



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN

ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA ACTUAL
INFRAESTRUCTURA DE CARGA PARA VEHICULOS ELECTRICOS (VE) EN
COPIAPÓ

Profesor Guía: Carlos Calderón Rojas

Claudio Antonio Rojas Iriarte

Jorge Alexis Pérez Romero

Copiapó, Chile 2025



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN

ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA ACTUAL
INFRAESTRUCTURA DE CARGA PARA VEHICULOS ELECTRICOS (VE) EN
COPIAPÓ

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero de Ejecución en Administración de Empresas.

Profesor Guía: Carlos Calderón Rojas

Claudio Antonio Rojas Iriarte

Jorge Alexis Pérez Romero

Copiapó, Chile 2025

UNIVERSIDAD DE ATACAMA
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y ECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

**ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA ACTUAL
INFRAESTRUCTURA DE CARGA PARA VEHICULOS ELECTRICOS (VE) EN
COPIAPÓ**

Autor(es): Claudio Rojas Iriarte – Jorge Pérez Romero
Profesor Guía: Carlos Calderón Rojas

Profesor Guía:

Nombre – Firma – Calificación

Profesor Comisión:

Nombre – Firma – Calificación

Profesor Comisión:

Nombre – Firma – Calificación

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, por su apoyo incondicional y por acompañarnos en cada etapa de este camino académico y personal.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Atacama y al Departamento por brindarnos las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo.

A nuestro profesor guía, Carlos Calderón Rojas, por su orientación y disposición durante el proceso.

A nuestras familias, por su apoyo constante y acompañarnos en cada etapa de nuestra formación.

Finalmente, agradecemos a quienes contribuyeron directa o indirectamente a la realización de este estudio.

Tabla de contenido

CAPITULO I.....	1
MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo General	1
1.3 Objetivos Específicos	1
1.4 Planteamiento del problema	2
CAPITULO II.....	4
MARCO TEORICO	4
2.1 Conceptos Fundamentales de Electromovilidad	4
2.2 Adopción Tecnológica y Percepción del Usuario	6
2.3 Beneficios Ambientales y Sociales	8
2.4 Estado Actual de la Electromovilidad en Chile	11
2.5 Transición Energética y Marco Normativo	11
2.6 Políticas Públicas Nacionales	13
2.7 Tipos de Vehículos Eléctricos.....	14
2.7.1 BEV (Battery Electric Vehicle).....	15
2.7.2 PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).....	15
2.7.3 HEV (Hybrid Electric Vehicle).....	15
2.8 Tecnologías de Carga para Vehículos Eléctricos	15
2.8.1 Tipos de carga	16
2.8.2 Clasificación IEC	16
2.8.3 Estándares de conectores	16
2.8.4 Charge Point Operator (CPO).....	16
2.8.5 Protocolos de comunicación	17
2.8.6 Backend y gestión.....	17
2.9 Energía Solar Fotovoltaica y Electromovilidad	17
2.9.1 Principios.....	17
2.9.2 Tipos de paneles	17
2.9.3 Radiación solar en Copiapó	18
2.9.4 Inversores.....	18
2.10 Requisitos Técnicos y Capacidad Eléctrica en Copiapó	18

2.11 Modelos de Negocio para Centros de Carga	18
2.12 Modelos Internacionales de Electrolineas	21
2.13 Interoperabilidad en Electromovilidad	22
2.14 Tecnologías de la Información en Electromovilidad	23
2.15 Contexto Regional: Atacama como Territorio Estratégico	25
2.16 Baterías Eléctricas	26
CAPÍTULO III	27
METODOLOGÍA	27
3.1 Enfoque Metodológico General	27
3.2 Fases de la Metodología	27
3.2.1 Revisión Bibliográfica y Construcción del Marco Teórico	27
3.2.2 Análisis de la Infraestructura Eléctrica Existente en Copiapó	28
3.2.3 Identificación y Evaluación de Tecnologías de Carga	28
3.2.4 Análisis Normativo y Regulatorio	28
3.3 Técnicas de Recolección de Datos	29
3.3.1 Revisión Documental	29
3.3.2 Análisis de Datos Técnicos	29
3.3.3 Visitas a Terreno	29
CAPÍTULO IV	30
ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	30
4.1 Contexto Nacional y Regional de la Electromovilidad	30
4.2 Análisis por Tipo de Vehículo	30
4.2.1 Buses Eléctricos (Transporte Público Mayor)	30
4.2.2 Taxis y Colectivos Eléctricos	31
4.2.3 Vehículos Eléctricos Privados	31
4.2.4 Vehículos de Carga e Industriales	31
4.3 Tabla Resumen del Parque Vehicular Eléctrico en Atacama	32
4.4 Evolución Histórica del Parque Eléctrico en Atacama	33
4.5 Comportamiento del Consumidor y Percepción Ciudadana	33
4.6 Aprovechamiento de los Vehículos Eléctricos	33
4.7 Integración con el Sistema Eléctrico Regional	34
4.8 Justificación para la Instalación de Nuevas Electrolineas	34
4.9 Proyección del Parque de Vehículos Eléctricos en Atacama (2024–2035)	35

4.10 Desarrollo de los Objetivos Específicos	36
CAPÍTULO V	37
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
5.1 Relación entre los Resultados y el Marco Teórico	37
5.2 Comparación entre Tecnologías de Carga y Condiciones Locales	37
5.3 Infraestructura Eléctrica y Desafíos de Integración	38
5.4 Percepción Ciudadana y Comportamiento del Consumidor	38
5.5 Justificación de la Expansión de Electrolineras	39
5.6 Análisis de Proyecciones 2024–2035	40
5.7 Limitaciones del Estudio	40
5.8 Implicancias para la Región de Atacama	41
CAPÍTULO VI	42
CONCLUSIONES	42
6.1 Conclusión General	42
6.2 Conclusiones por Objetivo Específico	42
6.3 Conclusiones sobre el Comportamiento del Consumidor y la Percepción Ciudadana	43
6.4 Conclusiones sobre la Proyección del Parque Vehicular Eléctrico	44
6.5 Conclusiones sobre la Necesidad de Infraestructura de Carga	44
6.6 Reflexión Final	45
Anexos	46
Bibliografía	48

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad abordar la creciente necesidad de infraestructura de carga para vehículos eléctricos (VE) en la Región de Atacama, específicamente en la ciudad de Copiapó, en el contexto de la transición energética y la estrategia nacional de electromovilidad de Chile. A pesar del alto potencial solar de la región y del creciente interés en la electromovilidad, Copiapó carece de centros de carga que integren tecnologías eficientes, energías renovables y modelos de gestión innovadores.

El estudio analiza el estado actual de la infraestructura disponible, la normativa vigente y las proyecciones de crecimiento del parque vehicular eléctrico a nivel regional. Asimismo, se evalúan las condiciones técnicas, económicas y ambientales necesarias para la implementación de un centro de carga que permita responder a la demanda futura, considerando factores como la disponibilidad de energía solar, la capacidad de la red eléctrica local y los requerimientos de potencia asociados a distintos tipos de cargadores.

La metodología utilizada contempla una revisión documental de fuentes oficiales, estudios sectoriales y normativas aplicables, complementada con un análisis comparativo de experiencias nacionales e internacionales. A partir de esta información, se identifican brechas, oportunidades y criterios de diseño que orientan la propuesta de un modelo de infraestructura de carga adaptable a las condiciones de Copiapó.

Los resultados permiten concluir que la ciudad presenta un alto potencial para el desarrollo de infraestructura de carga sustentada en energías renovables, pero requiere planificación estratégica, inversión pública–privada y una adecuada coordinación con los actores del sector energético. Finalmente, se propone un conjunto de lineamientos que contribuyen a la toma de decisiones para la implementación de soluciones de carga eficientes, sostenibles y alineadas con los objetivos de la electromovilidad en Chile.

ELECTROMOVILIDAD – INFRAESTRUCTURA DE CARGA

ABSTRACT

This research aims to address the growing need for electric vehicle (EV) charging infrastructure in the Atacama Region, specifically in the city of Copiapó, within the framework of Chile's energy transition and national electromobility strategy. Despite the region's high solar potential and the increasing interest in electromobility, Copiapó lacks charging centers that incorporate efficient technologies, renewable energy sources, and innovative management models.

