiones locales de contaminantes, mejorando la calidad del aire y la sostenibilidad del transporte (DHL, 2021).



Lecciones aprendidas:

- Las zonas de bajas emisiones son un catalizador clave para la adopción de VE.
- El apoyo gubernamental, combinado con incentivos fiscales y una infraestructura adecuada, es esencial para garantizar la viabilidad operativa de las flotas eléctricas.

Londres, Reino Unido

En Londres, las estrictas regulaciones ambientales, como la Zona de Emisiones Ultra Bajas (ULEZ), han incentivado a empresas como Amazon y DPD a electrificar sus operaciones logísticas. Estas medidas han ido acompañadas de inversiones municipales en estaciones de carga rápida para garantizar la continuidad operativa. Londres demuestra cómo una combinación de políticas regulatorias estrictas y mejoras en infraestructura puede promover la transición hacia vehículos más sostenibles (Amazon, 2020; DPD, 2021).

Lecciones aprendidas:

- Las regulaciones ambientales estrictas son un incentivo fuerte para la adopción de tecnologías limpias.
- La disponibilidad de infraestructura de carga rápida es crucial para garantizar la eficiencia y la competitividad.

Nueva York, Estados Unidos

En Estados Unidos, Nueva York se posiciona como un modelo de electrificación gracias a las alianzas público-privadas y los incentivos económicos que facilitan la transición hacia VE. Empresas como FedEx y UPS han iniciado la electrificación progresiva de sus flotas para cumplir con los objetivos de sostenibilidad establecidos por la ciudad. Estas colaboraciones han permitido expandir la infraestructura de carga y mitigar los costos iniciales de adopción, fomentando un modelo replicable en otras ciudades (FedEx, 2022; UPS, 2021).



Lecciones aprendidas:

- Las alianzas público-privadas son fundamentales para acelerar el crecimiento de la infraestructura de carga.
- Los incentivos económicos, como subsidios y exenciones fiscales, pueden mitigar las barreras financieras asociadas a los altos costos iniciales de los VE.

Impacto Global y Lecciones Generales

A nivel global, estos casos demuestran que la transición hacia VE en la última milla es viable y sostenible cuando existe un equilibrio entre regulaciones estrictas, incentivos económicos y acceso a tecnología avanzada. Las políticas públicas desempeñan un papel central al facilitar la transición mediante subsidios, infraestructura y normativas ambientales. Asimismo, las empresas privadas han respondido a estas iniciativas con inversiones significativas, contribuyendo al desarrollo de cadenas logísticas más eficientes y sostenibles.

1.3 Situación actual Chile

La logística de última milla en Santiago de Chile enfrenta desafíos significativos debido al crecimiento del comercio electrónico, la congestión vehicular y la contaminación ambiental. La adopción de vehículos eléctricos (VE) por parte de empresas de delivery se presenta como una solución viable para mitigar estos problemas.

Crecimiento del Comercio Electrónico y Demanda Logística

El comercio electrónico en Chile ha experimentado un crecimiento notable en los últimos años, impulsando la demanda de servicios de entrega de última milla. Este aumento ha generado una mayor circulación de vehículos de reparto en áreas urbanas, contribuyendo a la congestión vial y elevando los niveles de contaminación.



Congestión Vehicular y Contaminación Ambiental

Santiago es una de las ciudades más congestionadas de América Latina, con un alto índice de vehículos particulares y de reparto en circulación. Según datos de La Tercera, en 2021 se comercializaron 415.581 unidades de autos nuevos en el país, un 60,6% más que en 2020, lo que ha incrementado la congestión vehicular y, consecuentemente, la contaminación atmosférica. La contaminación del aire se mantiene como el principal problema ambiental para los chilenos, con un 38,4% de preocupación ciudadana, según el Ministerio del Medio Ambiente.

Adopción de Vehículos Eléctricos en Empresas de Delivery

Varias empresas en Chile han comenzado a incorporar VE en sus operaciones de última milla:

- **Mercado Libre:** En 2022, en colaboración con Enel, instaló 30 puntos de carga en su centro de distribución en Renca y planea operar una flota de 200 VE, con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ entre un 50% y un 85% para 2030.
- **Correos de Chile:** En 2023, lanzó un piloto para la adquisición de VE en Santiago, reconociendo los beneficios potenciales en la reducción de emisiones y costos operativos.
- **Chilexpress:** Anunció en 2021 la implementación de VE para entregas en áreas urbanas densamente pobladas, enfocándose en mejorar la eficiencia operativa y reducir su huella de carbono.
- **Starken:** En 2023, inició un programa piloto en colaboración con startups tecnológicas para explorar soluciones innovadoras en movilidad eléctrica.



Desafíos en la Adopción de Vehículos Eléctricos

A pesar de los avances, la adopción de VE en Chile enfrenta desafíos como la limitada infraestructura de carga y los altos costos iniciales de adquisición. La Estrategia Nacional de Electromovilidad, presentada por el Ministerio de Energía, busca abordar estos obstáculos mediante el fomento de políticas públicas que promuevan la electrificación del transporte y la expansión de la infraestructura de carga.

Beneficios Potenciales

La transición hacia VE en la logística de última milla podría reducir significativamente las emisiones de GEI y mejorar la calidad del aire en Santiago. Además, las empresas podrían beneficiarse de menores costos operativos a largo plazo, debido al ahorro en combustible y mantenimiento. La adopción de VE también posiciona a las empresas como líderes en sostenibilidad, respondiendo a las crecientes demandas de los consumidores por prácticas más ecológicas.

1.4 Planteamiento del problema

El transporte de última milla en Santiago de Chile, una etapa clave en la cadena logística, enfrenta múltiples desafíos derivados del modelo actual basado en vehículos de combustión interna (VCI). Este modelo no solo genera altos costos operativos, sino que también contribuye significativamente a la contaminación ambiental y a la congestión vial en la ciudad.

Desde el punto de vista económico, los servicios de entrega experimentan gastos elevados asociados al consumo de combustible, mantenimiento y reparaciones. Estos costos afectan directamente la competitividad y sostenibilidad financiera de las empresas de delivery, especialmente en un mercado donde la demanda por entregas rápidas y eficientes sigue en aumento. Por ejemplo, un vehículo típico de combustión interna consume en promedio 208 litros de combustible al mes, lo que representa un costo sustancial para flotas de gran escala.



En términos ambientales, el uso extensivo de VCI agrava los problemas de calidad del aire en Santiago, una de las ciudades más contaminadas de América Latina. Según el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, el sector transporte es responsable del 29% de las partículas finas (PM2.5) y del 37% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), lo que tiene un impacto directo en la salud pública, aumentando los casos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Además, el creciente volumen de entregas derivado del auge del comercio electrónico intensifica estos problemas, ya que incrementa la congestión vehicular en áreas urbanas densamente pobladas. Este fenómeno no solo afecta la calidad de vida de los habitantes, sino que también reduce la eficiencia de las operaciones logísticas.

La necesidad de abordar estas problemáticas es urgente, especialmente considerando los compromisos internacionales de Chile para alcanzar la carbono neutralidad para 2050. Sin embargo, la transición hacia soluciones más sostenibles, como los vehículos eléctricos (VE), enfrenta barreras importantes. Entre ellas, se encuentran los altos costos iniciales de adquisición, la limitada infraestructura de carga y la falta de incentivos claros para fomentar su adopción.

El planteamiento del problema, por tanto, se centra en cómo reducir los costos operativos del transporte de última milla, al tiempo que se mejora la eficiencia y competitividad del sector logístico en Santiago. Este contexto exige una solución innovadora que equilibre las necesidades económicas y logísticas de la ciudad.

1.5 Solución propuesta

La solución propuesta para abordar los problemas identificados en el transporte de última milla en Santiago de Chile es la implementación de vehículos eléctricos (VE) como una alternativa sostenible y eficiente a los vehículos de combustión interna (VCI). Este enfoque busca reducir los costos operativos y mejorar la competitividad de las empresas de delivery.



La transición hacia los VE implica:

1. **Electrificación progresiva de las flotas:** Iniciar con programas piloto en sectores clave de alta densidad poblacional y evaluar el desempeño en términos de eficiencia y costos, para posteriormente escalar su implementación a mayor escala.
2. **Desarrollo de infraestructura de carga:** Garantizar la disponibilidad de estaciones de carga adecuadas en puntos estratégicos de la ciudad, en colaboración con el sector público y privado.
3. **Optimización tecnológica:** Integrar herramientas digitales como sistemas de optimización de rutas y monitoreo en tiempo real para maximizar la eficiencia operativa y energética de los VE.
4. **Fomento de políticas públicas e incentivos:** Promover subsidios, incentivos fiscales y regulaciones que faciliten la adquisición de VE y apoyen a las empresas en el proceso de transición.
5. **Promoción de alianzas estratégicas:** Facilitar colaboraciones entre empresas de delivery, proveedores de tecnología y actores gubernamentales para garantizar el éxito del cambio hacia un modelo de movilidad sostenible.

Esta propuesta no solo pretende resolver los problemas económicos y ambientales derivados del uso de VCI, sino también preparar a Santiago para adoptar modelos logísticos más modernos, alineados con las tendencias globales de sostenibilidad. Con una implementación adecuada, los VE pueden transformar la última milla en un proceso más limpio, rentable y eficiente, beneficiando tanto a las empresas como a la población en general.



1.6 Objetivos

Objetivo General:

Realizar una evaluación integral de las implicaciones económicas en la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile.

Objetivos Específicos:

- Investigar los costos operativos asociados con los vehículos de motor de combustión interna (ICEVs) utilizados en las entregas de última milla en Santiago de Chile.
- Comparar la eficiencia operativa y los costos asociados con los vehículos eléctricos y los vehículos de motor de combustión interna en el contexto específico de las entregas de última milla en Santiago de Chile.
- Identificar las limitaciones de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Santiago de Chile y su impacto en la viabilidad de la transición a vehículos eléctricos en la última milla.
- Analizar el impacto económico de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla en Santiago de Chile.
- Proponer recomendaciones específicas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la última milla en Santiago de Chile, centrándose en la transición hacia una flota de vehículos eléctricos y abordando los desafíos identificados.

1.7 Alcances y limitaciones

El presente proyecto tiene como objetivo principal realizar una evaluación integral de las implicaciones económicas y ambientales de la implementación de vehículos eléctricos (VE) en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile. Sin embargo, es importante establecer las fronteras del proyecto y definir qué aspectos se considerarán como parte del mismo y cuáles no, así como reconocer las posibles limitaciones que puedan surgir durante su desarrollo.

Alcances:

Análisis Económico: Se considerará el análisis de los costos operativos asociados con los vehículos de motor de combustión interna (ICEVs) en comparación con los vehículos eléctricos, así como la evaluación de la rentabilidad de la transición hacia los VE en el contexto del servicio de delivery de última milla en Santiago.

Aspectos Operativos: Se analizará la eficiencia operativa de los vehículos eléctricos en comparación con los ICEVs en términos de tiempos de entrega, capacidad de carga y otros aspectos relevantes para el servicio de delivery de última milla en Santiago.

Impacto Social y Económico: Se estudiará el impacto social y económico de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery en Santiago, considerando factores como la calidad de vida de los residentes urbanos y el desarrollo económico sostenible de la ciudad.

Limitaciones:

Disponibilidad de Datos: La disponibilidad de datos específicos sobre el servicio de delivery de última milla en Santiago de Chile puede ser limitada, lo que podría afectar la precisión de los análisis realizados.

Precisión de Modelos y Simulaciones: La precisión de los modelos y simulaciones utilizados para evaluar los impactos económicos y ambientales de la transición hacia los vehículos eléctricos puede estar sujeta a ciertas limitaciones y supuestos.

Variabilidad de Resultados: Los resultados obtenidos pueden estar sujetos a cierta variabilidad debido a la complejidad de los factores involucrados y la incertidumbre asociada con las proyecciones a largo plazo.



Factores Externos: El proyecto podría enfrentar limitaciones relacionadas con factores externos, como cambios en las políticas gubernamentales o en el mercado de vehículos eléctricos, que podrían influir en los resultados y conclusiones obtenidos.



CAPÍTULO 2

2. Estado del arte

El movimiento mundial hacia los autos eléctricos (AE) ha cobrado un fuerte impulso en los últimos años. Este fenómeno global se debe en gran parte a la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los gobiernos de diversos países han implementado políticas y regulaciones que fomentan la adopción de vehículos eléctricos, tales como incentivos fiscales, subsidios y la creación de infraestructura de carga. Estas medidas han sido esenciales para acelerar la transición desde los vehículos de combustión interna hacia opciones más sostenibles y amigables con el medio ambiente (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2010; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014).

Además, la industria automotriz ha respondido a esta demanda creciente con una inversión significativa en investigación y desarrollo de tecnologías avanzadas para vehículos eléctricos. Esto incluye mejoras en la autonomía de las baterías, tiempos de carga más rápidos y una mayor accesibilidad económica para los consumidores (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2010). La aceptación y adopción de vehículos eléctricos también se ha visto impulsada por un mayor conocimiento y preocupación pública sobre los impactos negativos de las emisiones vehiculares en la salud y la calidad del aire, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas (Vanclay, 2003).

