



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO



**Bastián Andrés Guerra Deramond**

**Conversión de la matriz automotriz chilena a vehículos eléctricos: Impacto sobre la producción de energía eléctrica y las emisiones de efecto invernadero**

**Informe Proyecto de Título de Ingeniero Eléctrico**



**Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería**

Valparaíso, 28 de diciembre de 2018



# Conversión de la matriz automotriz chilena a vehículos eléctricos: Impacto sobre la producción de energía eléctrica y las emisiones de efecto invernadero

Bastián Andrés Guerra Deramond

Informe Final para optar al título de Ingeniero Eléctrico,  
aprobada por la comisión de la  
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la  
Facultad de Ingeniería de la  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
conformada por

Sr. Werner Jara Montecinos

Profesor Guía

Sr. Jorge Mendoza Baeza

Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 28 de diciembre de 2018

*A mis padres, Sandro y Claudia, con mucho amor, les dedico este logro.*

# Agradecimientos

Agradezco a mis padres por haberme dado la oportunidad de estudiar en Valparaíso, quienes siempre creyeron en mis capacidades y por el apoyo constante durante el transcurso de la carrera.

A mi hermano Nicola por recibirme siempre con cariño y brindarme apoyo en los malos momentos.

A mis abuelitas, María Angélica y Lucila, por darme mucho apoyo y cariño cuando las visitaba los fines de semana y los ricos almuerzos que me preparaban con el fin de regalarme.

A mis tías, Cecilia y Liliana, por la constante preocupación y cariño dado en los momentos más difíciles y por creer en mí siempre.

A mi polola, Camila Sepúlveda, quien siempre estuvo conmigo, viajando constantemente a visitarme, entregándome amor y compañía. Además, de agradecer por la paciencia y los detalles que me enviaba para darme energías.

Agradezco a los profesores, Werner Jara y Jorge Mendoza, quienes me brindaron su apoyo para el desarrollo de este proyecto

Agradecido totalmente de todas las personas que conocí en el transcurso de esta carrera universitaria con quienes guardo buenos recuerdos y momentos de relax.

*Valparaíso, 28 de diciembre de 2018*

Bastían Guerra Deramond

## Resumen

En los últimos años los vehículos que utilizan la tecnología eléctrica han vuelto a ser considerados como una buena alternativa como medio de transporte, ya que estas no contaminan por el entorno por el que circulan, logrando disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Hoy en día, esta tecnología ha avanzado considerablemente, existiendo vehículos para dos personas hasta buses eléctrico con capacidad de transportar a 85 personas. La energía eléctrica que requieren los vehículos eléctricos para circular la producen las centrales generadoras, la cual emiten gases de efecto invernadero si la energía es producida por centrales térmicas.

Este proyecto busca cuantificar el impacto sobre la producción de energía eléctrica y las emisiones de gases de efecto invernadero. Para esto, se presenta la composición de la matriz eléctrica nacional y los conceptos de los vehículos eléctricos, se muestran los tipos de vehículos eléctricos, los trayectos que realizan los buses y finalmente las proyecciones de la incorporación de esta tecnología, para así desarrollar un modelo analítico que cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero y la producción de energía eléctrica requerida por los vehículos eléctricos para realizar trayectos. Las proyecciones son dos, una para buses del transporte público de la Región Metropolitana y otra para el parque vehicular de Chile.

En la proyección para los buses del transporte público de la Región Metropolitana se realiza una penetración de 100% de buses eléctricos al año 2050. Para el parque vehicular de Chile, se realiza una penetración de 40% de vehículos eléctricos al año 2050. Los resultados muestran la cantidad de energía necesaria para que estos vehículos eléctricos puedan circular y la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que producen los vehículos convencionales y los vehículos que utilizan tecnología eléctrica, en donde los kilómetros que recorren es una de las principales variables influyentes. Con la implementación masiva de esta tecnología, se obtienen mejores resultados en cuanto a contaminación. Por el contrario, la generación eléctrica aumenta considerablemente con la incorporación de los vehículos eléctricos.