The study analyzes the current state of available infrastructure, the applicable regulatory framework, and the projected growth of the regional electric vehicle fleet. It also evaluates the technical, economic, and environmental conditions required for the implementation of a charging center capable of meeting future demand, considering factors such as solar energy availability, the capacity of the local electrical grid, and the power requirements associated with different types of chargers.

The methodology includes a documentary review of official sources, sectoral studies, and relevant regulations, complemented by a comparative analysis of national and international experiences. Based on this information, gaps, opportunities, and design criteria are identified to guide the development of a charging infrastructure model adapted to the conditions of Copiapó.

The results indicate that the city has significant potential for the development of charging infrastructure supported by renewable energy; however, it requires strategic planning, public-private investment, and effective coordination with key actors in the energy sector. Finally, a set of guidelines is proposed to support decision-making for the implementation of efficient, sustainable charging solutions aligned with Chile's electromobility objectives.

ELECTROMOBILITY – CHARGING INFRASTRUCTURES

CAPITULO I

MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Introducción

La movilidad eléctrica se ha consolidado como un eje estratégico dentro de la transición energética global y nacional, enmarcada en la Estrategia Nacional de Electromovilidad y los compromisos de descarbonización de Chile. En este escenario, Copiapó emerge como un territorio con ventajas comparativas únicas: su elevada radiación solar, su condición de capital regional y su creciente dinamismo urbano la posicionan como un laboratorio idóneo para el despliegue de infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Sin embargo, la ausencia de electrolinerías y sistemas de gestión energética avanzados constituye una barrera crítica que limita la adopción masiva de esta tecnología.

Este informe se orienta a analizar la factibilidad técnica, económica y ambiental de implementar infraestructura de carga en Copiapó, integrando estándares internacionales, tecnologías vigentes y aprovechando el potencial de la energía solar fotovoltaica, tal como se ha explorado en otros contextos áridos, el propósito es aportar evidencia que permita transformar a la ciudad en un referente de innovación energética y sostenibilidad territorial en el norte de Chile.

1.2 Objetivo General

Analizar la factibilidad y sostenibilidad de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en la ciudad de Copiapó, considerando estándares internacionales, asimilando las tecnologías compatibles actuales del mercado chileno y cómo se aprovechan las energías renovables.

1.3 Objetivos Específicos

- Reconocer las tecnologías de carga más adecuadas para el contexto chileno, según la tecnología vigente y la normativa nacional

- Analizar la infraestructura de cargadores eléctricos existente en Copiapó y su capacidad según la proyección del parque automotriz a satisfacer
- Comparar las distintas tecnologías de recarga, su sostenibilidad y sustentabilidad con el medio ambiente.

1.4 Planteamiento del problema

En el marco de la transición energética global la adopción de vehículos eléctricos (VE) es la alternativa trascendental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y cumplir con el objetivo de lograr una energía 100% sustentable y 0 emisiones.

La transición hacia una movilidad sostenible en Chile ha cobrado fuerza en los últimos años, impulsada por políticas públicas como la Estrategia Nacional de Electromovilidad y la Ley N° 21.505. Sin embargo, esta transformación enfrenta importantes desafíos a nivel territorial, especialmente en regiones como Atacama, donde la infraestructura de carga para vehículos eléctricos es escasa o inexistente.

La Región de Atacama, y particularmente la ciudad de Copiapó, posee un alto potencial para el desarrollo de la electromovilidad, gracias a su abundante radiación solar que puede ser aprovechada para generar energía limpia y sostenible la cual es potencialmente beneficiosa para promover estrategias que se ajusten al desafío de la creación de una movilidad limpia 100% y con 0 emisiones de carbono.

Sin embargo, a pesar de este potencial Copiapó enfrenta una problemática significativa: la carencia de una infraestructura de carga adecuada para la transición de VE. La falta de centros de carga privada, que integren tecnologías eficientes, energías renovables y modelos de gestión innovadores es un limitante en la adopción de VE comprometiendo los desafíos la electromovilidad a nivel nacional

Copiapó, capital regional presenta condiciones excepcionales para el desarrollo de soluciones energéticas limpias, gracias a su alta irradiación solar no obstante a pesar de ello, la ciudad carece de centros de carga que integren tecnologías compatibles con estándares internacionales, sistemas de gestión energética con mirada al futuro es lo que

limita la adopción de VE; sumado a ello la falta de estudios que evalúen la viabilidad de implementar electrolineras en contextos fuera de la zona central donde se concentra la mayoría de los VE del país, Por lo tanto, se plantea la necesidad de analizar la infraestructura de centros de carga para vehículos eléctricos en Copiapó, considerando aspectos técnicos, económicos, normativos y ambientales, con el fin de contribuir al desarrollo territorial sostenible y a la descarbonización del transporte en zonas estratégicas del norte de Chile.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Conceptos Fundamentales de Electromovilidad

La electromovilidad es un concepto central dentro de la transición energética contemporánea y se refiere al uso de vehículos que funcionan parcial o totalmente mediante energía eléctrica, en reemplazo de combustibles fósiles como la gasolina o el diésel. Este cambio no solo implica sustituir un tipo de motor por otro, sino que representa una transformación estructural del sistema de transporte, de la infraestructura urbana y de los patrones de consumo energético a nivel global (Ministerio de Energía, 2022)

En términos generales, la electromovilidad comprende un conjunto de tecnologías, servicios y modelos de gestión que permiten la operación de vehículos eléctricos (VE), la instalación de infraestructura de carga, la integración con energías renovables y la digitalización de los sistemas de transporte. Por ello, se considera un fenómeno multidimensional que involucra aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales y regulatorios (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022)

Electromovilidad como parte de la transición energética

La electromovilidad se inserta dentro de un proceso más amplio de descarbonización de la matriz energética mundial. Países de la Unión Europea, Estados Unidos, China y América Latina han adoptado políticas que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la electrificación del transporte, uno de los sectores más contaminantes (International Energy Agency, 2023) . En este contexto, los vehículos eléctricos se posicionan como una alternativa estratégica para disminuir la dependencia de combustibles fósiles y avanzar hacia sistemas de transporte más limpios y eficientes.

En Chile, la electromovilidad se ha convertido en un eje prioritario de la política energética nacional. El Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2022) destaca que la adopción de vehículos eléctricos es fundamental para alcanzar la carbono neutralidad

al año 2050, ya que permite reducir emisiones locales, mejorar la calidad del aire y disminuir los costos operacionales del transporte.

Componentes del ecosistema de electromovilidad

El ecosistema de electromovilidad está compuesto por diversos elementos interrelacionados:

- Vehículos eléctricos
- Infraestructura de carga
- Sistemas de gestión energética
- Energías renovables
- Marco regulatorio
- Usuarios y operadores

La interacción entre estos componentes determina el nivel de madurez de la electromovilidad en un territorio (Agencia de Sostenibilidad Energética, 2023).

Ventajas estructurales de la electromovilidad

Los vehículos eléctricos presentan ventajas significativas frente a los vehículos de combustión interna, como mayor eficiencia energética, menores costos de operación, reducción de emisiones y menor contaminación acústica.

Electromovilidad en el contexto chileno

Chile posee condiciones únicas para el desarrollo de la electromovilidad, especialmente por su potencial solar en regiones como Atacama, donde la radiación supera los 2.300 kWh/m²/año (Ministerio de Energía, 2023). Esto permite integrar sistemas fotovoltaicos con infraestructura de carga, reduciendo costos y aumentando la sostenibilidad del sistema.

Además, el país cuenta con una creciente oferta de vehículos eléctricos, incentivos tributarios y una red de carga en expansión, aunque aún concentrada en la zona central (Asociación Nacional Automotriz de Chile, 2024) . En regiones como Atacama, la electromovilidad representa una oportunidad para descentralizar el desarrollo tecnológico y avanzar hacia ciudades más limpias y eficientes.

2.2 Adopción Tecnológica y Percepción del Usuario

La adopción de vehículos eléctricos no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica, sino también de factores sociales, culturales, económicos y psicológicos que influyen en la decisión de los usuarios. Por ello, comprender cómo las personas perciben, evalúan y finalmente adoptan la electromovilidad es fundamental para el diseño de políticas públicas y estrategias de mercado efectivas.

- de recarga
- El costo inicial de compra
- La vida útil de la batería

Estas percepciones influyen directamente en la intención de compra, especialmente en regiones donde la infraestructura de carga aún es limitada, como Atacama.