Empresas tecnológicas y startups también han jugado un papel crucial en este movimiento, desarrollando innovaciones que van desde la gestión de la energía y los sistemas de recarga hasta soluciones integradas de movilidad eléctrica (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012). En particular, el auge de la movilidad compartida y los servicios de entrega de última milla han encontrado en los vehículos eléctricos una solución eficiente y sostenible para sus operaciones (Observatorio Nacional de Telecomunicaciones y de la SI, 2013).



La expansión de los vehículos eléctricos en el ámbito del transporte urbano no solo ha sido impulsada por los gobiernos y la industria automotriz, sino también por la creciente participación del sector privado en iniciativas sostenibles. Un ejemplo notable es el compromiso de grandes empresas de logística y delivery con la electrificación de sus flotas. Empresas como Amazon y DHL han anunciado ambiciosos planes para incorporar vehículos eléctricos en sus operaciones de última milla, con el objetivo de reducir su huella de carbono y mejorar la eficiencia energética (DHL, 2021; Amazon, 2020).

La adopción de vehículos eléctricos también se ve favorecida por los avances en tecnologías de baterías y la expansión de la infraestructura de carga. Un informe de BloombergNEF (2019) destaca que los costos de las baterías de iones de litio han disminuido significativamente en la última década, haciendo que los vehículos eléctricos sean más asequibles para los consumidores. Además, la implementación de estaciones de carga rápida en áreas urbanas y en carreteras principales ha mejorado la viabilidad de los vehículos eléctricos para usos comerciales y personales (BloombergNEF, 2019).

En el contexto chileno, la estrategia de movilidad eléctrica ha sido respaldada por iniciativas gubernamentales y colaboraciones público-privadas. Según el Ministerio de Energía de Chile (2021), el país ha establecido metas claras para la electrificación del transporte público y privado, con proyectos piloto en varias ciudades, incluida Santiago. Estos esfuerzos son parte de un compromiso más amplio para alcanzar la neutralidad de carbono para 2050, lo que incluye la electrificación de la flota de transporte público y la promoción de vehículos eléctricos para uso personal y comercial (Ministerio de Energía de Chile, 2021).

Este contexto global crea un marco propicio para la implementación de vehículos eléctricos en el servicio de delivery en Santiago de Chile, alineando la ciudad con las tendencias internacionales y contribuyendo al desarrollo de una infraestructura urbana más limpia y sostenible (Subirats, 2012; Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015).



La implementación de vehículos eléctricos (VE) en la última milla del servicio de delivery es un tema de creciente interés en el contexto urbano, especialmente en ciudades como Santiago de Chile. Esta tendencia se alinea con los esfuerzos por reducir las emisiones de carbono y promover la sostenibilidad en el transporte y la logística. Los vehículos eléctricos ofrecen una alternativa viable y ecológica a los vehículos de combustión interna, ya que producen cero emisiones locales y contribuyen a mejorar la calidad del aire en áreas urbanas congestionadas (López, 2020).

Además de los beneficios ambientales, la adopción de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery también puede tener un impacto positivo en la economía local. Según un estudio realizado por Martínez et al. (2019), la introducción de flotas de entrega eléctrica puede reducir significativamente los costos operativos a largo plazo para las empresas de delivery, especialmente en términos de mantenimiento y costos de combustible. Esta reducción en los costos operativos puede traducirse en precios más competitivos para los consumidores y en un impulso para la economía local al fomentar el crecimiento de pequeñas y medianas empresas de delivery (Martínez et al., 2019).

Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery también enfrenta desafíos significativos. Estos incluyen la infraestructura de carga insuficiente, la limitada autonomía de los vehículos eléctricos y los costos iniciales más altos en comparación con los vehículos de combustión interna. Es crucial abordar estos desafíos mediante políticas públicas efectivas, incentivos financieros y colaboraciones entre el sector público y privado para garantizar una transición exitosa hacia una movilidad urbana más sostenible y eficiente (Gómez, 2021).

Investigaciones previas, como el estudio realizado por Aguirre (2018) sobre el emprendimiento en análisis de datos y Business Intelligence, han destacado el potencial de soluciones innovadoras en este campo. Se ha observado un mercado en crecimiento con oportunidades para empresas que ofrecen soluciones de entrega sostenibles y eficientes.



En un estudio llevado a cabo por Cancino R. (2021) se abordó el desafío de la intermitencia en las centrales solares mediante el almacenamiento de hidrógeno, lo cual presenta paralelismos con la implementación de vehículos eléctricos en la última milla. La evaluación técnico-económica de este estudio ofrece perspectivas útiles para comprender los costos y beneficios asociados con la transición hacia vehículos eléctricos en el servicio de delivery.

Además, Morales Y. (2022) investigó la producción de hidrógeno a partir de Afifelia marina, utilizando residuos industriales como sustrato. Aunque el enfoque es diferente, este estudio proporciona información relevante sobre el potencial de las fuentes de energía alternativas y su aplicación en contextos urbanos como Santiago de Chile.

En el ámbito tecnológico, avances como la Tecnología RFID, la Inteligencia Artificial (IA) y los sistemas ERP han demostrado ser herramientas valiosas para la optimización de procesos logísticos y la gestión de flotas de vehículos eléctricos. Estas tecnologías pueden contribuir significativamente a mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados con la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery.

Otro aspecto relevante a considerar es el impacto social de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery. Investigaciones como la realizada por Bermeo-Moyano (2020) sobre la implementación de Data Mart en combinación con Power BI para el análisis de ventas a clientes en negocios de tamaño mediano ofrecen una perspectiva valiosa sobre cómo las tecnologías de análisis de datos pueden mejorar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente en el sector de delivery.

Además, el estudio de Alvarez Gonzaga (2021) sobre el análisis comparativo de técnicas de minería de datos aplicadas a business intelligence proporciona una base sólida para comprender cómo los datos recopilados de vehículos eléctricos en la última milla pueden ser analizados y utilizados para optimizar las operaciones y tomar decisiones informadas.



Según un informe de Mercado Libre (2022), la empresa está avanzando hacia la electrificación de su flota de vehículos para el servicio de última milla en la Región Metropolitana de Chile. En colaboración con Enel, Mercado Libre ha instalado 30 puntos de carga eléctrica en su centro de distribución en Renca, con el objetivo de operar 200 vehículos eléctricos para finales de 2022. Este esfuerzo se alinea con la agenda gubernamental de Chile de ser carbono neutral para 2050 y se espera que reduzca las emisiones de CO₂ entre un 50% y un 85% en comparación con los vehículos de combustión. Además, Mercado Libre planea invertir US\$ 400 millones en los próximos dos años para expandir su red de centros de distribución y aumentar su flota eléctrica, lo que demuestra un compromiso significativo con la sostenibilidad y la innovación en logística.



CAPÍTULO 3

3. Marco teórico

3.1 Vehículo eléctrico (BEV - Battery Electric Vehicle)

Se trata de vehículos de tracción eléctrica alimentados por una batería recargable. Estos vehículos están propulsados únicamente por un motor eléctrico. La fuente de energía proviene de la electricidad almacenada en la batería, que se debe cargar a través de la red. (Evo Molero, 2013)

3.2 Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

Esta familia de vehículos combina un motor de combustión interna (MCI) con una batería y un motor eléctrico. El MCI y/o el motor eléctrico impulsan el vehículo en una configuración paralela. Cohabitan dos fuentes exteriores de energías: la proveniente de los combustibles, que permite mover el motor térmico, y la electricidad, suministrada por la red y que permite recargar la batería. (Evo Molero, 2013)

3.3 Vehículo eléctrico híbrido no enchufable (HEV - Hybrid Electric Vehicle)

Son vehículos provistos de un motor de combustión interna y de un motor eléctrico alimentado por un dispositivo recargable de energía — como una batería mediante, entre otros medios, el motor de combustión interna (este tipo de vehículos no son considerados dentro de la Estrategia Integral para los vehículos eléctricos, ya que por sus características usan como única fuente de energía el combustible, y no permite la carga de la batería por una fuente exterior de electricidad). En un futuro, si la tecnología eléctrica llega a ser la dominante y el desarrollo de las baterías lo permite, será posible realizar recorridos más largos. (Evo Molero, 2013).

3.4 Última milla

La última milla se define como el tramo final en el transporte de una mercancía a su destino. En cadenas logísticas de producción, se refiere a la entrega de partes y piezas a fábrica. En cambio, si la distribución se realiza a tiendas físicas, la última milla se refiere al momento previo al aprovisionamiento de los stocks de estas. Por último, si se trata de la entrega de la mercadería al cliente definitivo, se refiere al recorrido final de la mercancía (Jaime Mira, 2022).



3.5 Vehículos/Motor de combustión interna

Se denominan motores de combustión interna a aquellas máquinas en las cuales se quema un combustible para producir trabajo y esa combustión tiene lugar dentro de la propia máquina que genera el trabajo. (Rubén Fidalgo, 2022)

3.6 Costos operativos

Los costos operativos se refieren a los gastos asociados con el funcionamiento continuo de un negocio, como gastos de personal, materias primas, servicios públicos, pagos de alquiler/arrendamiento, primas de seguros, etc. (Jeannine Mancini, 2023)

3.7 Valor presente neto

El método del valor presente neto (VPN) también es conocido como valor actual neto (VAN), se utiliza para evaluar inversiones actuales o potenciales y te permite calcular el rendimiento de inversión (ROI) esperado, fundamental para tener visibilidad de las finanzas del negocio. (Stefano Gasbarrino, 2023)

3.8 Movilidad Sostenible

La movilidad sostenible se refiere a sistemas de transporte que satisfacen las necesidades actuales de movilidad sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Involucra la promoción de medios de transporte menos contaminantes y más eficientes. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2010)

3.9 Economía Circular

La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes el mayor tiempo posible. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014)

3.10 Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC)

Las TIC incluyen cualquier tecnología que proporciona acceso a la información a través de telecomunicaciones. Esto incluye internet, redes inalámbricas, teléfonos móviles, etc. (ECLAC,



2010)

3.11 Internet de las Cosas (IoT)

El IoT se refiere a la interconexión de dispositivos físicos, vehículos, edificios y otros elementos con electrónica, software, sensores y conectividad para recopilar e intercambiar datos. (ITU, 2012)

3.12 Análisis de Big Data

El análisis de Big Data implica examinar grandes y variados conjuntos de datos para descubrir patrones ocultos, correlaciones desconocidas, tendencias del mercado, preferencias del cliente y otra información útil. (Observatorio Nacional de Telecomunicaciones y de la SI, 2013)

3.13 Políticas Públicas y Regulaciones

Las políticas públicas y regulaciones se refieren a las leyes y normativas implementadas por el gobierno para regular diferentes aspectos de la sociedad y la economía. (Subirats, 2012)

3.14 Sistemas de Gestión de Energía (EMS)

Un EMS es un sistema que monitorea, controla y optimiza el rendimiento energético de una organización o sistema, como una red de carga para vehículos eléctricos. (AENOR, 2011)

3.15 Infraestructura de Recarga

La infraestructura de recarga incluye todas las instalaciones y tecnologías necesarias para recargar los vehículos eléctricos, como estaciones de carga rápida y puntos de recarga en la vía pública. (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015)

3.16 Planificación Urbana y Logística

La planificación urbana se refiere al proceso de diseñar y organizar el uso del suelo y la infraestructura en áreas urbanas. La logística urbana implica la gestión del flujo de bienes en las ciudades. (Ministerio de Fomento, 2011)



CAPÍTULO 4

4. Metodología

El enfoque metodológico propuesto para llevar a cabo este trabajo de investigación se basa en un enfoque interdisciplinario que abarca aspectos económicos, ambientales y operativos de la implementación de vehículos eléctricos (VE) en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile. La metodología se divide en varias etapas, cada una de las cuales se detalla a continuación:

4.1 Revisión Bibliográfica: Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura existente relacionada con la implementación de vehículos eléctricos en entregas de última milla, así como estudios sobre la situación actual del servicio de delivery en Santiago de Chile. Esto proporcionará una base sólida de conocimiento y ayudará a identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas de otras ciudades.

4.2 Recopilación de Datos: Se recopilarán datos relevantes sobre el servicio de delivery en Santiago de Chile, incluyendo la congestión del tráfico, las emisiones de gases de efecto invernadero, los costos operativos y la infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Estos datos serán fundamentales para realizar análisis comparativos y evaluar el impacto de la transición hacia los VE.

4.3 Análisis Económico: Se emplearán técnicas de análisis económico para evaluar los costos operativos asociados con los vehículos eléctricos en comparación con los vehículos de motor de combustión interna. Esto incluirá el análisis del costo total de propiedad (TCO), el análisis del valor presente neto (VPN) y el análisis de sensibilidad para evaluar la viabilidad financiera de la transición hacia los VE.