Palabras claves: vehículos eléctricos, vehículos convencionales, generación eléctrica, gases de efecto invernadero, contaminación.

# Abstract

In recent years vehicles using electric technology have once again been considered a good alternative as a means of transport, since they do not pollute the environment through which they circulate, thus reducing greenhouse gas emissions. Nowadays, this technology has advanced considerably, existing vehicles for two people up to electric buses with capacity to transport 85 people. The electric energy required by electric vehicles to circulate is produced by power plants, which emit greenhouse gases if the energy is produced by thermal power plants.

This project seeks to quantify the impact on the production of electricity and greenhouse gas emissions. For this, the composition of the national electrical matrix and the concepts of electric vehicles are presented, the types of electric vehicles, the routes made by the buses and finally the projections of the incorporation of this technology are shown, in order to develop an analytical model that quantifies the emissions of greenhouse gases and the production of electric energy required by electric vehicles to travel their routes. There are two projections, one for public transport buses of the Metropolitan Region and another for the vehicular park of Chile

In the projection for the buses of the public transport of the Metropolitan region a penetration of 100% of electric buses is made by the year 2050. For the vehicle fleet in Chile, a 40% penetration of electric vehicles is made by 2050. The results show the amount of energy necessary for these electric vehicles to circulate and the amount of CO<sub>2</sub> emissions produced by conventional vehicles and vehicles that use electrical technology, where the kilometers they travel is one of the most influential variables. With the massive implementation of this technology, better results are obtained in terms of contamination. On the contrary, electric production increases considerably with the incorporation of electric vehicles.

Keywords: electric vehicles, conventional vehicles, electricity generation, greenhouse gases, pollution.

# Índice general

Introducción.....	1
Objetivos generales.....	3
Objetivos específicos .....	3
1 Matriz eléctrica nacional.....	4
1.1 Sistemas Medianos .....	6
1.1.1 Sistema Mediano de Isla de Pascua .....	6
1.1.2 Sistemas Medianos de Los Lagos .....	7
1.1.3 Sistemas Medianos de Aysén.....	8
1.1.4 Sistemas Medianos de Magallanes .....	10
1.2 Sistema Eléctrico Nacional .....	12
1.2.1 Generación eléctrica Sistema Eléctrico Nacional 2017 .....	14
1.3 Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.....	15
1.3.1 Proyectos aprobados.....	15
1.3.2 Proyectos en calificación .....	16
1.3.3 Proyectos en construcción .....	16
2 Vehículos eléctricos .....	18
2.1 Historia de los vehículos electricos .....	18
2.2 Vehículo eléctrico a baterías (VE) .....	19
2.3 Vehículo eléctrico microhíbrido.....	19
2.4 Vehículo eléctrico híbrido suave .....	20
2.5 Vehículo eléctrico híbrido completo.....	20
2.5.1 Configuración en serie .....	21
2.5.2 Configuración en paralelo .....	22
2.5.3 Configuración en serie-paralelo.....	23
2.6 Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) .....	24
2.7 Recarga de vehículos eléctricos .....	24
2.7.1 Recarga lenta.....	25
2.7.2 Recarga semi-rápida .....	25
2.7.3 Recarga rápida .....	26
2.7.4 Modo 1.....	26