Factores económicos y sociales en la adopción

La adopción de vehículos eléctricos también está condicionada por factores económicos:

- Costo inicial elevado
- Acceso a financiamiento
- Incentivos tributarios
- Costo de electricidad vs. combustibles
- Disponibilidad de repuestos y servicios técnicos

En Chile, el precio de los vehículos eléctricos sigue siendo una barrera significativa, aunque los costos operacionales más bajos compensan parcialmente esta diferencia (Asociación Nacional Automotriz de Chile, 2024).

Desde una perspectiva social, la adopción también está influenciada por:

- La percepción de modernidad
- La conciencia ambiental
- La presión social o comunitaria
- La visibilidad de la tecnología en el entorno
- La confianza en la infraestructura pública

En ciudades como Copiapó, donde la electromovilidad aún es incipiente, la falta de referentes cercanos y la baja presencia de vehículos eléctricos afectan la visibilidad y, por ende, la adopción (Ministerio de Energía, 2023).

Barreras psicológicas y culturales

Diversos estudios señalan que la adopción de vehículos eléctricos está influida por barreras psicológicas, como:

- Ansiedad por autonomía (“range anxiety”)
- Desconfianza hacia nuevas tecnologías
- Preferencia por motores tradicionales
- Miedo a quedarse sin carga
- Percepción de riesgo tecnológico

Estas barreras suelen disminuir cuando:

- Aumenta la infraestructura de carga
- Se realizan campañas de educación
- Se ofrecen pruebas de manejo
- Se visibilizan casos de éxito
- Se integran vehículos eléctricos en flotas públicas

Adopción en regiones extremas como Atacama

En regiones como Atacama, la adopción presenta características particulares:

- Mayor dependencia del automóvil particular
- Largas distancias interurbanas
- Altas temperaturas que afectan la batería
- Baja densidad de puntos de carga
- Alto potencial solar para autoconsumo

Esto significa que la adopción tecnológica requiere estrategias diferenciadas, como:

- Electrolineras solares
- Incentivos regionales
- Programas piloto en transporte público
- Integración con minería y logística
- Carga domiciliaria con paneles solares

2.3 Beneficios Ambientales y Sociales

La electromovilidad se ha consolidado como una de las estrategias más efectivas para enfrentar los desafíos ambientales y sociales asociados al transporte. Este sector es responsable de una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación atmosférica urbana y los problemas de salud pública derivados de la mala calidad del aire. En este contexto, los vehículos eléctricos (VE) representan una alternativa tecnológica capaz de reducir impactos negativos y contribuir a un desarrollo urbano más sostenible (International Energy Agency, 2023).

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Uno de los beneficios más relevantes de la electromovilidad es la disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), principal gas responsable del cambio climático. A diferencia de los vehículos de combustión interna, los VE no generan emisiones directas durante su operación, lo que permite reducir significativamente la huella de carbono del transporte, especialmente cuando la electricidad utilizada proviene de fuentes renovables (Ministerio de Energía, 2022).

La International Energy Agency (International Energy Agency, 2023) . señala que un vehículo eléctrico puede reducir entre un 50% y un 70% de las emisiones totales de CO₂ a lo largo de su ciclo de vida, dependiendo de la matriz energética del país. En Chile, donde la participación de energías renovables en la generación eléctrica supera el 60%, el impacto positivo es aún mayor.

Mejora de la calidad del aire urbano

Además de las emisiones globales, los vehículos eléctricos contribuyen a disminuir contaminantes locales como:

- Material particulado fino (PM2.5)
- Óxidos de nitrógeno (NOx)
- Monóxido de carbono (CO)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Estos contaminantes están directamente asociados a enfermedades respiratorias, cardiovasculares y al aumento de la mortalidad prematura en zonas urbanas densamente pobladas (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021).

En ciudades como Santiago, Antofagasta o Copiapó, donde la calidad del aire se ve afectada por el tráfico vehicular, la electromovilidad puede generar mejoras significativas en la salud pública. El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021). destaca que la reducción de emisiones locales se traduce en menos hospitalizaciones, menor gasto en salud y una mejor calidad de vida para la población.

Disminución de la contaminación acústica

Los vehículos eléctricos generan niveles de ruido considerablemente menores que los vehículos de combustión interna, especialmente a bajas velocidades. Esto se debe a la ausencia de un motor de explosión y a la suavidad del sistema de propulsión eléctrica.

La IEA (International Energy Agency, 2023) indica que la reducción del ruido urbano contribuye a:

- Menor estrés en la población
- Reducción de trastornos del sueño
- Mayor calidad de vida en zonas residenciales

En ciudades intermedias como Copiapó, donde el tráfico se concentra en avenidas principales, la incorporación de buses y taxis eléctricos puede tener un impacto inmediato en la disminución de la contaminación acústica.

Beneficios sociales y equidad urbana

La electromovilidad no solo genera beneficios ambientales, sino también sociales. La incorporación de vehículos eléctricos en el transporte público permite:

- Mejorar la calidad del servicio
- Reducir costos operacionales
- Aumentar la accesibilidad
- Modernizar la infraestructura urbana
- Promover ciudades más inclusivas y sostenibles

El (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021) sostiene que la electromovilidad puede convertirse en una herramienta para reducir desigualdades territoriales, especialmente cuando se implementa en conjunto con políticas de movilidad sostenible, ciclovías, transporte público eléctrico y planificación urbana.

Impacto económico y desarrollo tecnológico

La transición hacia la electromovilidad impulsa nuevas oportunidades económicas, tales como:

- Creación de empleos verdes
- Desarrollo de industrias asociadas (baterías, cargadores, software)

- Innovación en energías renovables
- Formación de capital humano especializado
- Nuevos modelos de negocio (CPO, flotas eléctricas, logística verde)

El Banco Interamericano de Desarrollo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022) destaca que los países que adopten tempranamente la electromovilidad podrán posicionarse como líderes regionales en innovación y sostenibilidad.

Beneficios específicos para regiones como Atacama

En regiones con alta radiación solar, como Atacama, los beneficios se amplifican:

- Mayor integración con energía solar fotovoltaica
- Reducción de costos operacionales mediante autoconsumo
- Menor dependencia de combustibles importados
- Posibilidad de electrolineras 100% renovables
- Disminución de la contaminación en zonas mineras y urbanas

El (Ministerio de Energía, 2023) señala que Atacama posee condiciones únicas para convertirse en un laboratorio natural de electromovilidad y energías limpias.

2.4 Estado Actual de la Electromovilidad en Chile

Chile ha avanzado en electromovilidad, con un crecimiento del 35% en ventas de VE en 2024. Sin embargo, el 70% de los puntos de carga se concentran en la Región Metropolitana, generando desigualdad territorial (Ministerio de Energía, 2024).

Se han implementado incentivos como subsidios, exenciones tributarias y zonas de baja emisión, aunque persisten desafíos en infraestructura, capacitación técnica y percepción ciudadana.

2.5 Transición Energética y Marco Normativo

La transición energética es un proceso global orientado a reemplazar progresivamente los combustibles fósiles por fuentes de energía más limpias, eficientes y sostenibles. En

este contexto, la electromovilidad se posiciona como un componente estratégico para reducir las emisiones del sector transporte, uno de los más contaminantes a nivel mundial. (International Energy Agency, 2023)

En Chile, la transición energética está guiada por la Política Energética Nacional y por la meta de alcanzar la meta carbono neutralidad al año 2050. Para ello, el país ha impulsado una serie de normativas, estándares y regulaciones que buscan asegurar un desarrollo ordenado, seguro y eficiente de la electromovilidad. (Comisión Nacional de Energía, 2023)

Marco normativo vigente

El marco regulatorio chileno incluye:

- **Ley N° 21.505 (2022):** regula la infraestructura de carga para vehículos eléctricos, establece requisitos técnicos y promueve la inversión privada.
- **Reglamento de Instalaciones de Recarga (SEC):** define estándares de seguridad, certificación y operación de puntos de carga.
- **Norma IEC 61851:** regula los modos de carga y requisitos técnicos de los cargadores.
- **Norma IEC 62196:** estandariza los conectores utilizados en Chile.
- **Decreto 12 del Ministerio de Energía:** establece lineamientos para la interoperabilidad de la infraestructura de carga.

Estas regulaciones buscan garantizar que los sistemas de recarga sean seguros, compatibles y accesibles para todos los usuarios.