4.4 Modelado y Simulación: Se utilizarán herramientas de modelado y simulación computacional para prever los impactos económicos y ambientales de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery en Santiago. Esto incluirá la simulación de diferentes escenarios de implementación y la estimación de los resultados esperados en términos de costos, emisiones y eficiencia operativa.

4.5 Validación y Análisis de Resultados: Los resultados obtenidos serán validados mediante análisis estadísticos y comparativos, asegurando la precisión y la fiabilidad de los hallazgos. Se



realizará un análisis detallado de los resultados para identificar tendencias, patrones y posibles áreas de mejora.

4.6 Elaboración de Conclusiones y Recomendaciones: Con base en los resultados obtenidos, se elaborarán conclusiones y recomendaciones que guiarán la toma de decisiones en relación con la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile. Estas conclusiones y recomendaciones se basarán en un enfoque integral que tenga en cuenta aspectos económicos, ambientales y operativos.



CAPÍTULO 5

5. Desarrollo

5.1 Análisis de los costos operativos asociados con los vehículos de motor de combustión interna (ICEVs) en las entregas de última milla en Santiago de Chile.

Este objetivo requiere un análisis detallado de los costos operativos de los vehículos de motor de combustión interna (ICEVs) en el contexto específico de las entregas de última milla en Santiago de Chile. Estudios como el de Martínez et al. (2018) proporcionan información valiosa sobre los costos de mantenimiento, combustible y otros gastos asociados con los ICEVs en operaciones de entrega. Además, es importante considerar los datos económicos relacionados con el sector de delivery en Chile, como los proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), para comprender mejor el impacto financiero de los ICEVs en este sector.

Descripción de la Situación Actual:

La empresa X cuenta con una flota de 50 vehículos de combustión interna (ICEVs). Estos vehículos son responsables de los altos costos operativos debido al precio del combustible, el mantenimiento regular y las reparaciones necesarias. A continuación, se presenta un análisis detallado de los costos asociados con la operación de estos vehículos en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile.

5.1.1 Análisis de Costos Operativos:

Costo del Combustible:

- Consumo promedio de combustible: 12 km/l
- Precio promedio del combustible en Santiago: \$1.200 CLP/litro
- Kilometraje promedio mensual por vehículo: 2.500 km
- Consumo mensual de combustible por vehículo= $12\text{km}/12.500\text{km}=208.33\text{litros}$
- Costo mensual de combustible por vehículo: $208.33 * 1.200 \text{ CLP/l}=250.000 \text{ CLP}$
- Costo anual de combustible para la flota completa:



$$250.000 \text{ CLP} \times 12 \text{ meses} \times 50 \text{ vehículos} = 150.000.000$$

Costo de Mantenimiento y Reparaciones:

- Costo promedio mensual de mantenimiento por vehículo: \$50.000 CLP
- Costo anual de mantenimiento para la flota completa:
 $50.000 \text{ CLP} \times 12 \text{ meses} \times 50 \text{ vehículos} = 30.000.000$

Costos Totales Anuales:

- Combustible: 150.000.000 CLP
- Mantenimiento: 30.000.000 CLP
- Total: $150.000.000 \text{ CLP} + 30.000.000 \text{ CLP} = 180.000.000$

5.2 Comparación de la eficiencia operativa y los costos asociados entre los vehículos eléctricos y los vehículos de motor de combustión interna en las entregas de última milla en Santiago de Chile.

Para abordar este objetivo, es necesario llevar a cabo un análisis comparativo detallado de la eficiencia operativa y los costos asociados con los vehículos eléctricos (VE) y los vehículos de motor de combustión interna (ICEVs) utilizados en las entregas de última milla en Santiago de Chile. Investigaciones previas, como el estudio de Martínez et al. (2020), proporcionan datos valiosos sobre los costos operativos y la eficiencia de los VE en comparación con los ICEVs en contextos similares. Además, se deben considerar factores como el mantenimiento, el consumo de energía y los costos de combustible para cada tipo de vehículo, así como las condiciones específicas de operación en Santiago, como la topografía, el tráfico y los patrones de entrega. Para comparar, consideramos la implementación de vehículos eléctricos (VE) en la flota de la empresa Y.



Descripción de la Situación Propuesta:

Supongamos que la empresa Y decide reemplazar su flota actual con vehículos eléctricos. A continuación, se presentan los costos operativos asociados con esta nueva flota.

5.2.1 Análisis de Costos Operativos:

Costo de la Electricidad:

- Consumo promedio de electricidad: 15 kWh/100 km
- Precio promedio de la electricidad en Santiago: \$130 CLP/kWh
- Kilometraje promedio mensual por vehículo: 2.500 km
- Costo mensual de electricidad por vehículo:
 $2.500 \text{ km} \times 100 \times 15 \text{ kWh} \times 130 \text{ CLP/kWh} = 48.750 \text{ CLP}$
- Costo anual de electricidad para la flota completa:
 $48.750 \text{ CLP} \times 12 \text{ meses} \times 50 \text{ vehículos} = 29.250.000$

Costo de Mantenimiento y Reparaciones:

- Costo promedio mensual de mantenimiento por vehículo: \$10.000 CLP
- Costo anual de mantenimiento para la flota completa:
 $10.000 \text{ CLP} \times 12 \text{ meses} \times 50 \text{ vehículos} = 6.000.000 \text{ CLP}$.

Costos Totales Anuales:

- Electricidad: 29.250.000 CLP
- Mantenimiento: 6.000.000 CLP
- Total: $29.250.000 \text{ CLP} + 6.000.000 \text{ CLP} = 35.250.000$



5.2.2 Comparación de Costos

Comparando los costos operativos anuales:

- Vehículos de Combustión Interna: 180.000.000CLP
- Vehículos Eléctricos: 35.250.000 CLP

El análisis muestra que la transición a vehículos eléctricos podría ahorrar a la empresa X un total de: $180.000.000 \text{ CLP} - 35.250.000 \text{ CLP} = 144.750.000 \text{ CLP}$. Cabe mencionar que la empresa se estaría ahorrando eso solo si nos enfocamos en la comparación de estos costos, ya que en esta ocasión no se tomaron en cuenta otros factores como lo son el precio de cada vehículo, impuestos, etc.

5.2.3 Fuentes de Valores Utilizados

Precio del Combustible en Santiago:

El precio promedio del combustible en Santiago puede variar, pero para el cálculo utilizamos \$1.200 CLP/litro. Esta cifra se puede obtener de fuentes como el Ministerio de Energía de Chile o sitios web que monitorean precios de combustibles, como el portal de la Comisión Nacional de Energía (CNE).

Consumo Promedio de Combustible de Vehículos Comerciales:

Un consumo promedio de 12 km/l es típico para furgonetas y vehículos comerciales ligeros. Este dato puede ser verificado a través de especificaciones de fabricantes de vehículos o reportes de eficiencia de combustible.

Precio de la Electricidad en Santiago:

El precio de \$130 CLP/kWh es una estimación basada en tarifas eléctricas residenciales y comerciales en Santiago. Estos datos pueden obtenerse de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) o las tarifas publicadas por compañías eléctricas locales como Enel



Consumo de Electricidad de Vehículos Eléctricos:

Un consumo de 15 kWh/100 km es una media razonable para vehículos eléctricos comerciales, basado en especificaciones de modelos como la Nissan e-NV200 o la Renault Kangoo Z.E.

Costos de Mantenimiento:

Los costos de mantenimiento para vehículos de combustión interna (\$50.000 CLP/mes) y vehículos eléctricos (\$10.000 CLP/mes) son estimaciones basadas en reportes de costos de mantenimiento publicados por entidades como Consumer Reports y estudios de flotas empresariales.

5.2.4 Análisis tablas de costos.

Opción 1: Flota de Vehículos de Combustión Interna (ICEVs)

Tabla 5.1: Costo combustible-mantenimiento ICEVs

Costo de Combustible / Electricidad	150.000.000
Costo de Mantenimiento	30.000.000
Costo 50 vehículos	1.000.000.000

Opción 2: Flota de Vehículos Eléctricos (VEs)

Tabla 5.2: Costo combustible-mantenimiento VEs

Costo de Combustible / Electricidad	29.250.000
Costo de Mantenimiento	6.000.000
Costo 50 vehículos	1.500.000.000

5.2.5 Comparación Detallada entre Maxus eDeliver 3 y Ford Transit Custom

Tabla 5.3: Comparación Detallada entre Maxus eDeliver 3 y Ford Transit Custom

Comparación entre Maxus eDeliver 3 y Ford Transit Custom			
Categoría	Concepto	Maxus eDeliver 3 (Eléctrica)	Ford Transit Custom (Diésel)
Información General	Tipo de Motor	Eléctrico	Diésel
	Potencia (hp)	114 hp	123 hp
Dimensiones y Capacidades	Longitud (mm)	4,555 - 5,140	4,973 - 5,340
	Ancho (mm)	1.780	1.986
	Alto (mm)	1.890 - 1.900	1.979
	Capacidad de carga útil (kg)	Hasta 1.020	Hasta 1.320
	Volumen de carga (m ³)	4.8 - 6.3	6.0 - 8.3
Rendimiento y Consumo	Autonomía (km)	Hasta 342 km	-
	Consumo de energía/combustible	23.6 kWh/100 km	6.4 L/100 km
	Emisiones de CO ₂ (g/km)	0	168
Costos Operativos	Costo de Energía/Combustible (CLP/km)	Aproximadamente CLP 16.52	Aproximadamente CLP 64
	Costo de Mantenimiento Anual (CLP)	Menor (sin cambios de aceite ni filtros)	Mayor (cambios de aceite, filtros, correas)
	Costo Inicial del Vehículo (CLP)	\$34,000,000	\$34,000,000
Infraestructur a y Operatividad	Tiempo de carga/repostaje	Carga rápida: 45 min (80%)	Repostaje: 5-10 min
	Disponibilidad de infraestructura	En crecimiento en Chile	Amplia disponibilidad

5.2.6 Comparación Detallada entre Renault Kangoo E-Tech y Renault Kangoo Diésel

Tabla 5.4: Comparación Detallada entre Renault Kangoo E-Tech y Renault Kangoo Diésel

Comparación entre Renault Kangoo E-Tech y Renault Kangoo Diésel			
Categoría	Concepto	Renault Kangoo E-Tech	Renault Kangoo Diésel
Información General	Tipo de Motor	Eléctrico	Diésel
	Potencia (hp)	122 hp	95 hp
Dimensiones y Capacidades	Longitud (mm)	4.486	4.486
	Ancho (mm)	1.859	1.859
	Alto (mm)	1.826	1.826
	Capacidad de carga útil (kg)	Hasta 600	Hasta 800
	Volumen de carga (m ³)	3.9	3.9
Rendimiento y Consumo	Autonomía (km)	Hasta 300 km	-
	Consumo de energía/combustible	18 kWh/100 km	5.5 L/100 km
	Emisiones de CO ₂ (g/km)	0	144
Costos Operativos	Costo de Energía/Combustible (CLP/km)	Aproximadamente CLP 9	Aproximadamente CLP 55
	Costo de Mantenimiento Anual (CLP)	Menor (sin cambios de aceite ni filtros)	Mayor (cambios de aceite, filtros, correas)
	Costo Inicial del Vehículo (CLP)	\$24,000,000	\$22,000,000
Infraestructura y Operatividad	Tiempo de carga/repostaje	Carga completa: 6 horas	Repostaje: 5-10 min
	Disponibilidad de infraestructura	En crecimiento en Chile	Amplia disponibilidad



5.2.7 Análisis Comparativo

5.2.7.1 Análisis Comparativo: Maxus eDeliver 3 y Ford Transit Custom

Autonomía y Capacidad de Energía

- Maxus eDeliver 3: Con una batería de 52.5 kWh, ofrece una autonomía de hasta 342 km, lo que la hace adecuada para operaciones urbanas y de corta distancia. Aunque supera en autonomía a varios modelos de combustión en trayectos urbanos, su alcance se ve afectado por la disponibilidad de infraestructura de carga.
- Ford Transit Custom: Al ser un vehículo diésel, su autonomía depende del consumo de combustible, que es de 6.4 L/100 km. Con un tanque de combustible estándar, puede recorrer más de 1,000 km sin necesidad de repostar, lo que la hace ideal para trayectos interurbanos y operaciones de mayor alcance.

Capacidad de Carga

- Maxus eDeliver 3: Con una capacidad de carga de hasta 1,020 kg y un volumen de carga de 4.8 - 6.3 m³, se adapta a entregas urbanas y de última milla. Sin embargo, su capacidad es menor en comparación con la Transit Custom, lo que puede limitar su uso en empresas con cargas más pesadas.
- Ford Transit Custom: Su capacidad de carga es mayor, alcanzando hasta 1,320 kg y un volumen de carga de 6.0 - 8.3 m³, lo que la hace más versátil para transportar paquetes voluminosos o mercancías pesadas en rutas de mayor exigencia.