---

2.7.5 Modo 2.....	27
2.7.6 Modo 3.....	28
2.7.7 Modo 4.....	28
2.8 Actuales electrolinerías.....	29
2.9 Comercialización de vehículos eléctricos.....	31
2.9.1 Actuales vehículos eléctricos.....	32
2.9.2 Actuales vehículos eléctricos híbridos.....	35
2.9.3 Actuales vehículos híbridos eléctricos enchufables.....	37
2.9.4 Actuales Buses Eléctricos.....	40
2.10 Ventajas vehículos eléctricos.....	42
<b>3 Parque vehicular en Chile.....</b>	<b>45</b>
3.1 Vehículos de combustión interna.....	45
3.2 Transporte público Región Metropolitana.....	48
3.2.1 Buses de combustión Transantiago.....	48
3.2.2 Recorridos Transantiago.....	50
3.2.3 Flota Transantiago.....	52
3.3 Parque vehicular de Chile.....	53
<b>4 Desarrollo Modelo.....</b>	<b>58</b>
4.1 Modelo analítico vehículos.....	58
4.2 Emisiones de CO <sub>2</sub> generación eléctrica.....	59
<b>5 Evaluación y análisis resultados.....</b>	<b>62</b>
5.1 Proyección buses Transantiago.....	62
5.1.1 Calculo generación eléctrica buses eléctricos.....	63
5.1.2 Calculo emisiones de CO <sub>2</sub> buses Transantiago.....	66
5.2 Proyección parque vehicular.....	69
5.2.1 Calculo de generación eléctrica vehículos eléctricos.....	71
5.2.2 Calculo emisiones de CO <sub>2</sub> vehículos particulares.....	73
<b>Discusión y conclusiones.....</b>	<b>77</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>80</b>

# Introducción

En Chile, existen diferentes tipos de tecnologías de generación, en donde cada una de estas tiene diferentes impactos ambientales. Hoy en día, la matriz eléctrica nacional es altamente dependiente de los combustibles fósiles. Los procesos de extracción, transporte y utilización de estas fuentes de energías producen graves efectos ambientales (contaminación, deforestación, destrucción de hábitats, etc.). La consecuencia más global y de mayor magnitud de este modelo, es el cambio climático, la cual pone en peligro a millones de personas. Es por esto, que combatir el cambio climático es uno de los objetivos del Gobierno de Chile, desarrollando una matriz eléctrica más baja en carbono, aumentando los recursos de energías renovables [1].

En el año 2015 se da a conocer la Política Energética Nacional, que propone una visión del sector energético sostenible, inclusivo y competitivo, estableciendo así las bases para avanzar hacia una matriz energética renovable y más sustentable en todas sus dimensiones.

El sector energía en su totalidad es el principal emisor de gases de efecto invernadero, con un aporte del 77% aproximadamente de las emisiones totales del país, debido principalmente al aumento del consumo de combustibles fósiles para generación eléctrica, distintos tipos de transporte, para la industria, la minería, para viviendas, edificios públicos y comerciales [2].

La energía solar representa a más del 9% de la matriz eléctrica nacional y las energías en base tecnologías de energías renovables no convencionales, representan el 18% de la capacidad eléctrica total de la matriz eléctrica nacional, logrando cada vez un nivel de penetración mayor. Además, cada vez existe una mayor participación en los proyectos de generación, de los cuales tienen una tendencia a apuntar a las energías renovables [3]. Se espera que ocurra algo similar con la movilidad eléctrica, aunque en la actualidad, la penetración en Chile es baja, se proyecta un fuerte crecimiento en las próximas décadas [4].

En la actualidad, los sistemas de transporte son fundamentales para las personas, ya que nos proveen movilidad y acceso a la mayoría de las actividades. Es por esto que, al mejorar la situación económica de las personas, estas tienden a obtener vehículos particulares aumentando progresivamente la matriz automotriz, y con ello aumentan los niveles de congestión vehicular afectando directamente los niveles de contaminación ambiental producto del ruido y las emisiones de gases contaminantes.

Los vehículos constituyen una parte fundamental de nuestra vida cotidiana, es por esto, que las continuas emisiones de los motores de combustión interna de los vehículos convencionales son responsables de aportar una de las principales fuentes de contaminación urbana que provoca el efecto invernadero, por lo que promueve de cierta forma el calentamiento global. En Chile, el sector transporte es responsable del 22% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [5].

Se espera un posible agotamiento de los combustibles fósiles y una mayor conciencia social, por lo que se ha optado por una serie de mejoras e innovaciones tecnológicas en el sector de la automatización, en donde nace la masificación de los vehículos eléctricos y los vehículos eléctricos híbridos.