Rol de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)

La SEC es responsable de:

- Certificar cargadores y equipos eléctricos
- Fiscalizar instalaciones
- Supervisar estándares de seguridad

- Homologar vehículos eléctricos
- Regular la operación de electrolineras

Su rol es clave para asegurar que la infraestructura cumpla con los requisitos técnicos y normativos necesarios para un funcionamiento seguro. (Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 2023)

Desafíos normativos

A pesar de los avances, aún existen desafíos:

- Necesidad de actualizar normas para carga bidireccional (V2G)
- Regulación de tarifas diferenciadas para carga inteligente
- Estándares para interoperabilidad total
- Normativa para electrolineras solares autónomas
- Integración con sistemas de almacenamiento energético

El Ministerio de Energía (2024) reconoce que la regulación debe evolucionar al ritmo de la tecnología.

2.6 Políticas Públicas Nacionales

Chile ha desarrollado una serie de políticas públicas orientadas a acelerar la adopción de la electromovilidad, tanto en el transporte público como privado. La Estrategia Nacional de Electromovilidad establece metas ambiciosas que buscan transformar el sistema de transporte hacia un modelo más limpio y eficiente. (Ministerio de Energía, 2022)

Metas principales

- 100% del transporte público urbano eléctrico al 2050
- 40% de vehículos particulares eléctricos al 2050
- 100% de ventas de vehículos livianos cero emisiones al 2035

- 100% de maquinaria minera eléctrica al 2040

Estas metas posicionan a Chile como uno de los países más avanzados en América Latina en materia de electromovilidad.

Programas e incentivos

El Estado ha implementado diversos programas:

- Subsidios para taxis eléctricos
- Planes piloto de buses eléctricos en regiones
- Incentivos tributarios para empresas
- Programas de recambio tecnológico en flotas
- Fomento a la investigación y desarrollo
- Capacitación de técnicos especializados

El BID (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022) destaca que Chile es uno de los países con mayor coherencia entre políticas públicas y metas de descarbonización.

Desafíos de política pública

- Falta de incentivos directos para vehículos particulares
- Desigualdad territorial en infraestructura
- Necesidad de fortalecer la educación ciudadana
- Brechas en capital humano técnico
- Falta de financiamiento para regiones extremas

En regiones como Atacama, estos desafíos se acentúan debido a la distancia entre ciudades y la limitada infraestructura de carga. (International Energy Agency, 2023)

2.7 Tipos de Vehículos Eléctricos

La Agencia de Sostenibilidad Energética (2023) (Agencia de Sostenibilidad Energética, 2023) clasifica los vehículos eléctricos en tres categorías principales:

2.7.1 BEV (Battery Electric Vehicle)

Vehículos 100% eléctricos que funcionan exclusivamente con baterías recargables.

- Cero emisiones locales
- Mayor eficiencia energética
- Requieren infraestructura de carga adecuada

2.7.2 PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)

Vehículos híbridos enchufables que combinan un motor eléctrico con uno de combustión.

- Mayor autonomía total
- Flexibilidad para viajes largos
- Emisiones reducidas

2.7.3 HEV (Hybrid Electric Vehicle)

Vehículos híbridos no enchufables.

- No requieren cargador
- Menor eficiencia que BEV y PHEV
- Emisiones moderadas

Comparación técnica

Los BEV son los más eficientes y los más compatibles con energías renovables, mientras que los PHEV representan una transición intermedia para usuarios que aún no confían plenamente en la autonomía eléctrica. (International Energy Agency, 2023)

2.8 Tecnologías de Carga para Vehículos Eléctricos

La infraestructura de carga es un componente crítico para el desarrollo de la electromovilidad. Su disponibilidad, velocidad y compatibilidad influyen directamente en la adopción de vehículos eléctricos. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022)

2.8.1 Tipos de carga

- **Carga AC (lenta y semirrápida)**
 - 3.7 a 22 kW
 - Uso residencial y comercial
 - Menor costo de instalación
- **Carga DC (rápida y ultrarrápida)**
 - 50 a 350 kW
 - Electrolineras y carreteras
 - Reduce tiempos de espera
- **Carga inductiva**
 - Sin cables
 - Menor eficiencia
 - En desarrollo

2.8.2 Clasificación IEC

- **Nivel 1:** carga lenta
- **Nivel 2:** carga semirrápida
- **Nivel 3:** carga rápida y ultrarrápida

2.8.3 Estándares de conectores

Chile utiliza principalmente:

- Tipo 2
- CCS Combo 2
- CHAdeMO
- GB/T (en algunos modelos asiáticos)

2.8.4 Charge Point Operator (CPO)

Los CPO son responsables de:

- Instalar cargadores
- Operar la red
- Mantener equipos
- Gestionar pagos
- Garantizar interoperabilidad

2.8.5 Protocolos de comunicación

- **OCPP 2.0.1**: estándar global para comunicación cargador–plataforma
- **ISO 15118**: habilita “Plug & Charge”

2.8.6 Backend y gestión

Plataformas como ChargeLab, Virta y Greenlots permiten:

- Monitoreo en tiempo real
- Gestión de tarifas
- Reportes de uso
- Control remoto

2.9 Energía Solar Fotovoltaica y Electromovilidad

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes renovables más relevantes para la electromovilidad, especialmente en regiones como Atacama, donde la radiación solar es una de las más altas del mundo (Diario Sustentable, 2025).

2.9.1 Principios

La energía fotovoltaica se basa en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico.

2.9.2 Tipos de paneles

- Monocristalinos
- Policristalinos
- Película delgada

2.9.3 Radiación solar en Copiapó

Copiapó supera los **2.300 kWh/m²/año**, lo que permite:

- Electrolineras solares
- Autoconsumo domiciliario
- Integración con almacenamiento

2.9.4 Inversores

- String
- Microinversores
- Híbridos

2.10 Requisitos Técnicos y Capacidad Eléctrica en Copiapó

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) establece requisitos técnicos para la instalación de puntos de carga:

- Evaluación de capacidad de red
- Protecciones eléctricas
- Señalización
- Cumplimiento IEC 61851 y 60364

Copiapó está conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), pero algunos sectores residenciales presentan limitaciones de capacidad, por lo que la integración con sistemas solares y baterías puede ser necesaria para evitar sobrecargas (SEC, 2023).

2.11 Modelos de Negocio para Centros de Carga

El desarrollo de centros de carga para vehículos eléctricos requiere modelos de negocio sostenibles que permitan recuperar la inversión inicial, cubrir costos operacionales y ofrecer un servicio confiable a los usuarios. La literatura internacional identifica diversos enfoques que pueden adaptarse al contexto chileno. (International Energy Agency, 2023)

Cobro por sesión

El usuario paga un monto fijo por cada carga, independiente del tiempo o energía consumida.

- Fácil de entender
- Adecuado para cargas rápidas
- Menor precisión en costos reales

Cobro por kWh

Es el modelo más transparente, ya que el usuario paga por la energía efectivamente consumida.

- Promueve eficiencia
- Facilita comparación entre estaciones
- Requiere medición certificada (Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 2023)

Cobro por tiempo

El usuario paga por minuto u hora conectado.

- Útil para evitar ocupación prolongada
- Puede ser percibido como injusto en cargas lentas

Smart Charging

Permite ajustar la potencia de carga según:

- Demanda eléctrica
- Tarifas horarias
- Disponibilidad de energía renovable

El BID (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022) destaca que este modelo reduce costos operacionales y evita sobrecargas en la red.

Vehicle-to-Grid (V2G)

Los vehículos pueden inyectar energía a la red en momentos de alta demanda.

- Requiere normativa avanzada
- Aumenta la resiliencia del sistema
- Permite ingresos adicionales al usuario

Servicios asociados

Incluyen:

- Estacionamiento
- Lavado ecológico
- Cafetería

Estos servicios aumentan la rentabilidad del centro de carga.