Tiempo de Carga y Eficiencia Energética

- Maxus eDeliver 3: Dispone de carga rápida, alcanzando el 80% en aproximadamente 45 minutos. En cargadores de nivel 2, la carga completa toma entre 6 y 8 horas, lo que permite recargar durante la noche para operaciones del día siguiente.
- Ford Transit Custom: Al utilizar diésel, el tiempo de repostaje es significativamente menor (5-10 minutos), lo que permite un flujo de operación continuo sin necesidad de planificación para recargas prolongadas.



Conectividad y Tecnología

- Maxus eDeliver 3: Incorpora una pantalla táctil de 7 pulgadas con opciones básicas de conectividad y modos de conducción para optimizar la eficiencia energética. Sin embargo, no cuenta con tecnologías avanzadas de gestión de flota o telemetría en tiempo real, lo que podría limitar su utilidad en empresas que requieren monitoreo avanzado.
- Ford Transit Custom: Equipada con tecnología más avanzada, incluyendo integración con sistemas de conectividad de Ford, navegación y gestión de flotas, lo que la convierte en una opción más adecuada para operaciones de logística con múltiples vehículos.

Costo Inicial y Rentabilidad a Largo Plazo

- Maxus eDeliver 3: Con un precio de \$34.000.000 CLP, su inversión inicial es la misma que la Ford Transit Custom, pero ofrece costos operativos más bajos a largo plazo debido a la menor necesidad de mantenimiento y la diferencia en costos de energía.
- Ford Transit Custom: Con un precio de \$34.000.000 CLP, su inversión inicial es igual a la de la Maxus eDeliver 3. Su mayor autonomía y facilidad de repostaje la convierten en una alternativa confiable para empresas que operan en rutas largas o con una infraestructura de carga limitada.

5.2.7.2 Análisis Comparativo: Renault Kangoo E-Tech vs. Renault Kangoo Diésel

Autonomía y Capacidad de Energía

- Renault Kangoo E-Tech: Con una batería de 45 kWh, ofrece una autonomía de hasta 300 km, lo que la hace adecuada para repartos urbanos y trayectos cortos. Su uso está condicionado a la disponibilidad de cargadores en las zonas de operación.
- Renault Kangoo Diésel: Con un consumo de 4.9 L/100 km, alcanza una autonomía de hasta 1,000 km por tanque, lo que la hace más flexible para trayectos interurbanos sin depender de infraestructura de carga.



Capacidad de Carga

- Renault Kangoo E-Tech: Tiene una capacidad de carga de hasta 650 kg y un volumen de carga de hasta 4.6 m³, lo que la hace adecuada para distribución urbana liviana.
- Renault Kangoo Diésel: Con una capacidad de hasta 800 kg, permite transportar cargas más pesadas, lo que le otorga mayor versatilidad en operaciones mixtas de ciudad y carretera.

Tiempo de Carga y Eficiencia Energética

- Renault Kangoo E-Tech: En carga rápida, alcanza el 80% en 45 minutos, mientras que en cargadores de nivel 2, la carga completa toma entre 6 y 8 horas.
- Renault Kangoo Diésel: Su repostaje toma 5-10 minutos, lo que la hace más conveniente para operaciones sin tiempos de espera prolongados.

Conectividad y Tecnología

- Renault Kangoo E-Tech: Ofrece tecnología moderna, pero con funcionalidades básicas de conectividad. Su sistema de infoentretenimiento es más sencillo en comparación con opciones de gama alta.
- Renault Kangoo Diésel: Dependiendo de la versión, puede ofrecer mayor integración con sistemas de gestión de flotas y una mejor experiencia de conducción para uso comercial.

Costo Inicial y Rentabilidad a Largo Plazo

- Renault Kangoo E-Tech: Con un precio de \approx \$35,000,000 CLP, representa una inversión inicial más alta, pero con potencial de ahorro en costos operativos.
- Renault Kangoo Diésel: Con un precio de \approx \$25,000,000 CLP, es más accesible inicialmente y su operación es más simple al no depender de infraestructura de carga.

5.3 Identificación de las limitaciones de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos



en Santiago de Chile y su impacto en la viabilidad de la transición hacia vehículos eléctricos en el servicio de delivery de última milla.

5.3.1 Análisis de la Infraestructura de Carga en Chile

La infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Chile ha crecido en los últimos años debido al aumento en la demanda de electromovilidad y a los esfuerzos del sector público y privado por expandir la red de electrolinerías. Sin embargo, este crecimiento no ha sido uniforme en todas las regiones, lo que genera desafíos para la adopción masiva de vehículos eléctricos en sectores como el delivery de última milla.

Actualmente, la mayor cantidad de estaciones de carga se encuentra en la Región Metropolitana, donde se concentra la mayor parte del parque vehicular eléctrico del país. Otras regiones con una infraestructura considerable incluyen Valparaíso y Biobío, aunque con menor cobertura que la capital. En contraste, zonas como Aysén, Magallanes y otras regiones más alejadas presentan una cantidad reducida de electrolinerías, lo que limita significativamente la operatividad de los vehículos eléctricos en esos territorios.

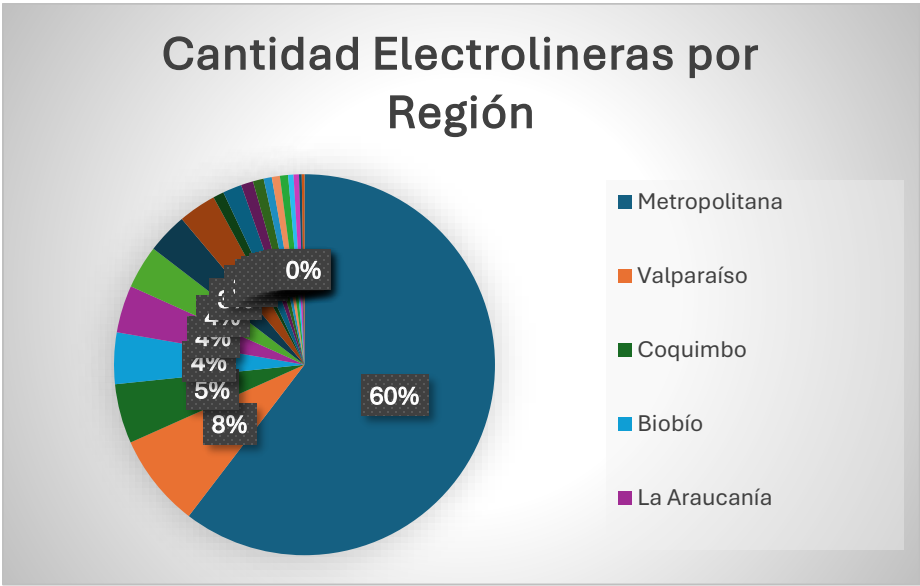


Figura 5.1: Cantidad de electrolinerías por Región

El número total de electrolinerías en Chile ha crecido, pero este aumento no siempre se traduce en una mejora efectiva en la accesibilidad para los usuarios. Uno de los problemas que enfrenta la actual red de carga es su distribución estratégica: muchas estaciones están ubicadas en zonas comerciales y centros urbanos, mientras que en parques industriales, centros logísticos y comunas periféricas la disponibilidad de puntos de carga es limitada. Esto impacta directamente en el uso de vehículos eléctricos en sectores como el delivery de última milla, donde la autonomía y el acceso rápido a la carga son esenciales para la operatividad continua de las flotas.

Otro aspecto relevante es la capacidad de las electrolinerías existentes. No todas las estaciones cuentan con cargadores de alta potencia, lo que significa que algunos vehículos deben permanecer conectados por largos períodos para lograr una carga completa. Este factor es crítico en operaciones de logística y distribución, donde los tiempos de carga prolongados pueden afectar los ciclos de entrega y la eficiencia de las flotas.

5.3.2 Distribución de la Potencia de Carga y Tipo de Corriente

Además del crecimiento en el número de electrolinerías en Chile, un aspecto fundamental para evaluar la eficiencia de la infraestructura de carga es la potencia instalada en las estaciones y el tipo de corriente utilizada. Estos factores determinan el tiempo de carga de los vehículos eléctricos y su operatividad dentro de la logística de última milla.

Las electrolinerías en Chile cuentan con diferentes niveles de potencia, que varían según su ubicación y tipo de cargador instalado. En términos generales, se pueden clasificar en:

- Carga lenta (AC – Corriente Alterna): Generalmente con potencias entre 7 kW y 22 kW, adecuada para cargas prolongadas que pueden tardar entre 4 y 8 horas.
- Carga semirrápida (AC – Corriente Alterna): Con potencias de 22 kW a 50 kW, reduce los tiempos de carga pero sigue siendo insuficiente para operaciones de alta rotación.
- Carga rápida (DC – Corriente Continua): Ofrece potencias superiores a 50 kW, permitiendo recargas de hasta 80% en menos de una hora, lo que la hace ideal para vehículos de uso intensivo.

En Chile, la mayoría de las estaciones de carga pública utilizan corriente alterna (AC), lo que implica tiempos de carga más largos y una menor eficiencia para vehículos que requieren una rápida disponibilidad. La infraestructura de carga rápida (DC) sigue siendo minoritaria y está concentrada en las principales ciudades, lo que representa un desafío para las flotas de delivery que operan en áreas con menor acceso a estas estaciones.

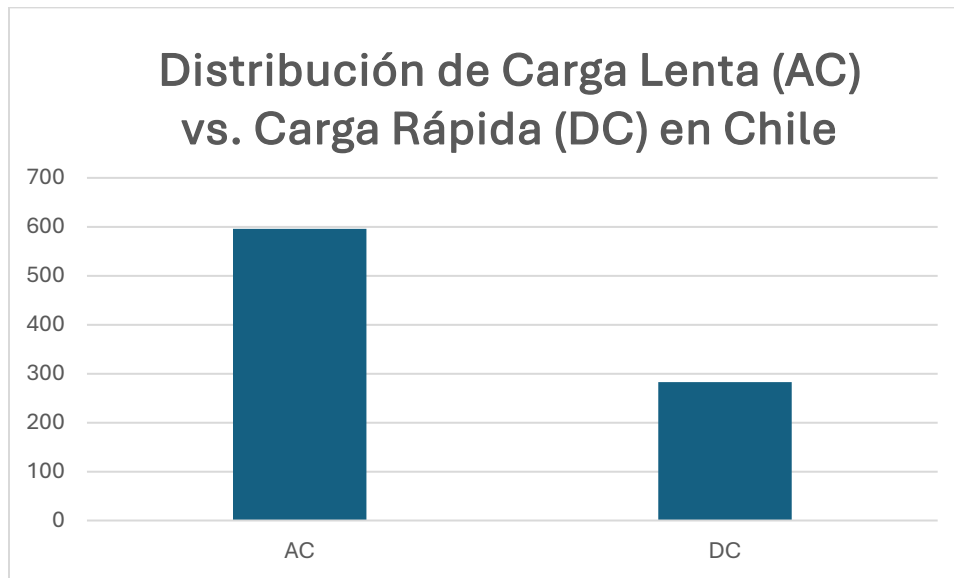


Figura 5.2: Distribución de puntos de carga AC vs DC

La potencia instalada por región también varía significativamente. Mientras que en la Región Metropolitana y en algunos sectores de Valparaíso y Biobío existen estaciones con potencia suficiente para abastecer flotas comerciales, en regiones más alejadas la infraestructura suele estar compuesta por estaciones de carga lenta, con una capacidad limitada para cubrir la demanda de vehículos eléctricos en operación.

Este escenario influye en la eficiencia de las empresas que buscan incorporar vehículos eléctricos en sus operaciones de última milla, ya que la disponibilidad de carga rápida es clave para minimizar los tiempos de inactividad y optimizar el rendimiento de la flota.

5.3.3 Cobertura Geográfica y Desafíos Logísticos

La cobertura geográfica de las electrolineras en Chile presenta una distribución desigual, lo que genera desafíos logísticos para la operación de flotas de vehículos eléctricos en el sector del delivery de última milla. Mientras que las principales ciudades cuentan con una infraestructura en expansión, en muchas zonas industriales, periféricas y rutas interurbanas la disponibilidad de puntos de carga sigue siendo insuficiente.

En la Región Metropolitana, la mayoría de las electrolineras están ubicadas en sectores céntricos y comerciales, lo que facilita el acceso para usuarios individuales, pero no necesariamente para flotas de última milla. En contraste, en zonas industriales y comunas periféricas, donde se ubican muchos centros de distribución y hubs logísticos, la presencia de estaciones de carga es limitada. Esta situación obliga a las empresas de transporte a planificar cuidadosamente sus rutas y tiempos de carga, lo que puede afectar la eficiencia operativa.