En los próximos años seremos los espectadores de todos estos cambios, que formaran una verdadera revolución energética en el área de los automóviles y las energías renovables.

En Chile, el uso del sector transporte es importante y satisface principalmente con derivados del petróleo, el cual es importado desde los países productores. La energía usada en transporte, el 98% proviene de derivados del petróleo [5].

Actualmente en Chile existen 374 vehículos eléctricos, un porcentaje mínimo del parque vehicular del país, situación que pretende cambiar la estrategia de movilidad eléctrica impulsada por el Gobierno de Chile [6].

Si bien los autos eléctricos no emiten ningún tipo de gases contaminantes en el lugar en el que circulan, para generar la electricidad con la que se recarga el vehículo es muy probable que se utilizara combustible fósil en el proceso para generar dicha energía, por lo que existen unas emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a esa generación de electricidad.

Debido a que el parque vehicular ira en un constante crecimiento, es inevitable que las emisiones de gases contaminantes aumenten. Esto dependerá de que tecnología este compuesto el parque automotriz.

Tomando en consideración lo anterior, se realiza el siguiente estudio de la conversión de la matriz automotriz chilena a vehículos eléctricos, para medir los niveles de contaminación de gases de efecto invernadero y los niveles de generación eléctrica, considerando distintas proyecciones de participación de vehículos que utilizan la tecnología eléctrica. En primera instancia se desarrollará un estudio de la actual matriz eléctrica nacional, abordando un estudio de los proyectos de generación que se encuentran en aprobación.

Luego, se realiza un estudio de los vehículos eléctricos, abordando las diferentes configuraciones que existen de estos vehículos, los tipos y modos de recarga, las actuales electrolinerías de Chile, el mercado actual de esta tecnología y las ventajas de utilizar este tipo de vehículos frente a los vehículos convencionales. El estudio contempla un enfoque solo en los vehículos eléctricos a baterías.

Se desarrolla un modelo analítico con el propósito de analizar la situación bajo una alta competitividad de los vehículos eléctricos. Este modelo permite cuantificar el consumo de energía eléctrica de los vehículos eléctricos y las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya sea para los vehículos eléctricos como de combustión.

El modelo se desarrolla en dos casos, inicialmente trabajando con buses eléctricos del transporte público de la Región Metropolitana, en donde se proyectan al año 2019, 2031 y 2050 y trabajando con vehículos eléctricos del parque vehicular de Chile, realizando proyecciones al año 2025 y 2050.

### **Objetivos generales**

- Investigar y evaluar el efecto de la conversión progresiva de la matriz automotriz nacional sobre la producción de energía eléctrica y las emisiones de efecto invernadero, sujeto a las variables energéticas en Chile.

### **Objetivos específicos**

- Estudiar la matriz eléctrica nacional actual y su proyección a futuro.
- Estudiar los principales aspectos característicos de los diferentes tipos de vehículos eléctricos.
- Estudiar el mercado actual de los vehículos eléctricos.
- Estudiar los diferentes sistemas de carga.
- Estudiar la proyección a futuro de los vehículos eléctricos.
- Proponer modelo analítico el cual permita cuantificar el impacto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento del consumo de energía eléctrica, debido a la incorporación de los vehículos eléctricos.
- Evaluación de la proyección de buses eléctricos en el Transantiago.
- Evaluación de la proyección de vehículos eléctricos en el parque automotriz de Chile.

# 1 Matriz eléctrica nacional

La matriz eléctrica nacional está conformada por el conjunto de instalaciones de centrales generadoras eléctricas, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y líneas de distribución interconectadas entre sí, que permiten generar transportar y distribuir la energía eléctrica.