Aplicaciones móviles

Permiten:

- Reservar cargadores
- Ver disponibilidad en tiempo real
- Pagar digitalmente
- Recibir notificaciones

2.12 Modelos Internacionales de Electrolineras

Tabla n°1 Modelo de Electrolineras

Proyecto	Ubicación	Características	Lecciones
Copec Voltex	Santiago	Carga rápida, app	Experiencia de usuario
Enel X Way	Ruta 5 Norte	Interoperabilidad	Redundancia energética
SolarLatam	Argentina	100% solar	Autonomía energética
Tesla Superchargers	EE.UU.	Ultrarrápida	Escalabilidad

Elaboración propia

Copec Voltex – Chile

- Amplia red urbana
- Integración con aplicación móvil
- Estándares de seguridad SEC
- Lección: la experiencia de usuario es fundamental (ANAC, 2024)

Enel X Way – Chile

- Carga en carretera
- Interoperabilidad con múltiples operadores
- Lección: la señalética y redundancia energética son críticas para viajes largos (Ministerio de Energía, 2023)

SolarLatam – Argentina

- Electrolineras solares autónomas
- Baterías de almacenamiento
- Lección: viabilidad técnica en zonas áridas (Diario Sustentable, 2025)

Tesla Superchargers – EE.UU.

- Carga ultrarrápida
- Red propia
- Fidelización de usuarios
- Lección: la marca y la escalabilidad son claves (IEA, 2023)

2.13 Interoperabilidad en Electromovilidad

La interoperabilidad es un elemento esencial para el desarrollo de la electromovilidad, ya que permite que distintos vehículos y operadores utilicen la misma infraestructura de carga sin restricciones (Ministerio de Energía, 2024).

Concepto de interoperabilidad

Desde la perspectiva del usuario, significa:

- Usar un solo medio de identificación
- Acceder a múltiples redes de carga
- Pagar con diferentes métodos
- Ver disponibilidad en tiempo real

Desde la perspectiva técnica, implica que:

- Los cargadores se comuniquen entre sí
- Las plataformas compartan datos
- Existan estándares comunes

Marco normativo

El **Decreto 12 del Ministerio de Energía** establece lineamientos para asegurar la interoperabilidad en Chile.

Beneficios para usuarios

- Menos aplicaciones
- Más transparencia
- Mayor confianza
- Mejor experiencia de carga

Beneficios para operadores

- Mayor uso de infraestructura
- Reducción de costos
- Expansión de la base de clientes

Herramientas para asegurar interoperabilidad

1. Acuerdos entre pares
2. Plataformas interoperables
3. Regulación estatal

2.14 Tecnologías de la Información en Electromovilidad

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son fundamentales para la gestión moderna de la electromovilidad.

Funciones principales

- Monitoreo en tiempo real
- Gestión remota de cargadores
- Optimización energética
- Análisis de datos
- Seguridad digital

Carga inteligente

Permite:

- Ajustar potencia según demanda

- Cargar en horarios de menor costo
- Integrar energías renovables
- Reducir estrés en la red

Telemática

Incluye:

- Estado de batería
- Rutas óptimas
- Diagnóstico remoto

Actualizaciones OTA

Los vehículos eléctricos pueden recibir actualizaciones de software sin visitar un taller.

Conducción autónoma

Requiere:

- Sensores
- Big data
- Inteligencia artificial
- Comunicación vehículo–infraestructura

Seguridad de datos

Es necesario proteger:

- Información del usuario
- Datos de carga
- Historial de rutas

El BID (2022) destaca que la ciberseguridad será un pilar clave en la movilidad eléctrica del futuro.

2.15 Contexto Regional: Atacama como Territorio Estratégico

La Región de Atacama presenta características únicas que la convierten en un territorio estratégico para el desarrollo de la electromovilidad.

Potencial energético

- 40% de los proyectos solares del país
- Más de 2.000 MW instalados
- Radiación solar excepcional

Desafíos sociales

- Desigualdad territorial
- Pobreza multidimensional

Oportunidades productivas

Identificadas en el Encuentro Regional de Desarrollo Productivo Sostenible

- Turismo astronómico
- Agricultura sustentable
- Acuicultura de pequeña escala
- Industria agroalimentaria

Vocación minera

La minería requiere:

- Vehículos eléctricos industriales
- Infraestructura de carga robusta
- Integración con energías renovables

Identidad territorial

El desarrollo debe considerar:

- Participación comunitaria
- Patrimonio cultural
- Especialización sociocultural

2.16 Baterías Eléctricas

Las baterías son el componente central de los vehículos eléctricos, ya que determinan su autonomía, rendimiento y vida útil.

Tabla n°2 Tipo de Baterías

Tipo de Batería	Aplicación	Ventajas	Desventajas	Presencia en Chile
Li-ion	VE y PHEV	Alta densidad, larga vida útil	Costo alto, reciclaje complejo	Alta
NiMH	Híbridos	Seguras, resistentes al calor	Menor capacidad	Moderada
Plomo-Ácido	Industriales	Bajo costo	Pesadas, baja autonomía	Baja
Na-ion	Investigación	Sostenibles	Poco desarrollo	En evaluación

Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque Metodológico General

La presente investigación adoptó un enfoque metodológico mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos con el propósito de analizar la factibilidad y sostenibilidad de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en la ciudad de Copiapó. Este enfoque permitió abordar el fenómeno desde una perspectiva integral, combinando análisis técnico, normativo, económico, ambiental y social.

El diseño metodológico fue de carácter exploratorio, descriptivo y evaluativo. En una primera etapa, se realizó una exploración orientada a identificar las tecnologías de carga más adecuadas y a caracterizar la infraestructura eléctrica existente en la ciudad. Posteriormente, se desarrolló un análisis descriptivo de las características técnicas, operacionales y ambientales de las tecnologías de recarga disponibles en el mercado nacional. Finalmente, se efectuó una evaluación integral de la factibilidad técnica, económica, ambiental y social de implementar centros de carga en Copiapó, con el fin de determinar la viabilidad del proyecto y sus potenciales impactos.

3.2 Fases de la Metodología

3.2.1 Revisión Bibliográfica y Construcción del Marco Teórico

La primera fase consistió en una revisión bibliográfica exhaustiva, orientada a construir un marco teórico sólido. Para ello, se analizaron conceptos clave relacionados con electromovilidad, tecnologías de carga, energías renovables, infraestructura eléctrica y modelos de negocio asociados.

Asimismo, se revisaron políticas públicas, normativas y regulaciones chilenas vigentes, incluyendo documentos del Ministerio de Energía, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la Agencia de Sostenibilidad Energética.

3.2.2 Análisis de la Infraestructura Eléctrica Existente en Copiapó

El análisis permitió identificar la capacidad actual y futura de la red para soportar la incorporación de centros de carga, así como los puntos críticos que podrían requerir refuerzos, ampliaciones o mejoras para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

3.2.3 Identificación y Evaluación de Tecnologías de Carga

Se evaluaron las principales tecnologías de carga disponibles en el mercado chileno, incluyendo sistemas de carga AC, DC e inductiva. Para cada tecnología se analizaron aspectos como:

- Potencia disponible
- Eficiencia energética
- Costos de instalación y operación
- Requerimientos eléctricos
- Disponibilidad de proveedores
- Compatibilidad con vehículos eléctricos comercializados en Chile
- Impactos ambientales y sostenibilidad

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo que permitió determinar las alternativas más adecuadas para el contexto urbano y climático de Copiapó.

3.2.4 Análisis Normativo y Regulatorio

Esta fase incluyó el estudio de la normativa eléctrica chilena aplicable a la instalación y operación de infraestructura de carga, con énfasis en los requisitos establecidos por la SEC. Asimismo, se identificaron los permisos ambientales, municipales y sectoriales necesarios para la construcción y operación de un centro de carga.

El análisis permitió determinar las exigencias legales, técnicas y administrativas que deben cumplirse para garantizar la viabilidad regulatoria del proyecto.

3.3 Técnicas de Recolección de Datos

3.3.1 Revisión Documental

Se recopiló información proveniente de artículos científicos, informes técnicos, estudios de mercado, normativas, regulaciones y documentos oficiales. Esta técnica permitió obtener antecedentes actualizados sobre electromovilidad, tecnologías de carga, energías renovables, infraestructura eléctrica y modelos de negocio.

3.3.2 Análisis de Datos Técnicos

Se analizaron datos de consumo eléctrico, radiación solar, tráfico vehicular y variables económicas relevantes. Esta información permitió estimar el potencial de carga, la disponibilidad de energía convencional y/o solar, y las proyecciones de demanda asociadas a la electromovilidad en Copiapó.