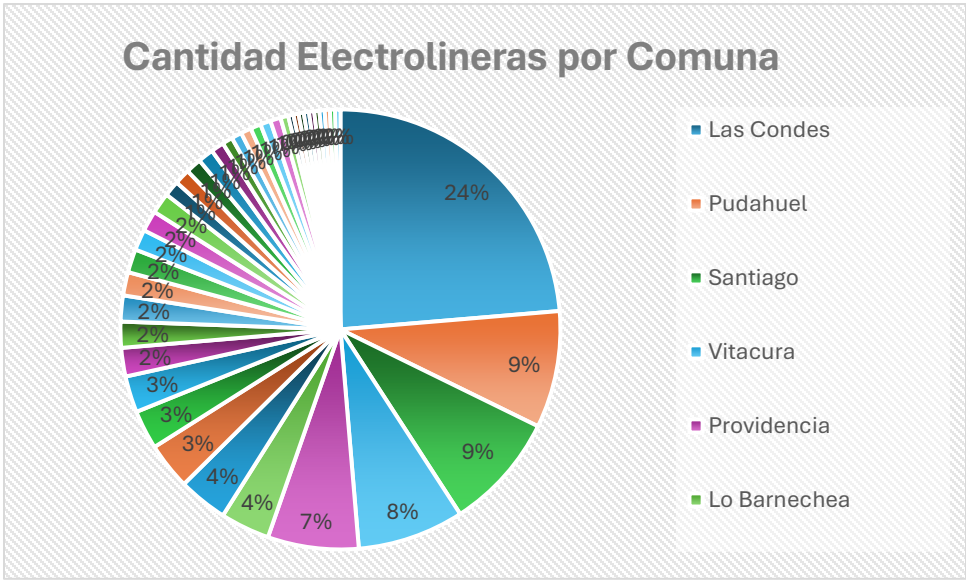


Figura 5.3: Cantidad de Electrolineras por comuna.

A nivel interregional, la infraestructura de carga también presenta brechas significativas. En regiones como Valparaíso y Biobío, la red de carga está mejor desarrollada en comparación con otras regiones, pero sigue siendo insuficiente para garantizar una cobertura continua en trayectos de larga distancia. En zonas más alejadas como Aysén y Magallanes, la infraestructura es



prácticamente inexistente, lo que dificulta la adopción de vehículos eléctricos en sectores con menor densidad de población.

Entre los principales desafíos logísticos derivados de esta cobertura limitada se encuentran:

- Planificación de rutas más compleja, ya que los vehículos eléctricos deben contar con acceso garantizado a carga dentro de su recorrido.
- Mayor dependencia de infraestructura de carga privada, con empresas optando por instalar cargadores propios en sus centros de distribución.
- Riesgo de tiempos de inactividad prolongados, en caso de que un vehículo no tenga acceso a una electrolinera en su trayecto operativo.

La expansión de la red de carga en zonas estratégicas es clave para mejorar la eficiencia de las operaciones de última milla y permitir una transición más efectiva hacia flotas eléctricas en el sector logístico.

5.3.4 Impacto en la Viabilidad de la Transición a Vehículos Eléctricos

La infraestructura de carga disponible en Chile es un factor determinante en la viabilidad operativa y económica de la adopción de vehículos eléctricos en el sector del delivery de última milla. La transición hacia flotas eléctricas no solo depende de los costos asociados a la compra y mantenimiento de estos vehículos, sino también de la disponibilidad de una red de carga eficiente que permita su operación sin interrupciones.

Uno de los principales desafíos que enfrentan las empresas que buscan electrificar sus flotas es la disponibilidad de carga rápida. Dado que la mayoría de las estaciones en Chile funcionan con carga lenta (AC), los tiempos de espera prolongados pueden afectar la productividad de los vehículos, especialmente en empresas con un alto volumen de entregas diarias. La falta de estaciones de carga rápida (DC) en zonas estratégicas también representa un obstáculo, ya que obliga a los operadores a programar tiempos de recarga que podrían destinarse a la entrega de pedidos.

En términos económicos, la adopción de vehículos eléctricos implica una reducción en los costos operativos a largo plazo, debido a un menor gasto en energía y mantenimiento en



comparación con los vehículos a combustión. Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada puede generar costos indirectos, como:

- Inversión en estaciones de carga privadas, especialmente para empresas con grandes flotas.
- Pérdidas por tiempos de inactividad, debido a la necesidad de esperar largos períodos para recargar los vehículos.
- Mayor complejidad en la planificación operativa, para garantizar que los vehículos tengan acceso a carga sin afectar los tiempos de entrega.

Otro aspecto clave es la capacidad de la infraestructura de carga para soportar un crecimiento sostenido en la cantidad de vehículos eléctricos. Si bien el número de electrolinerías ha aumentado, su distribución y capacidad de carga siguen siendo factores críticos que pueden influir en la decisión de una empresa de migrar a una flota eléctrica.

La expansión de la red de carga y la implementación de incentivos para el desarrollo de estaciones de carga rápida pueden ser determinantes para mejorar la viabilidad de la transición hacia vehículos eléctricos en el sector del delivery de última milla.

5.3.5 Estrategias y Recomendaciones para Mejorar la Infraestructura

El desarrollo de una infraestructura de carga eficiente es clave para facilitar la adopción de vehículos eléctricos en el sector del delivery de última milla. Actualmente, la red de electrolinerías en Chile enfrenta desafíos en términos de cobertura, capacidad de carga y distribución estratégica, lo que limita su eficiencia para flotas comerciales. Para abordar estos problemas, es necesario implementar estrategias que permitan optimizar la infraestructura existente y fomentar su expansión en zonas estratégicas.

Ampliación de la cobertura en zonas estratégicas

Uno de los principales problemas identificados en la infraestructura de carga es la concentración de estaciones en sectores urbanos y comerciales, con menor presencia en zonas industriales, centros logísticos y comunas periféricas. Para mejorar la operatividad de los vehículos eléctricos en el delivery de última milla, se recomienda:



- Instalar nuevas electrolineras en parques industriales y centros de distribución, donde existe una alta demanda de carga para flotas comerciales.
- Desarrollar corredores de carga en rutas interurbanas y comunas periféricas, facilitando la operación de vehículos eléctricos en trayectos largos.
- Implementar incentivos para la instalación de puntos de carga en estaciones de servicio tradicionales, permitiendo un acceso más amplio a infraestructura de carga rápida.

Aumento de la capacidad de carga rápida

Dado que la mayoría de las estaciones en Chile utilizan carga lenta (AC), la expansión de cargadores rápidos (DC) es fundamental para mejorar la eficiencia operativa de los vehículos eléctricos. Algunas medidas clave incluyen:

- Incentivar la instalación de cargadores de alta potencia (DC) en electrolineras existentes, optimizando su uso para flotas comerciales.
- Establecer alianzas público-privadas para desarrollar infraestructura de carga rápida en puntos estratégicos de alta demanda.
- Fomentar la inversión en sistemas de carga ultrarrápida, que permitan tiempos de recarga mínimos para mejorar la disponibilidad de los vehículos.

Implementación de incentivos gubernamentales

El desarrollo de infraestructura de carga requiere apoyo desde el ámbito gubernamental para garantizar su crecimiento sostenido. Algunas políticas que pueden contribuir a este objetivo incluyen:

- Subsidios y financiamiento para la instalación de electrolineras en zonas con baja cobertura.
- Exenciones fiscales para empresas que inviertan en infraestructura de carga propia para sus flotas.
- Regulaciones que promuevan la integración de cargadores eléctricos en nuevos desarrollos urbanos e industriales.



Uso de tecnología para optimizar la infraestructura de carga

El acceso a la infraestructura de carga puede mejorarse mediante el uso de herramientas digitales que faciliten la gestión de la demanda y el acceso a estaciones disponibles. Entre las soluciones tecnológicas que pueden aplicarse se encuentran:

- Sistemas de gestión en tiempo real, que permitan a los operadores conocer la disponibilidad de cargadores antes de llegar a una estación.
- Aplicaciones de reserva de carga, que permitan programar sesiones de carga con anticipación para evitar tiempos de espera.
- Redes inteligentes de distribución de energía, que optimicen el uso de la infraestructura y reduzcan la carga en momentos de alta demanda.

Fomento de alianzas entre el sector privado y público

El desarrollo de infraestructura de carga puede acelerarse mediante la cooperación entre empresas privadas y organismos públicos. Algunas estrategias para fortalecer estas alianzas incluyen:

- Convenios con empresas de logística y transporte, para desarrollar electrolinerías especializadas en flotas comerciales.
- Acuerdos con operadores de carga, para garantizar disponibilidad exclusiva de estaciones para vehículos de última milla.
- Cooperación con compañías eléctricas, para asegurar un suministro estable y eficiente en las nuevas instalaciones de carga.

La implementación de estas estrategias permitirá mejorar la disponibilidad y accesibilidad de la infraestructura de carga en Chile, facilitando la transición hacia vehículos eléctricos en el sector del delivery de última milla.



5.4 Análisis del impacto económico de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile.

La adopción de vehículos eléctricos en el sector del delivery de última milla representa una transformación significativa en la logística urbana, con impactos directos en los costos operativos, la eficiencia de flotas y la sostenibilidad ambiental. Aunque la inversión inicial es considerablemente mayor en comparación con los vehículos de combustión interna, los beneficios económicos a largo plazo pueden justificar esta transición.

El presente análisis evalúa la viabilidad económica de implementar vehículos eléctricos en la última milla en Santiago de Chile, basándose en un modelo de inversión que contempla la adquisición de 50 vehículos de cada tipo y proyecta su rendimiento financiero a lo largo de 10 años. Se examinan los costos de inversión, los ahorros operacionales y el flujo de caja, determinando el punto de equilibrio estimado en el tercer año y medio.

5.4.1 Contexto y Tendencias de la Electromovilidad en Última Milla

El sector de la última milla ha experimentado un crecimiento exponencial debido al auge del comercio electrónico y la digitalización de los servicios de entrega. Esta expansión ha aumentado la demanda de soluciones logísticas más eficientes y sostenibles, impulsando la adopción de vehículos eléctricos en distintas partes del mundo.

En países como Noruega, Alemania y el Reino Unido, la electrificación de flotas de última milla ha permitido reducciones significativas en costos operativos, gracias a políticas de incentivos fiscales, subsidios a la compra de vehículos eléctricos y una infraestructura de carga bien desarrollada. En Latinoamérica, Chile ha emergido como un líder en electromovilidad, con estrategias gubernamentales que promueven la transición hacia energías limpias en el transporte.

Sin embargo, la adopción masiva de vehículos eléctricos en la última milla depende de factores económicos clave, como el acceso a financiamiento, la disponibilidad de infraestructura de carga y la comparación de costos entre tecnologías de combustión interna y eléctricas.



5.4.2 Comparación de Costos Iniciales y Operacionales

La toma de decisión en la transición hacia vehículos eléctricos en la última milla no solo depende de su impacto ambiental, sino también de la viabilidad financiera a mediano y largo plazo. Para evaluar esto, es fundamental analizar los costos de inversión inicial y los costos operativos asociados a cada tipo de vehículo, ya que estos factores determinarán la rentabilidad de la empresa y su capacidad para sostener una flota eficiente.

Inversión Inicial

El costo de adquisición es el primer obstáculo para la adopción de flotas eléctricas. En este caso, se evalúa la compra de 50 vehículos de cada tipo, lo que implica los siguientes costos:

- Vehículos de combustión interna: \$20.000.000 CLP por unidad, totalizando \$1.000.000.000 CLP.
- Vehículos eléctricos: \$30.000.000 CLP por unidad, totalizando \$1.500.000.000 CLP.

Este diferencial de \$500.000.000 CLP genera una barrera de entrada que muchas empresas deben considerar antes de adoptar vehículos eléctricos. Sin embargo, aunque la inversión inicial sea mayor, este sobre costo se ve compensado a lo largo de los años por los ahorros operativos que generan los vehículos eléctricos. Empresas con una planificación financiera a largo plazo pueden considerar que esta inversión extra se amortiza en un periodo de tiempo razonable, algo que será analizado en la proyección de flujo de caja.

Otro aspecto relevante es la necesidad de infraestructura de carga. Mientras que los vehículos de combustión interna pueden operar sin costos adicionales en cuanto a repostaje, los vehículos eléctricos pueden requerir inversiones en estaciones de carga privada o depender de la infraestructura pública, lo que podría representar una variable adicional en los costos de implementación.



Costos Operativos

Más allá del precio de compra, la rentabilidad de una flota eléctrica se mide en su capacidad de reducir costos operativos recurrentes. En este análisis se identifican dos componentes clave:

1. Costo de Combustible vs. Electricidad

- Vehículos de combustión interna: \$150.000.000 CLP anuales.
- Vehículos eléctricos: \$29.250.000 CLP anuales.
- Ahorro anual: \$120.750.000 CLP.

El ahorro en consumo energético es significativo. Esto se debe a que los vehículos eléctricos son mucho más eficientes en la conversión de energía, con un menor costo por kilómetro recorrido en comparación con los combustibles fósiles. Este ahorro se vuelve aún más evidente en contextos donde el precio de la gasolina o el diésel tiende a aumentar con el tiempo debido a factores externos como crisis energéticas, inflación o regulaciones medioambientales más estrictas.

2. Costo de Mantenimiento

- Vehículos de combustión interna: \$30.000.000 CLP anuales.
- Vehículos eléctricos: \$6.000.000 CLP anuales.
- Ahorro anual: \$24.000.000 CLP.