En el área de generación eléctrica se definirán tres tipos de categorías:

- **Centrales Termoeléctricas:** Este tipo de centrales trabaja a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles, como petróleo-diésel, gas natural, carbono o combustible mixto. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover una turbina y un alternador para producir energía eléctrica, liberando dióxido de carbono a la atmosfera [7].
- **Central Hidroeléctrica Convencional:** Este tipo de centrales trabaja a partir de la energía producida del agua, en donde se aprovechan los ríos para almacenar agua que luego es liberada hacia flujos estrechos con alta presión. Esta se conduce hacia una turbina conectada a un generador eléctrico transformado parte de la energía mecánica en eléctrica. Finalizado el proceso, el agua es devuelta al río [8].
- **Energías Renovables no Convencionales (ERNC):** Las energías renovables se caracterizan debido a que, en sus procesos de transformación y aprovechamiento de energía útil, se utilizan fuentes naturales y estas no se consume ni se agota en una escala humana. En Chile se define como fuentes de Energías Renovables no Convencionales a la eólica, la pequeña hidroeléctrica (centrales hasta 20 MW), la biomasa, la geotermia, la solar y la energía de los mares [9].

En la Figura 1-1 se puede apreciar los sistemas de los cuales se descompone la matriz eléctrica nacional, los cuales se encargan de suministrar energía a aproximadamente 17.574.003 habitantes a lo largo de todo Chile [10].

El Sistema Eléctrico Nacional, es el que mayor importancia tiene dentro de los sistemas que componen la matriz eléctrica nacional, ya que suministra energía desde la Región de Arica y Parinacota hasta parte de la región de Los Lagos, cubriendo 13 de 15 regiones nacionales.

En conjunto, la matriz eléctrica nacional logra una capacidad instalada neta de generación eléctrica, al mes de febrero de 2018, de 23.036 MW.

Del total de capacidad instalada, se distribuye en un 53% a generación termoeléctrica, 27% generado por hidroeléctricas convencionales y un 20% correspondiente a tecnologías en base a ERNC [11]. En la Figura 1-2 se puede observar de mejor manera la participación de las centrales generadoras, según categoría, de la matriz eléctrica nacional.

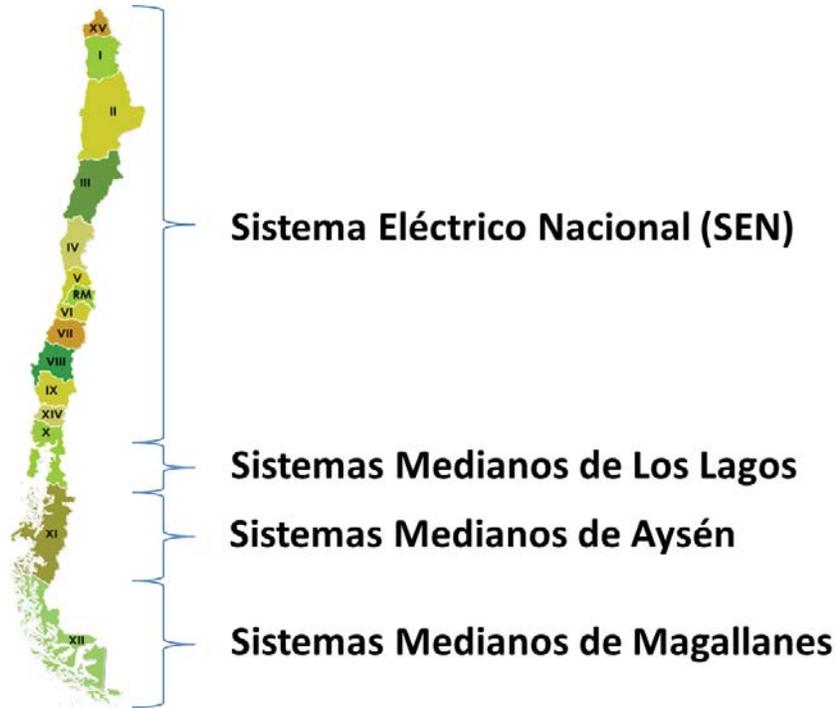


Figura 1-1: Matriz Eléctrica Nacional.