3.3.3 Visitas a Terreno

Se efectuaron visitas a estaciones de carga existentes y a posibles ubicaciones para la instalación del futuro centro de carga. Estas visitas permitieron evaluar condiciones reales de espacio, accesibilidad, seguridad, disponibilidad eléctrica y compatibilidad con la planificación urbana.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Contexto Nacional y Regional de la Electromovilidad

La electromovilidad en Chile ha experimentado un crecimiento sostenido durante los últimos años, impulsada por políticas públicas, incentivos fiscales, avances tecnológicos y una mayor conciencia ambiental. A nivel nacional, la Estrategia Nacional de Electromovilidad estableció metas ambiciosas, como la comercialización exclusiva de vehículos cero emisiones a partir de 2035 y la electrificación total del transporte público urbano hacia 2050.

En este escenario, la Región de Atacama ha destacado como un territorio pionero. Copiapó se convirtió en 2025 en la primera ciudad de Sudamérica en operar un sistema de transporte público mayor 100% eléctrico, con una flota de 121 buses de alto estándar. Asimismo, programas como *Mi Taxi Eléctrico Atacama* han permitido la incorporación progresiva de taxis y colectivos eléctricos en diversas comunas de la región.

A pesar de estos avances, la adopción de vehículos eléctricos particulares sigue siendo baja, debido principalmente al costo de adquisición y a la limitada infraestructura de carga pública. Sin embargo, la tendencia regional muestra un crecimiento acelerado, especialmente en flotas públicas y comerciales.

4.2 Análisis por Tipo de Vehículo

4.2.1 Buses Eléctricos (Transporte Público Mayor)

En 2025 se puso en marcha la flota de 121 buses eléctricos en Copiapó, operando en 12 recorridos urbanos y beneficiando a más de 25.000 pasajeros diarios. Estos vehículos cuentan con:

- Accesibilidad universal
- Aire acondicionado
- Cámaras de seguridad

- Cargadores USB
- Sistema de pago electrónico

La operación está a cargo de Transportes de Pasajeros Nueva Copiapó, bajo un contrato de 8 años con subsidio estatal y exigencias de calidad, frecuencia y paridad de género.

4.2.2 Taxis y Colectivos Eléctricos

El programa *Mi Taxi Eléctrico Atacama* ha entregado 50 vehículos eléctricos a la fecha, con una meta regional de 158 unidades. Los beneficiarios reciben un cofinanciamiento estatal entre \$12 y \$16 millones, además de un cargador domiciliario de 7 kW.

Las comunas con mayor presencia son:

- Copiapó
- Vallenar
- Caldera
- Huasco

4.2.3 Vehículos Eléctricos Privados

El parque privado es aún reducido, con 10 a 20 vehículos registrados en la región. La baja penetración se explica por:

- Alto costo de adquisición
- Preferencia por vehículos convencionales
- Limitada infraestructura de carga pública
- Uso intensivo de vehículos en zonas mineras

4.2.4 Vehículos de Carga e Industriales

La adopción de vehículos de carga eléctricos es incipiente, con menos de 5 unidades identificadas. En el sector minero, se estiman 10 a 15 vehículos eléctricos industriales, principalmente en:

- Copiapó • Tierra Amarilla • Diego de Almagro

4.3 Tabla Resumen del Parque Vehicular Eléctrico en Atacama

Tabla n°3 Parque de Vehículos Eléctricos por Tipo y Comuna

Tipo de Vehículo	Cantidad Estimada	Comunas Principales
Buses eléctricos	121	Copiapó
Taxis y colectivos eléctricos	50	Copiapó, Vallenar, Caldera, Huasco
Vehículos privados	10–20	Copiapó, Caldera, Vallenar
Vehículos de carga	<5	Copiapó, Vallenar
Vehículos industriales/mineros	10–15	Copiapó, Tierra Amarilla, Diego de Almagro
Motocicletas eléctricas	<10	Copiapó, Caldera
Total estimado	200–220	Principalmente Copiapó

Elaboración propia

4.4 Evolución Histórica del Parque Eléctrico en Atacama

Los hitos principales fueron:

- 2022: Pilotos de taxis eléctricos y pruebas de buses.
- 2023: Primeras entregas de taxis colectivos eléctricos.
- 2024: Expansión del programa *Mi Taxi Eléctrico*.
- 2025: Puesta en marcha de la flota de 121 buses eléctricos.

El crecimiento ha sido impulsado por:

- Coordinación entre Gobierno Regional, Ministerio de Energía y AgenciaSE
- Subsidios y financiamiento
- Reducción de costos operativos
- Mayor visibilidad pública de la tecnología

4.5 Comportamiento del Consumidor y Percepción Ciudadana

La aceptación ciudadana ha sido altamente positiva, especialmente tras la operación de los buses eléctricos en Copiapó. Esto ha contribuido a:

- Desmitificar la tecnología eléctrica
- Aumentar la confianza en la electromovilidad
- Preparar a nuevas generaciones para la transición energética
- Generar un efecto demostrativo en taxis, colectivos y vehículos privados

La percepción de beneficios económicos (menor costo por kilómetro) y sociales (reducción de ruido y emisiones) ha fortalecido la disposición al cambio.

4.6 Aprovechamiento de los Vehículos Eléctricos

Para maximizar el uso de vehículos eléctricos, se identificó la necesidad de:

- Planificación territorial de electrolineras
- Carga nocturna residencial
- Carga laboral en horarios valle
- Gestión inteligente de flotas

- Telemetría y optimización de rutas
- Protocolos de mantenimiento

Estas prácticas reducen costos operativos y alivian la presión sobre la red eléctrica.

4.7 Integración con el Sistema Eléctrico Regional

La integración de vehículos eléctricos como recurso flexible (carga controlada, V2G, horarios programados) permite:

- Reducir costos de infraestructura
- Mejorar la estabilidad del sistema
- Aprovechar excedentes solares
- Evitar sobrecargas en sectores residenciales

4.8 Justificación para la Instalación de Nuevas Electrolineras

La instalación de nuevas electrolineras se justifica por:

- Crecimiento sostenido del parque eléctrico
- Expansión del transporte público eléctrico
- Necesidad de cobertura territorial
- Demanda logística y empresarial
- Reducción de emisiones
- Alineación con metas nacionales 2035–2050

La AgenciaSE recomienda priorizar:

- Corredores interurbanos
- Hubs urbanos
- Zonas logísticas
- Sectores mineros

4.9 Proyección del Parque de Vehículos Eléctricos en Atacama (2024–2035)

Tabla 4 Proyección del Parque Eléctrico Regional

Año	Escenario Conservador	Moderado	Optimista
2024	120	120	120
2025	156	180	204
2026	203	270	347
2027	264	405	590
2028	343	608	1.004
2029	446	912	1.709
2030	580	1.368	2.912
2031	754	2.052	4.964
2032	980	3.078	8.463
2033	1.274	4.617	14.387

Elaboración propia

Los escenarios consideran:

- Crecimiento histórico
- Infraestructura de carga
- Incentivos fiscales
- Oferta de modelos
- Conciencia ambiental
- Barreras estructurales

4.10 Desarrollo de los Objetivos Específicos

Objetivo 1: Reconocimiento de tecnologías de carga adecuadas

- La carga AC resultó viable para entornos residenciales y comerciales.
- La carga DC ultrarrápida fue esencial para corredores y flotas.
- La normativa chilena (Tipo 2 y CCS2) aseguró interoperabilidad.

Objetivo 2: Análisis de la infraestructura eléctrica existente

- El SEN ofrece capacidad suficiente en zonas industriales.
- Sectores residenciales requieren apoyo solar y almacenamiento.

Objetivo 3: Comparación de tecnologías de recarga y sostenibilidad

- La carga solar fotovoltaica destacó como la más sostenible.
- Los modelos híbridos (solar + red) ofrecieron resiliencia.
- La carga inductiva mostró potencial en pilotos urbanos.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Relación entre los Resultados y el Marco Teórico

Los resultados obtenidos en el análisis de la electromovilidad en la Región de Atacama confirman las tendencias descritas en el marco teórico, especialmente en lo referido al crecimiento progresivo de la movilidad eléctrica, la importancia de la infraestructura de carga y el rol de las políticas públicas como catalizadores del cambio tecnológico.

Tal como plantean los modelos de transición energética, la adopción de tecnologías limpias requiere condiciones habilitantes, entre ellas: incentivos económicos, disponibilidad de infraestructura, percepción ciudadana favorable y marcos regulatorios claros. En el caso de Copiapó, la implementación del sistema de transporte público mayor 100% eléctrico y el programa *Mi Taxi Eléctrico Atacama* han actuado como disparadores de confianza, reduciendo barreras culturales y demostrando la viabilidad operativa de la electromovilidad en contextos urbanos y semiáridos.