Los vehículos eléctricos tienen un mantenimiento considerablemente más económico debido a la reducción de piezas móviles en el tren motriz. A diferencia de los vehículos de combustión, que requieren cambios periódicos de aceite, filtros, correas y otros componentes sujetos a desgaste, los eléctricos dependen principalmente de baterías y motores eléctricos con menos desgaste mecánico.

Además, los costos de mantenimiento de los vehículos eléctricos tienden a estabilizarse con el tiempo, mientras que los vehículos de combustión pueden incrementar sus costos de reparación a medida que envejecen y acumulan más kilometraje. Este factor es clave en la planificación



financiera de las empresas, ya que reduce los gastos imprevistos y mejora la eficiencia de la operación.

El ahorro total combinado entre costos de electricidad y mantenimiento alcanza aproximadamente \$144.750.000 CLP anuales, lo que representa una reducción de costos del orden del 80% en consumo energético y 70% en mantenimiento en comparación con una flota de combustión interna.

5.4.3 Análisis de Flujo de Caja y Punto de Equilibrio

El análisis del flujo de caja es una herramienta clave para evaluar la viabilidad financiera de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery en Santiago de Chile. A través de este análisis, se pueden comparar los ingresos, costos operativos y la inversión inicial de cada tecnología para determinar en qué momento la inversión inicial es recuperada, es decir, el punto de equilibrio financiero.

El flujo de caja se ha calculado para una flota de 50 vehículos de cada tipo durante un período de 10 años, considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento. A continuación, se presentan los flujos de caja proyectados para cada opción y un análisis detallado de su impacto en la rentabilidad.

5.4.3.1 Flujo de Caja para Vehículos de Combustión Interna

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos por Operación		1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000
TOTAL INGRESOS		1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000
Inversión Inicial	-1.000.000.000										
Costo de Combustible / Electricidad		-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000	-150.000.000
Costo de Mantenimiento		-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000	-30.000.000
Utilidad Operativa		925.000.000	925.000.000	925.000.000	925.000.000	925.000.000	925.000.000	925.000.000	925.000.000	925.000.000	925.000.000
Depreciación		-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000	-153.000.000
Pago de Intereses del préstamo		-85.000.000	-78.242.111	-71.146.328	-63.695.755	-55.872.654	-47.658.398	-39.033.429	-29.977.212	-20.468.183	-10.483.704
Utilidad Bruta o Base imponible		772.000.000	772.000.000	772.000.000	772.000.000	772.000.000	772.000.000	772.000.000	772.000.000	772.000.000	772.000.000
Impuesto		-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000	-249.750.000
Utilidad Neta		522.250.000	522.250.000	522.250.000	522.250.000	522.250.000	522.250.000	522.250.000	522.250.000	522.250.000	522.250.000
Depreciación		153.000.000	153.000.000	153.000.000	153.000.000	153.000.000	153.000.000	153.000.000	153.000.000	153.000.000	153.000.000
Pago de amortización del capital		-135.157.777	-141.915.666	-149.011.450	-156.462.022	-164.285.123	-172.499.379	-181.124.348	-190.180.566	-199.689.594	-209.674.074
Préstamo bancario	1.000.000.000										
Flujo Neto de Efectivo		540.092.223	533.334.334	526.238.550	518.787.978	510.964.877	502.750.621	494.125.652	485.069.434	475.560.406	465.575.926
VNA		\$3.279.504.537									
IVAN		3.2795									

Figura 5.4: Flujo de Caja para Vehículos de Combustión Interna.

El análisis del flujo de caja para los vehículos de combustión interna muestra que la inversión inicial de \$1.000.000.000 CLP se recupera al final del segundo año, gracias a los ingresos generados por la operación. Sin embargo, a pesar de alcanzar rápidamente el punto de equilibrio, la rentabilidad a largo plazo se ve afectada por los altos costos operativos asociados al consumo de



combustible y mantenimiento, los cuales representan un gasto recurrente significativo en la flota. Esto significa que, aunque esta alternativa es más conveniente en términos de recuperación rápida de la inversión, su eficiencia financiera se ve reducida con el tiempo debido al constante aumento en costos operacionales.

5.4.3.2 Flujo de Caja para Vehículos Eléctricos

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos por Operación	-	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000
TOTAL INGRESOS		1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000	1.105.000.000
Inversión Inicial	-1.500.000.000										
Costo de Combustible / Electricidad		-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000	-29.250.000
Costo de Mantenimiento		-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000
Utilidad Operativa		1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000	1.069.750.000
Depreciación		-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000	-171.000.000
Pago de intereses del préstamo		-95.000.000	-87.447.065	-79.516.484	-71.189.374	-62.445.908	-53.265.268	-43.625.597	-33.503.942	-22.876.205	-11.717.081
Utilidad Bruta o Base imponible		898.750.000	898.750.000	898.750.000	898.750.000	898.750.000	898.750.000	898.750.000	898.750.000	898.750.000	898.750.000
Impuesto		-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500	-288.832.500
Utilidad Neta		609.917.500	609.917.500	609.917.500	609.917.500	609.917.500	609.917.500	609.917.500	609.917.500	609.917.500	609.917.500
Depreciación		171.000.000	171.000.000	171.000.000	171.000.000	171.000.000	171.000.000	171.000.000	171.000.000	171.000.000	171.000.000
Pago de Amortización del capital		-151.058.692	-158.611.627	-166.542.208	-174.869.319	-183.612.785	-192.793.424	-202.433.095	-212.554.750	-223.182.487	-234.341.612
Préstamo Bancario	1.500.000.000										
Flujo Neto de Efectivo		629.858.808	622.305.873	614.375.292	606.048.181	597.304.715	588.124.076	578.484.405	568.362.750	557.735.013	546.575.888
VAN		\$3.833.640.167,36									
IVAN		2,5558									

Figura 5.5: Flujo de Caja para Vehículos Eléctricos.

En el caso de los vehículos eléctricos, el flujo de caja evidencia que, a pesar de que la inversión inicial es un 50% superior a la de los vehículos de combustión, los ahorros operativos permiten recuperar esta inversión al final del tercer año. A partir de ese momento, los costos anuales de operación son significativamente más bajos en comparación con la alternativa de combustión, lo que se traduce en una mayor rentabilidad a mediano y largo plazo. El menor costo de electricidad frente al combustible, junto con los bajos requerimientos de mantenimiento, hacen que esta opción sea financieramente atractiva para empresas con una estrategia de optimización de costos a futuro.

5.4.3.4 Impacto del Punto de Equilibrio en la Rentabilidad a Largo Plazo

El análisis del flujo de caja muestra que el momento en el que se recupera la inversión es un factor determinante en la evaluación de la rentabilidad de cada alternativa. Si bien los vehículos de combustión interna permiten recuperar el capital en un plazo más corto (2 años), sus altos costos operacionales a lo largo del tiempo reducen su rentabilidad en comparación con los vehículos eléctricos.



Por otro lado, los vehículos eléctricos requieren un plazo más largo para recuperar la inversión inicial (3 años), pero a partir de ese momento, su estructura de costos operativos significativamente más baja genera mayores ahorros y un margen de rentabilidad superior en el mediano y largo plazo.

En términos financieros, la diferencia entre alcanzar el punto de equilibrio en 2 años vs. 3 años puede influir en la planificación de cada empresa. Para negocios que operan con presupuestos ajustados o que dependen de la recuperación rápida del capital, la opción de combustión interna puede parecer más atractiva a corto plazo. Sin embargo, para empresas que priorizan la reducción de costos operacionales sostenidos en el tiempo, la electromovilidad se presenta como una solución más eficiente y rentable en el largo plazo.

Escenarios Empresariales y Decisión de Inversión

Dependiendo del modelo de negocio, el impacto del punto de equilibrio puede variar:

- Empresas con alta rotación de vehículos (por ejemplo, flotas de arriendo o leasing) podrían inclinarse por la combustión interna si buscan una recuperación de inversión más rápida.
- Empresas con una estrategia de largo plazo y enfoque en optimización de costos encontrarán en los vehículos eléctricos una mejor alternativa, ya que su margen de rentabilidad crece con los años.

Proyección a Largo Plazo

Si bien el análisis de flujo de caja se ha realizado a 10 años, los beneficios de los vehículos eléctricos se vuelven aún más evidentes en proyecciones de 15 o 20 años. A medida que la flota envejece, los vehículos de combustión interna requieren mayores costos de mantenimiento y tienen una vida útil más corta, lo que puede generar costos adicionales por reposición de unidades. En contraste, los vehículos eléctricos, con un menor desgaste mecánico, podrían extender su vida útil y seguir generando ahorros más allá del horizonte de análisis actual.

En conclusión, la elección entre una flota de combustión interna o eléctrica dependerá de la estrategia financiera de cada empresa. Si la prioridad es la recuperación rápida del capital, la combustión interna sigue siendo una opción viable. No obstante, si el objetivo es maximizar la rentabilidad y reducir costos operacionales en el mediano y largo plazo, la electrificación de la flota representa una alternativa financieramente atractiva y sostenible.

5.4.4 Factores que Influyen en la Rentabilidad

La rentabilidad de la implementación de vehículos eléctricos en la última milla no depende únicamente de la inversión inicial y los costos operativos directos, sino también de factores externos que pueden afectar su viabilidad económica a lo largo del tiempo. Estos factores incluyen políticas gubernamentales, fluctuaciones en los costos de energía, infraestructura de carga y avances tecnológicos, los cuales pueden influir tanto positiva como negativamente en la recuperación de la inversión y la rentabilidad a largo plazo.

5.4.4.1 Factores Económicos y Políticos

Incentivos y Subsidios Gubernamentales

Uno de los elementos clave que pueden acelerar la adopción de vehículos eléctricos es la existencia de subsidios y beneficios fiscales. En Chile, el gobierno ha promovido la electromovilidad a través de medidas como:

- Exenciones de IVA en la compra de vehículos eléctricos.
- Reducción de impuestos vehiculares y tarifas preferenciales en peajes.
- Programas de financiamiento para la instalación de infraestructura de carga.

Si estas políticas se fortalecen, las empresas de delivery de última milla podrían reducir significativamente su inversión inicial, disminuyendo el tiempo de recuperación del capital y aumentando la rentabilidad de la flota eléctrica.



Regulaciones Ambientales y Restricciones a Vehículos de Combustión

A nivel global, cada vez más países están imponiendo restricciones a los vehículos de combustión interna en zonas urbanas con el objetivo de reducir la contaminación. En ciudades como Madrid, París y Londres, ya se han implementado zonas de bajas emisiones (ZBE), donde los vehículos a diésel o gasolina enfrentan restricciones de circulación o costos adicionales.

En Chile, si se establecieran regulaciones similares en Santiago, los vehículos eléctricos se volverían una alternativa más atractiva, ya que podrían operar sin restricciones en todas las áreas urbanas. Esto generaría un mayor incentivo para la adopción de flotas eléctricas por parte de empresas de delivery

5.4.4.2 Variabilidad de Costos Energéticos

Precio de la Electricidad vs. Combustibles

La rentabilidad de los vehículos eléctricos está directamente relacionada con el costo de la electricidad en comparación con los combustibles fósiles. Actualmente, el costo por kilómetro recorrido en un vehículo eléctrico es hasta un 80% menor que en un vehículo de combustión interna. Sin embargo, este beneficio podría verse afectado si:

- El precio de la electricidad aumenta debido a cambios en la matriz energética o políticas tarifarias.
- Se aplican nuevos impuestos a la energía eléctrica utilizada en movilidad.
- El precio del diésel y la gasolina disminuye de manera significativa.

Por otro lado, si el costo de los combustibles fósiles sigue aumentando debido a regulaciones ambientales o a la reducción de subsidios al diésel, la ventaja de los vehículos eléctricos se fortalecería aún más.



Tarifas Horarias de Carga y Planes de Energía

El costo de operar una flota eléctrica también está influenciado por las tarifas horarias de carga. En algunos países, los proveedores de energía ofrecen tarifas reducidas en horarios nocturnos, lo que puede disminuir significativamente el costo de la recarga si las empresas gestionan correctamente sus tiempos de carga.

En Chile, si se implementan tarifas diferenciadas para incentivar la electromovilidad, las empresas de delivery podrían beneficiarse de costos energéticos aún más bajos, mejorando su rentabilidad y reduciendo el tiempo de recuperación de la inversión.

5.4.4.3 Infraestructura de Carga y su Efecto en Costos Operativos

Disponibilidad de Estaciones de Carga Rápida

La rentabilidad de los vehículos eléctricos en la última milla también depende de la disponibilidad y distribución de la infraestructura de carga. En la actualidad, la mayoría de las estaciones de carga en Chile están concentradas en la Región Metropolitana y en ciertas ciudades principales, dejando varias zonas industriales y logísticas sin acceso a puntos de carga rápida.

Si la infraestructura de carga no se expande lo suficiente, las empresas de delivery podrían enfrentar:

- Pérdidas de tiempo operativo debido a la necesidad de cargar los vehículos en estaciones alejadas.
- Costos adicionales por la instalación de cargadores propios en sus centros de distribución.

Por otro lado, si la red de electrolineras sigue creciendo y se instalan más puntos de carga rápida en zonas estratégicas, los vehículos eléctricos podrían operar con mayor eficiencia, reduciendo costos y maximizando su rentabilidad.



Costo de Instalar Infraestructura Privada

Para evitar depender completamente de la infraestructura pública, muchas empresas optan por instalar cargadores privados en sus instalaciones. Sin embargo, esta inversión inicial puede representar un costo adicional significativo, dependiendo de factores como:

- El tipo de cargador (carga lenta, semirrápida o rápida).
- La capacidad eléctrica del recinto y la necesidad de modificaciones en la red.

A pesar de este costo adicional, contar con infraestructura propia de carga puede ser una estrategia rentable a largo plazo, ya que permite gestionar la energía de manera más eficiente y evitar costos variables asociados al uso de estaciones públicas.

5.4.4.4 Avances Tecnológicos y su Influencia en Costos Futuros

Evolución en la Tecnología de Baterías

Uno de los mayores factores de costo en los vehículos eléctricos es la batería. Sin embargo, la tecnología ha avanzado significativamente en los últimos años, con reducciones en costos y mejoras en eficiencia. Algunas proyecciones indican que:

- Las baterías de estado sólido podrían reemplazar a las actuales de ion-litio, reduciendo costos y aumentando la autonomía.
- La capacidad de almacenamiento de energía ha mejorado, permitiendo que los vehículos eléctricos recorran más kilómetros con una sola carga.

Si estos avances continúan, es probable que los costos de los vehículos eléctricos disminuyan en los próximos años, haciendo que su adopción sea aún más atractiva desde un punto de vista financiero.



Mayor Autonomía y Eficiencia

Las nuevas generaciones de vehículos eléctricos están logrando mayores autonomías por carga, lo que reduce la necesidad de recargas frecuentes y aumenta la eficiencia operativa. Esto es particularmente relevante en el sector de la última milla, donde la optimización de tiempos es clave para la rentabilidad de las empresas.

Con la continua evolución de la tecnología y la expansión de la infraestructura de carga, los vehículos eléctricos se consolidan como una alternativa cada vez más viable para la logística de última milla. Sin embargo, la adopción de esta tecnología seguirá dependiendo de factores económicos, regulatorios y tecnológicos, los cuales definirán su competitividad en los próximos años.

5.5 Propuesta de recomendaciones para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del servicio de delivery de última milla en Santiago de Chile, con énfasis en la transición hacia una flota de vehículos eléctricos y la superación de los desafíos identificados

5.5.1 Introducción a la necesidad de mejorar la eficiencia y sostenibilidad

El crecimiento del comercio electrónico y la demanda de entregas rápidas han convertido la logística de última milla en un desafío clave para las empresas de distribución. Este sector, caracterizado por la alta frecuencia de viajes y el uso intensivo de vehículos, enfrenta problemas relacionados con costos operacionales elevados, congestión urbana y emisiones de gases contaminantes.

En este contexto, la transición hacia flotas de vehículos eléctricos representa una solución viable y sostenible, ya que permite reducir costos operativos a largo plazo, disminuir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia del servicio. Sin embargo, la adopción de esta tecnología aún enfrenta barreras como la inversión inicial elevada, la disponibilidad de infraestructura de carga y la necesidad de adecuar los modelos operativos a las nuevas condiciones de movilidad eléctrica.

Para que la electromovilidad sea una alternativa realmente viable en el sector del delivery de última milla en Santiago de Chile, es necesario implementar estrategias que permitan optimizar la eficiencia operativa, reducir costos y superar los desafíos identificados en este estudio.



En los siguientes apartados, se presentan recomendaciones orientadas a mejorar la planificación financiera, la gestión de la infraestructura de carga y la operatividad de los vehículos eléctricos, asegurando así una transición efectiva y sostenible hacia esta tecnología.

5.5.2 Estrategias para optimizar la transición hacia flotas eléctricas

La adopción de flotas eléctricas en el delivery de última milla en Santiago de Chile requiere una planificación estratégica que garantice la viabilidad económica y operativa del cambio. Para ello, es fundamental implementar estrategias de inversión, gestión de infraestructura y aprovechamiento de incentivos gubernamentales que faciliten la transición y reduzcan los desafíos asociados.

5.5.2.1 Planificación financiera y modelos de inversión

Uno de los principales obstáculos para la adopción de vehículos eléctricos es la mayor inversión inicial en comparación con los vehículos de combustión interna. Para mitigar este impacto, se pueden considerar diferentes modelos financieros que faciliten la adquisición de flotas eléctricas sin comprometer la liquidez de las empresas:

- **Arrendamiento operativo o leasing:** Permite a las empresas usar vehículos eléctricos sin necesidad de adquirirlos, reduciendo la inversión inicial y distribuyendo los costos en el tiempo.
- **Modelos de financiamiento con tasas preferenciales:** Algunas instituciones financieras ofrecen créditos verdes con tasas de interés más bajas para la compra de vehículos eléctricos.
- **Compra escalonada de flotas:** Implementar un plan de renovación progresiva en el que se incorporen vehículos eléctricos de manera paulatina, reduciendo el impacto económico inicial y permitiendo ajustes operacionales antes de una adopción total.
- **Evaluación de costos totales (TCO):** Las empresas deben considerar no solo el costo de compra, sino también los ahorros en operación y mantenimiento, lo que demuestra que la inversión en vehículos eléctricos se amortiza en pocos años.

5.5.2.2 Gestión eficiente de la infraestructura de carga

La infraestructura de carga es un elemento crítico en la operación de flotas eléctricas, ya que una mala planificación puede generar tiempos de inactividad y costos adicionales. Para optimizar su uso, se recomienda:

- Identificación de puntos de carga estratégicos: Ubicar estaciones de carga en zonas clave cercanas a centros de distribución y rutas principales de entrega.
- Uso de estaciones de carga rápida: Reducen significativamente el tiempo de recarga y mejoran la disponibilidad operativa de los vehículos eléctricos.
- Instalación de cargadores en centros logísticos: Permite una carga planificada fuera de los horarios de operación, evitando tiempos de espera en estaciones públicas.
- Desarrollo de acuerdos con proveedores de energía: Negociar tarifas especiales para carga nocturna o en horarios de menor demanda eléctrica.

5.5.2.3 Incentivos y políticas empresariales

El aprovechamiento de incentivos gubernamentales y la implementación de políticas internas pueden acelerar la transición hacia flotas eléctricas:

- Aprovechamiento de subsidios y beneficios fiscales: En Chile, existen incentivos como exenciones de impuestos y financiamiento para la electromovilidad, que pueden reducir la inversión inicial.
- Creación de políticas empresariales de sostenibilidad: Establecer metas de reducción de emisiones de carbono y eficiencia energética dentro de la empresa.
- Monitoreo de desempeño y optimización operativa: Implementar herramientas de análisis de datos para evaluar el impacto de los vehículos eléctricos y mejorar su desempeño.

La combinación de estas estrategias permitirá a las empresas reducir la incertidumbre financiera, optimizar la operatividad y hacer viable la adopción de flotas eléctricas en la última milla.



5.5.3 Recomendaciones para mejorar la operatividad y reducir costos

Para maximizar la eficiencia y rentabilidad de las flotas eléctricas en la última milla, es fundamental implementar estrategias que optimicen la operatividad diaria y reduzcan los costos asociados a su uso. Estas estrategias incluyen el uso de herramientas tecnológicas para la gestión de rutas, la implementación de estrategias de carga inteligente y la capacitación del personal, garantizando un uso eficiente de los vehículos y una reducción significativa en costos operacionales.

5.5.3.1 Uso de herramientas tecnológicas para la gestión de rutas

La eficiencia operativa de una flota de última milla depende en gran medida de la planificación de rutas y la optimización del consumo energético. Para ello, se recomienda el uso de software y plataformas especializadas en logística que permitan:

- Optimización de rutas en tiempo real: Sistemas de gestión de flotas pueden calcular las rutas más eficientes, reduciendo el consumo de energía y maximizando la cantidad de entregas por recorrido.
- Integración de datos de tráfico y disponibilidad de carga: La conectividad con plataformas de monitoreo de tráfico permite ajustar las rutas para evitar congestión y mejorar los tiempos de entrega.
- Monitoreo del estado de batería y autonomía: Herramientas de telemetría permiten gestionar la autonomía de los vehículos en tiempo real y programar cargas sin afectar la operatividad.

5.5.3.2 Estrategias de carga inteligente

Una gestión eficiente de la carga es clave para evitar tiempos de inactividad y reducir costos operacionales. Se recomienda:

- Carga en horarios de menor demanda: Recargar los vehículos en horarios donde las tarifas eléctricas sean más bajas puede generar ahorros significativos en el costo de operación.



- Carga programada y por turnos: Para flotas grandes, se recomienda distribuir la carga de los vehículos en diferentes horarios para evitar sobrecarga en la infraestructura y garantizar la disponibilidad de energía.
- Uso de sistemas de carga bidireccional (V2G): En el futuro, la tecnología Vehicle-to-Grid (V2G) permitirá que los vehículos eléctricos devuelvan energía a la red cuando no estén en uso, generando ingresos adicionales para las empresas.

5.5.3.3 Capacitación del personal en conducción eficiente y mantenimiento

La eficiencia de una flota eléctrica también depende del comportamiento de los conductores y del mantenimiento preventivo de los vehículos. Para ello, se recomienda:

- Capacitación en conducción eficiente: El uso correcto de los vehículos eléctricos puede extender la autonomía de la batería y reducir el desgaste de componentes clave. Se debe instruir a los conductores en técnicas como la frenada regenerativa, la conducción a velocidades óptimas y la reducción de aceleraciones bruscas.
- Talleres sobre mantenimiento preventivo: Aunque los vehículos eléctricos tienen menos piezas móviles que los de combustión, es necesario un mantenimiento adecuado de baterías, sistemas de carga y neumáticos para prolongar su vida útil.
- Monitoreo del desempeño de los conductores: La implementación de sistemas de telemetría y seguimiento permite evaluar la eficiencia de cada conductor y corregir hábitos que aumenten el consumo de energía.

5.5.4 Medidas para superar los desafíos identificados

A lo largo del análisis, se han identificado diversos desafíos que pueden dificultar la transición hacia una flota de vehículos eléctricos en el servicio de delivery de última milla en Santiago de Chile. Estos incluyen la falta de infraestructura de carga, la logística en zonas con menor cobertura de electrolinerías y la dependencia de la red pública de carga. Para superar estos obstáculos, es necesario implementar estrategias específicas que permitan optimizar la operación de las flotas eléctricas y garantizar su viabilidad económica y operativa.



5.5.4.1 Expansión de la infraestructura de carga en zonas clave

Uno de los principales retos para la adopción de vehículos eléctricos en la última milla es la limitada disponibilidad de estaciones de carga en ciertas áreas. Para resolver esto, se recomienda:

- Desarrollo de infraestructura de carga en centros logísticos: Las empresas pueden instalar estaciones de carga privadas en sus propios centros de distribución, reduciendo la dependencia de la red pública y optimizando los tiempos de recarga.
- Acuerdos con estaciones de servicio y comercios locales: Establecer convenios con estaciones de carga privadas, supermercados o centros comerciales para permitir la recarga de vehículos en horarios estratégicos.
- Participación en políticas públicas de expansión de infraestructura: Las empresas pueden colaborar con organismos gubernamentales y privados para incentivar la instalación de más electrolineras en zonas estratégicas de la ciudad.

5.5.4.2 Soluciones para la logística en zonas con menor cobertura de electrolineras

La operación de flotas eléctricas puede verse afectada en zonas donde la infraestructura de carga aún es insuficiente. Para enfrentar esta situación, se pueden implementar las siguientes estrategias:

- Uso de vehículos con mayor autonomía en rutas de baja cobertura: Priorizar la asignación de modelos eléctricos con mayor capacidad de batería a zonas con menor acceso a carga.
- Carga intermedia en puntos de entrega estratégicos: Identificar estaciones de carga ubicadas en puntos clave dentro de la ruta para programar cargas parciales sin afectar la operación.
- Planes de contingencia para recarga de emergencia: Contar con cargadores móviles o estaciones temporales en zonas críticas puede permitir continuar con las operaciones sin interrupciones.



5.5.4.3 Estrategias para reducir la dependencia de la red pública de carga

Si bien la infraestructura pública de carga es un elemento clave en la transición a vehículos eléctricos, depender exclusivamente de ella puede generar problemas operativos y costos adicionales. Para mitigar este riesgo, se recomienda:

- Inversión en infraestructura de carga propia: Empresas con flotas medianas o grandes pueden beneficiarse de la instalación de estaciones de carga privadas en sus instalaciones, reduciendo costos y tiempos de espera.
- Uso de energías renovables para la carga: Implementar paneles solares en centros logísticos para generar energía propia y reducir la dependencia de la red eléctrica.
- Carga nocturna programada: Aprovechar las tarifas reducidas de electricidad en horarios de menor demanda para disminuir costos operativos y evitar congestión en estaciones de carga públicas.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación permitió evaluar la viabilidad técnico-económica de la implementación de vehículos eléctricos en el servicio de delivery de última milla en Santiago de Chile, considerando los costos operativos, la infraestructura de carga disponible y los factores económicos asociados. A partir del análisis realizado, se obtuvo una serie de hallazgos relevantes que permiten establecer conclusiones y recomendaciones en torno a la transición hacia una flota más sostenible.