Asimismo, la literatura señala que la infraestructura de carga es un factor crítico para la masificación de vehículos eléctricos. Los resultados muestran que, aunque Atacama cuenta con avances significativos, la cobertura actual sigue siendo insuficiente para sostener el crecimiento proyectado del parque vehicular eléctrico, especialmente en escenarios moderados y optimistas.

5.2 Comparación entre Tecnologías de Carga y Condiciones Locales

Los resultados evidencian que la región posee condiciones excepcionales para integrar sistemas de carga basados en energía solar fotovoltaica, lo que coincide con los planteamientos teóricos sobre sostenibilidad energética en zonas de alta irradiación.

La comparación entre tecnologías de carga permite destacar:

- Carga AC: adecuada para entornos residenciales y comerciales, coherente con la tendencia internacional de fomentar la carga nocturna.
- Carga DC rápida y ultrarrápida: indispensable para corredores interurbanos, flotas de alta demanda y operaciones mineras.
- Modelos híbridos (solar + red): ofrecen resiliencia y reducen costos operativos, alineándose con estrategias de eficiencia energética.
- Carga inductiva: aunque menos eficiente, representa una innovación emergente con potencial en entornos urbanos de alta rotación.

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de un diseño de infraestructura diversificado, adaptado a los distintos perfiles de usuario y a la geografía regional.

5.3 Infraestructura Eléctrica y Desafíos de Integración

El análisis de la infraestructura eléctrica de Copiapó confirma que la conexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) proporciona capacidad suficiente para proyectos de mediana y gran escala, especialmente en zonas industriales y mineras. Sin embargo, se identifican desafíos relevantes en sectores residenciales y periurbanos, donde la red presenta limitaciones que podrían generar sobrecargas si no se implementan medidas complementarias.

Estos resultados coinciden con estudios nacionales que advierten sobre la necesidad de:

- Gestión inteligente de la demanda
- Carga programada en horarios valle
- Sistemas de almacenamiento en baterías
- Integración de generación distribuida

La electromovilidad, por tanto, no solo demanda infraestructura de carga, sino también modernización de la red eléctrica y estrategias de flexibilidad energética.

5.4 Percepción Ciudadana y Comportamiento del Consumidor

La aceptación positiva de los buses eléctricos en Copiapó confirma que la percepción ciudadana es un factor determinante en la transición energética. La experiencia de viaje

más silenciosa, limpia y moderna ha contribuido a desmitificar la tecnología eléctrica, generando un efecto demostrativo que favorece la adopción de vehículos eléctricos particulares y comerciales.

Este resultado coincide con la literatura que señala que la experiencia directa con tecnologías limpias aumenta la disposición al cambio, especialmente en comunidades donde la electromovilidad es visible y cotidiana.

Asimismo, la percepción de beneficios económicos como menores costos operativos refuerza la intención de adopción, aunque el costo inicial sigue siendo una barrera relevante.

5.5 Justificación de la Expansión de Electrolíneas

Los resultados obtenidos justifican plenamente la necesidad de ampliar la infraestructura de carga en la región. La combinación de:

- Crecimiento acelerado del parque eléctrico
- Expansión del transporte público eléctrico
- Aumento de taxis y colectivos eléctricos
- Interés creciente de empresas logísticas y mineras
- Proyecciones de crecimiento hasta 2035

La literatura especializada y los estudios de la AgenciaSE recomiendan priorizar:

- Corredores interurbanos
- Hubs urbanos
- Zonas logísticas
- Sectores mineros
- Centros comerciales y residenciales de alta densidad

Los resultados de esta investigación coinciden con dichas recomendaciones, reforzando la necesidad de una planificación territorial estratégica.

5.6 Análisis de Proyecciones 2024–2035

Las proyecciones elaboradas muestran tres escenarios de crecimiento del parque eléctrico regional:

- Conservador (30% anual)
- Moderado (50% anual)
- Optimista (70% anual)

En todos los escenarios, la demanda por infraestructura de carga aumenta de manera significativa, especialmente a partir de 2028, cuando la penetración de vehículos eléctricos particulares comienza a acelerarse.

El escenario optimista proyecta más de 14.000 vehículos eléctricos en 2033, lo que requeriría una red robusta de carga rápida, integración solar masiva y sistemas de gestión inteligente.

Estos resultados coinciden con las metas nacionales de electrificación y con la tendencia global hacia la movilidad cero emisiones.

5.7 Limitaciones del Estudio

Entre las principales limitaciones se identifican:

- Falta de datos oficiales desagregados por comuna
- Escasa información pública sobre vehículos industriales y mineros
- Variabilidad en los registros de motocicletas eléctricas
- Dependencia de proyecciones basadas en tendencias nacionales
- Ausencia de entrevistas a actores clave (por razones de tiempo)

A pesar de estas limitaciones, la triangulación de fuentes documentales, datos técnicos y análisis territorial permitió obtener resultados consistentes y representativos.

5.8 Implicancias para la Región de Atacama

Los resultados sugieren que Atacama posee condiciones únicas para convertirse en un referente nacional en electromovilidad, gracias a:

- Su irradiación solar excepcional
- La existencia de flotas públicas eléctricas
- La articulación institucional regional
- La presencia de sectores industriales y mineros con alto potencial de electrificación

Sin embargo, el éxito de esta transición dependerá de:

- Políticas públicas descentralizadas
- Incentivos sostenidos
- Expansión de la infraestructura de carga
- Educación y sensibilización ciudadana
- Modernización de la red eléctrica

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

6.1 Conclusión General

El análisis realizado permitió confirmar que la ciudad de Copiapó y, en general, la Región de Atacama, reúnen condiciones técnicas, ambientales y estratégicas altamente favorables para el desarrollo de infraestructura de carga para vehículos eléctricos. La combinación de una irradiación solar excepcional, la existencia de flotas públicas eléctricas, la articulación institucional regional y el creciente interés ciudadano por tecnologías limpias posicionaron a la región como un territorio con un potencial significativo para liderar la transición hacia la electromovilidad en el norte de Chile.

Asimismo, se verificó que la integración de sistemas de carga basados en energía solar fotovoltaica, complementados con almacenamiento energético y gestión inteligente, constituye una solución sostenible, eficiente y replicable en otras zonas del país. No obstante, la materialización de este potencial requiere superar desafíos normativos, económicos y sociales que aún limitan la expansión acelerada de la infraestructura de carga.

6.2 Conclusiones por Objetivo Específico

Objetivo 1: Reconocer las tecnologías de carga adecuadas para Copiapó

El estudio permitió identificar que la tecnología de carga en corriente alterna (AC) representan una alternativa viable para entornos residenciales y comerciales, debido a su flexibilidad, costos moderados y compatibilidad con la normativa chilena. Por su parte, los sistemas de carga en corriente continua (DC) rápida y ultrarrápida resultaron esenciales para corredores interurbanos, flotas de alta demanda y operaciones mineras, donde los tiempos de recarga deben ser competitivos.

La normativa nacional, que exige conectores Tipo 2 y CCS Combo 2, aseguró la interoperabilidad y estandarización de la infraestructura, alineando a Copiapó con las tendencias internacionales.

Objetivo 2: Analizar la infraestructura eléctrica existente en Copiapó

El análisis evidenció que la conexión de Copiapó al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) otorga capacidad suficiente para proyectos de mediana y gran escala, especialmente en sectores industriales y mineros. Sin embargo, se identificaron limitaciones en áreas residenciales y periurbanas, donde la red presenta riesgos de sobrecarga ante un aumento significativo de la demanda eléctrica.

Se concluyó que la integración de generación solar distribuida y sistemas de almacenamiento en baterías constituye una estrategia clave para garantizar la continuidad operativa y evitar saturaciones en la red.

Objetivo 3: Comparar tecnologías de recarga y evaluar su sostenibilidad

La comparación de tecnologías permitió concluir que la carga solar fotovoltaica se posiciona como la alternativa más sostenible para Copiapó, debido a su abundante recurso solar y su capacidad para reducir la huella de carbono del sistema de carga. Los modelos híbridos (solar + red) demostraron ser una opción resiliente y eficiente, especialmente en escenarios de alta demanda.

La carga inductiva, aunque menos eficiente, mostró potencial para proyectos piloto en entornos urbanos, destacando por su comodidad y automatización.

6.3 Conclusiones sobre el Comportamiento del Consumidor y la Percepción Ciudadana

La percepción ciudadana respecto a la electromovilidad en Copiapó resultó ser altamente positiva, especialmente tras la puesta en marcha de la flota de buses eléctricos. Esta experiencia contribuyó a desmitificar la tecnología eléctrica, aumentar la confianza en su desempeño y preparar a las nuevas generaciones para la transición energética.

Se concluyó que la aceptación social es un factor determinante para la masificación de vehículos eléctricos, y que la visibilidad de flotas públicas eléctricas genera un efecto demostrativo que impulsa la adopción en taxis, colectivos y vehículos particulares.

6.4 Conclusiones sobre la Proyección del Parque Vehicular Eléctrico

Las proyecciones realizadas para el período 2024–2035 mostraron un crecimiento acelerado del parque de vehículos eléctricos en Atacama, especialmente en los escenarios moderado y optimista. Este crecimiento supera ampliamente la capacidad actual de la infraestructura de carga, lo que refuerza la necesidad de una planificación territorial estratégica y de inversiones sostenidas en electrolinerías públicas y privadas.

Se concluyó que, de mantenerse los incentivos fiscales, la expansión de la oferta de modelos y la reducción de costos, la región podría alcanzar niveles de penetración superiores al promedio nacional.

6.5 Conclusiones sobre la Necesidad de Infraestructura de Carga

El estudio confirmó que la instalación de nuevas electrolinerías en Copiapó es una necesidad urgente y estratégica. La demanda proyectada, la expansión del transporte público eléctrico, el crecimiento del programa Mi Taxi Eléctrico, el interés de empresas logísticas y mineras, y la limitada cobertura actual justifican plenamente la ampliación de la red de carga.

Se concluyó que la infraestructura debe priorizar:

- Corredores interurbanos
- Hubs urbanos
- Sectores logísticos

- Zonas mineras
- Centros residenciales de alta densidad

6.6 Reflexión Final

La electromovilidad representa una oportunidad histórica para la Región de Atacama. Copiapó, con su combinación única de recursos solares, flotas eléctricas operativas, infraestructura energética y aceptación ciudadana, se encuentra en condiciones de convertirse en un polo de innovación energética y sostenibilidad territorial.

Avanzar en esta dirección permitirá no solo contribuir a la descarbonización del transporte nacional, sino también posicionar a la región como líder en la transición hacia un futuro de cero emisiones.

Anexos

Tabla n°5 Tipo de vehículos

TIPO DE VEHICULOS	VEHICULOS ELECTRICOS	VEHICULOS HIBRIDOS	VEHICULOS COMBUSTION INTERNA
EMISIONES	Los motores eléctricos no emiten gases de escape	CO2, NOx y otros gases pero en menor medida	CO2 (dióxido de carbono) NOx (Oxido nitroso) PM (Materia particulada, en inglés)
COSTO \$	Los valores comienzan en los \$11M hasta \$41M un modelo Tesla (+eco)	\$24M modelo de entrada hasta \$30M gama media	Los valores comienzan en los \$8M un “citycar” 0KM. Pudiendo encontrar usados a un precio menor de los \$8M
COSTO DE OPERACION	Pueden costar hasta \$100K anual. Cambio de batería puede costar de \$5M a \$9M. cada 7 u 8 años	25% del total de permiso de circulación. Descuento impuesto verde. Mantención simple	Requiere pago de permisos y mantenciones anuales o por KMs. Combustible. Aproximadamente \$350.000 anuales
AUTONOMIA	Promedio uso urbano 250Km VE de gama media-baja 725Km promedio en VE alta gama(Mercedez Benz-Audi)	HEV la autonomía eléctrica es corta (70Km) PHEV la autonomía eléctrica varia entre los 60 y 130Km	Va depender del tamaño de estanque de combustible, pudiendo recorrer entre 500 y 800Km
INFRAESTRUCTURA DE RECARGA	1000 puntos de carga a nivel nacional, 300 carga rápida. 14 puntos en Atacama, Copiapó 5 puntos de carga	PHEV la carga puede ser domiciliaria con un sistema especializado. HEV autorrecargable	Mas de 15 Estaciones de carga de varias marca de combustible solo en la ciudad de Copiapó.
RENDIMIENTO	4Km/ Kwh Costo total \$30 pesos/Km		10Km/Lt. Costo total \$120 pesos/Km

Elaboración propia

Tabla n°6 Tipo de baterías

TIPO DE BATERIAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CONVENIENTE PARA
LFP(Litio-Hierro-Fosfato)	Seguridad térmica sobresaliente, larga vida útil (miles de ciclos), menor costo de producción, resistencia a temperaturas altas	Menor densidad de energía, capacidad de carga limitada, mayor peso, tiempo de cargas mas largos y sensible a temperaturas bajas	Uso Familiar, urbano, diario, y para flotas de VE
NMC(Niquel-Manganeso-Cobalto)	Carga rápida, pueden soportar altas corrientes y descargas estabilidad y versatilidad, buen rendimiento en frío(-20C°)	Menor seguridad, propensa a fuga térmica (sobrecalentamiento) por tanto riesgo de incendio, alto costo y menor vida útil.	Viajes largos, segmentos premium y vehículos comerciales de alto rendimiento
NCA(Niquel-Cobalto-Aluminio)	Almacenan más energía por unidad de masa y volumen, lo que permite mayor autonomía en vehículos eléctricos o diseños más compactos.	Las mismas desventajas que la NMC por estar hechas de Niquel	vehículos eléctricos que requieren mayor autonomía y carga rápida
LFP(Litio-Hierro-Fosfato)	Mayor seguridad, gran vida útil y estabilidad térmica, más económicas y ecológicas que otras.	Capacidad de energía menor por unidad de peso o volumen en comparación con otras por lo que requieren más espacio.	Uso de Vehículos eléctricos de uso diario y urbano
Batería de sodio-ION(Na-ION)	bajo costo, la abundancia de sus materiales (sodio), mayor seguridad y mejor rendimiento a bajas temperaturas	Almacena menos energía, con una tecnología aún en desarrollo y corto ciclo de vida útil de la misma	vehículos eléctricos de baja velocidad o baja autonomía, como scooters y carretillas elevadoras.
Batería de estado solido(Solid-State)	mayor seguridad, mayor densidad de energía, cargas más rápidas y una vida útil más larga	altos costos de fabricación, la complejidad del proceso de producción. Formación de grietas	vehículos eléctricos, dispositivos portátiles como wearables, y para aplicaciones de robótica y medicina (como marcapasos)

Elaboración propia

Bibliografía

- Ministerio de Energía. (2022). *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Santiago: Ministerio de Energía. Obtenido de <https://energia.gob.cl/consultas-publicas/estrategia-nacional-de-electromovilidad>
- Agencia de Sostenibilidad Energética. (2023). *Acuerdo Público Privado por la Electromovilidad*. Obtenido de <https://www.agenciase.org/acuerdo-electromovilidad/>
- Asociación Nacional Automotriz de Chile. (2024). *Informe Cero y Bajas Emisiones – Diciembre 2024*. Santiago: ANAC. Obtenido de <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2024/12/12-ANAC-Informe-Cero-y-Bajas-Emisiones-Diciembre-2024.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). *Programa de Movilidad Electrónica para Ciudades Sostenibles*. Washington D.C.: BID. Obtenido de <https://www.iadb.org/es/noticias/el-bid-y-el-fondo-verde-del-clima-respaldan-programa-para-promover-la-e-movilidad-en>
- Comisión Nacional de Energía. (2023). *Anuario Estadístico 2023*. Santiago: CNE. Obtenido de <https://www.cne.cl/prensa/prensa-2024/06-junio/cne-lanzo-anuario-estadistico-2023/>
- International Energy Agency. (2023). *Global EV Outlook 2023*. París: IEA. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- Ministerio de Energía. (2023). *Reporte de Avances en Electromovilidad 2023*. Santiago: Ministerio de Energía. Obtenido de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/reportes-avances-2023>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). *Informe anual 2021*. Nairobi: UNEP. Obtenido de <https://www.unep.org/es/resources/informe-anual-de-2021>
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2023). *Normativa para cargadores eléctricos*. Santiago: SEC. Obtenido de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/reglamentacion/normativa-sistemas-de-carga>