Los resultados evidenciaron que los vehículos eléctricos presentan costos operativos significativamente menores en comparación con los vehículos de combustión interna, con una reducción del gasto en energía y mantenimiento del orden del 70-80%. No obstante, la inversión inicial requerida para la adquisición de flotas eléctricas sigue siendo una barrera relevante, dado que el costo unitario de un vehículo eléctrico supera en aproximadamente un 25-35% al de su contraparte de combustión interna. A pesar de ello, el análisis de flujo de caja indicó que el punto de equilibrio financiero para los vehículos de combustión interna se alcanza hacia el final del segundo año de operación, mientras que para los vehículos eléctricos este se logra casi al finalizar el tercer año, lo que sugiere que la transición a la electromovilidad es viable a mediano y largo plazo. Sin embargo, a medida que los costos de los vehículos eléctricos continúen disminuyendo y se equiparen con los de combustión interna, la adopción de esta tecnología será aún más conveniente, eliminando la barrera económica inicial y facilitando la migración de flotas logísticas hacia modelos eléctricos.

Por otro lado, se identificó que la infraestructura de carga en Santiago de Chile, si bien ha experimentado un crecimiento sostenido, aún presenta limitaciones en cobertura geográfica y capacidad de carga rápida. La concentración de electrolinerías en sectores urbanos centrales representa un desafío para la operatividad eficiente de flotas eléctricas, especialmente en zonas industriales y periurbanas donde la demanda de carga es alta. Asimismo, la escasez de incentivos económicos directos y subsidios para la adquisición de vehículos eléctricos en el sector logístico limita la velocidad de adopción de esta tecnología.

A partir de estos hallazgos, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. **Expansión de la infraestructura de carga:** Se sugiere fomentar el desarrollo de



estaciones de carga rápida en puntos estratégicos, incluyendo centros logísticos, parques industriales y comunas periféricas. La ampliación de la red de electrolinerías permitiría reducir tiempos de inactividad y mejorar la operatividad de las flotas eléctricas.

2. **Incentivos gubernamentales y financiamiento:** Se recomienda establecer programas de subsidios y beneficios fiscales para la adquisición de vehículos eléctricos destinados al servicio de delivery, así como incentivos para la instalación de infraestructura de carga privada por parte de empresas logísticas.
3. **Optimización del uso de tecnologías:** La implementación de sistemas de gestión de flotas, inteligencia artificial y optimización de rutas permitiría maximizar la eficiencia de los vehículos eléctricos, reduciendo costos operativos y mejorando la distribución de la demanda de carga.
4. **Promoción de alianzas público-privadas:** Se recomienda fomentar la colaboración entre el sector privado y organismos gubernamentales para desarrollar proyectos de infraestructura de carga y esquemas de financiamiento que faciliten la transición hacia la electromovilidad en la última milla.
5. **Evaluación continua y ajuste de estrategias:** Se sugiere la implementación de mecanismos de monitoreo y análisis de impacto para evaluar el desempeño de las flotas eléctricas en términos de costos, eficiencia y rentabilidad, permitiendo realizar ajustes en las estrategias adoptadas según las necesidades del sector.

En síntesis, la transición hacia flotas de vehículos eléctricos en el servicio de delivery de última milla en Santiago de Chile representa una oportunidad viable, siempre que se implementen políticas adecuadas para superar las barreras identificadas. La combinación de incentivos económicos, desarrollo de infraestructura y adopción de tecnologías emergentes será clave para acelerar este proceso y garantizar su éxito en el mediano y largo plazo.



BIBLIOGRAFÍA

1. Amazon. (2020). Amazon expands electric vehicle fleet to combat climate change. Recuperado de: <https://www.aboutamazon.eu/news/transportation/amazon-to-invest-more-than-1-billion-to-electrify-its-european-transportation-network-and-reduce-carbon-emissions>
2. Chilexpress. (2021). Chilexpress avanza en la implementación de vehículos eléctricos en sus operaciones de última milla. Recuperado de: <https://www.diariosustentable.com/2022/08/chilexpress-presenta-la-flota-electrica-mas-grande-de-la-industria-para-seguir-avanzando-en-su-meta-de-carbono-neutralidad-en-2035/>
3. Correos de Chile. (2023). Correos de Chile anuncia plan piloto para la adopción de vehículos eléctricos. Recuperado de: <https://www.correos.cl/sostenibilidad>
4. DHL. (2021). Hoja de ruta para acelerar la descarbonización: Deutsche Post DHL Group invertirá 7.000 millones de euros en logística climáticamente neutra hasta 2030. Recuperado de: <https://www.dhl.com/es-es/home/prensa/archivo-de-prensa/archivo-de-prensa/hoja-de-ruta-acelerada-hacia-la-descarbonizacion.html>
5. DPDgroup. (2021). GeoPost/DPDgroup da un paso más en la lucha contra el cambio climático y presenta su objetivo de cero emisiones netas a la Science Based Target initiative. Recuperado de: <https://saladeprensa.seur.com/2022/07/13/geopost-dpdgroup-da-un-paso-mas-en-la-lucha-contr-el-cambio-climatico-y-presenta-su-objetivo-de-cero-emisiones-netas-a-la-science-based-target-initiative/>
6. Starken. (2023). Programa piloto de movilidad eléctrica en colaboración con startups. Recuperado de: <https://www.agenciase.org/2024/08/08/acceleradora-de-electromovilidad-2024-seis-nuevas-organizaciones-se-comprometen-a-trabajar-en-movilidad-sostenible/>
7. UPS. (2020). Vehículos eléctricos. Recuperado de: <https://about.ups.com/us/es/our-impact/sustainability/sustainable-services/electric-vehicles---about-ups.html>



8. Agencia Internacional de Energía (IEA). (2020). Transporte. Recuperado de: <https://www.iea.org/energy-system/transport>
9. Gómez, R. (2021). Desafíos y oportunidades en la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery.
10. U.S. Department of Energy. (2020). Electric Vehicle Efficiency. Recuperado de: <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric>
11. U.S. Environmental Protection Agency. (2021). Electric Vehicle Greenhouse Gas Emissions. Recuperado de: <https://www.epa.gov/greenvehicles/electric-vehicle-myths>
12. Subirats, J. (2012). Análisis de políticas públicas y eficacia de la administración. Recuperado de: <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGTS/MGTS14/MGTSV-05/semana1/Subirats.pdf>
13. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2020). Estrategias y avances en la promoción de la electromovilidad. Recuperado de: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio%2F10221%2F32602%2F1%2FEstrategias_y_avances_en_la_promocion_de_la_electromovilidad_VF.pdf
14. Mayor of London. (2020). Electric Vehicle Infrastructure. Recuperado de: <https://www.london.gov.uk/programmes-and-strategies/environment-and-climate-change/pollution-and-air-quality/electric-vehicle-infrastructure>
15. Agencia Internacional de Energía (IEA). (2021). Electric Vehicles. Recuperado de: <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>
16. Smith, A. & Brown, C. (2021). Reducing Urban Noise through Electric Vehicles: A Study of Noise Pollution Levels.
17. California Air Resources Board. (2022). Zero-Emission Vehicle Program. Recuperado de: <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program>
18. CATL. (2022). Sustainability. Recuperado de: <https://www.catl.com/en/about/sustainability/>



19. Li-Cycle. (2021). Innovations in Lithium-Ion Battery Recycling.
Recuperado de: <https://www.li-cycle.com/innovation/recycling>
20. López, J. (2020). "Impacto ambiental de la adopción de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery."
21. Martínez, A., García, M., & Fernández, P. (2019). "Análisis económico de la implementación de flotas de entrega eléctrica en el servicio de delivery."
22. Gómez, R. (2021). "Desafíos y oportunidades en la implementación de vehículos eléctricos en la última milla del servicio de delivery."
23. Cancino R. (2021). Evaluación técnico-económica de la implementación de almacenamiento de hidrógeno para la intermitencia en centrales solares.
24. Morales Y. (2022). Producción de hidrógeno de Afifelia marina utilizando residuos industriales como sustrato.
25. Aguirre Toledo, C. (2018). Estudio para establecer un emprendimiento en análisis de datos y Business Intelligence.
26. Bermeo-Moyano, D., & Alfredo Campoverde-Molina, M. (2020). Implementación de Data Mart, en Power Bi, para el análisis de ventas a clientes en los Econegocios "Gransol".
27. Alvarez Gonzaga, B. R. (2021). Análisis comparativo de técnicas de minería de datos aplicadas a business intelligence.
28. Espinosa, M. (2023, 26 de mayo). Mercado Libre instalará 30 puntos de carga eléctrica en su centro de última milla en Renca. Diario Sustentable.
<https://www.diariosustentable.com/2022/04/mercado-libre-y-enel-se-unen-para-instalar-30-puntos-de-carga-electrica-en-centro-de-ultima-milla-en-renca>
29. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (2012). Internet de las Cosas (IoT).
Recuperado de: <https://www.itu.int/es/ITU-T/techwatch/Pages/internetofthings.aspx>
30. Ministerio de Fomento. (2011). Planificación urbana y logística.
Recuperado de: <https://www.mitma.gob.es>
31. Comisión Nacional de Energía (CNE). (s.f.). Precios de Combustibles.
Recuperado de: <https://www.cne.cl>



32. Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). (s.f.). Tarifas de Electricidad.
Recuperado de: <https://www.sec.cl>
33. Ministerio de Energía de Chile. (s.f.). EcoCarga: Infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Chile. Gobierno de Chile. Recuperado el 16 de marzo de 2025, de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/ecocarga>
34. Nissan. (s.f.). Nissan e-NV200 Specifications.
Recuperado de: <https://www.nissan.co.uk/vehicles/new-vehicles/e-nv200.html>
35. Consumer Reports. (2021). Cost of Car Ownership.
Recuperado de: <https://www.consumerreports.org/cars/car-maintenance/car-maintenance-and-repair-costs-a5202381081/>
36. Maxus Chile. (s.f.). Maxus eDeliver 3. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://maxus.cl/w/edeliver-3>
37. Grupo Seligrat. (s.f.). Maxus eDeliver 3 LWB 35 kWh. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://www.gruposeligrat.com/autoplanet-vehiculos-detalle/maxus-edeliver-3-lwb-35-kwh>
38. Maxus Automotive España. (s.f.). Furgoneta eléctrica Maxus eDeliver 3. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://www.maxus-automotive.es/furgoneta-electrica-edeliver-3>
39. Forcenter Chile. (s.f.). Ford Transit Custom. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://forcenter.cl/modelo/transit-custom>
40. Ford Chile. (s.f.). Ficha Técnica Ford Transit Custom. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://www.ford.cl/comercial/transit-custom>
41. Renault Colombia. (s.f.). Renault Kangoo E-Tech Especificaciones. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://www.renault.com.co/electricos/kangoo-e-tech/especificaciones.html>
42. Motor1. (s.f.). Ficha Técnica Renault Kangoo E-Tech. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://cdn.motor1.com/pdf-files/ficha-kangoo.pdf>
43. Ecomovilidad. (2021). *Guía para la Infraestructura de Carga Pública*. Recuperado de <https://www.ecomovilidad.cl/wp-content/uploads/2021/11/Guia-para-la-infraestructura-de-carga-publica-VF.pdf>



44. Ecomovilidad. (2022). *Análisis de costos de la infraestructura de carga*. Recuperado de <https://www.ecomovilidad.cl/wp-content/uploads/2022/12/Analisis-de-costos-de-la-infraestructura-de-carga-version-2022-1.pdf>
45. Latam Mobility. (2025). Chile adelanta la regulación de infraestructura de carga. Recuperado de <https://latamobility.com/chile-adelanta-la-regulacion-de-infraestructura-de-carga/>
46. Ministerio de Energía de Chile. (s.f.). *Cargadores públicos y privados para vehículos eléctricos*. Recuperado de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/sistemas-de-carga/cargadores-publicos-y-privados>
47. Ministerio de Energía de Chile. (s.f.). *Información de cargadores para vehículos eléctricos*. Recuperado de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/sistemas-de-carga>
48. Pereda, J. (2022). *Infraestructura de carga: El gran desafío de la electromovilidad*. Clase Ejecutiva UC. Recuperado de <https://www.claseejecutiva.uc.cl/blog/articulos/infraestructura-de-carga-electromovilidad/>
49. The Logistics World. (2024). *¿Revolucionarán los vehículos eléctricos la logística de última milla?* Recuperado de <https://thelogisticsworld.com/logistica-y-distribucion/revolucionaran-los-vehiculos-electricos-la-logistica-de-ultima-milla/>