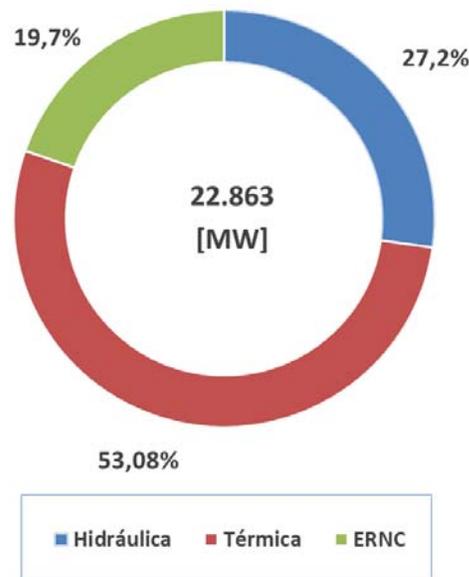


Figura 1-2: Capacidad total instalada de generación eléctrica en Chile.

Se debe destacar que, del total de la capacidad total instalada neta, no se considera el sistema mediano de Isla de Pascua y la central de gas natural ubicada en Salta (Argentina), la cual constan con una capacidad de generación de 4,3 MW y 380 MW, respectivamente [11].

Además, de la capacidad total existente en la matriz eléctrica nacional, existen 27 centrales de generación eléctricas sincronizadas al sistema eléctrico nacional, las cuales se encuentran en procesos de prueba. En conjunto, estas centrales alcanzan una capacidad de generación de 488 MW [11].

## 1.1 Sistemas Medianos

Se define como Sistemas Medianos a aquellos sistemas eléctricos que poseen una capacidad instalada de generación superior a 1.500 kW e inferior a 200 MW, calificando como tal los sistemas de Isla de Pascua, Los Lagos, Aysén y Magallanes [12].

### 1.1.1 Sistema Mediano de Isla de Pascua

Este sistema abarca la zona de la Isla de Pascua, la cual está asociada administrativamente a la V Región de Valparaíso. Suministra electricidad a una población de 7.750 habitantes, la cual, la mayor parte de estos habitan en su capital Hanga Roa [10].

La capacidad instalada de generación en la Isla es de 4,3 MW. La empresa responsable de generar, transmitir y distribuir la energía es la Sociedad Agrícola y Servicios Isla de Pascua (SASIPA). Esta empresa consta con una sola central de generación, la central Mataveri, la cual solo genera electricidad en base a petróleo diésel [11]. En la Figura 1-3 se muestra la capacidad instalada según su categoría, de la cual está compuesto este sistema.

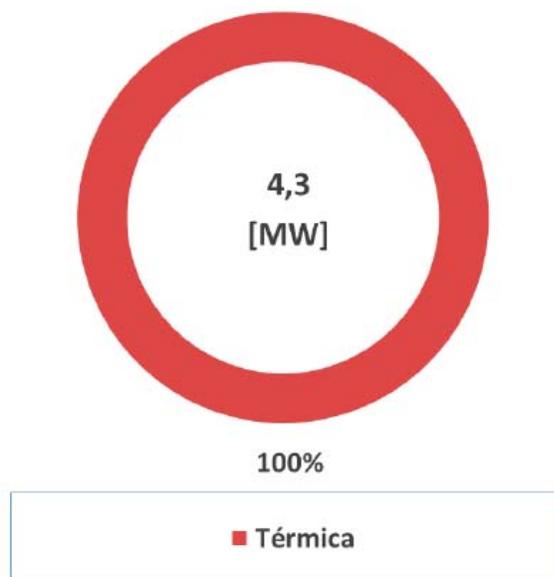


Figura 1-3: Capacidad instalada de generación Isla de Pascua.

### 1.1.2 Sistemas Medianos de Los Lagos

Estos sistemas están ubicados en la Región de Los Lagos, particularmente en las comunas de Cochamó y Hualaihué. Suministran energía a una población del 0,07% (12.967 habitantes) de la población total en Chile [10].

La capacidad de generación instalada total es de 6,92 MW. De estos, 6,15 MW (88,94%) corresponden a centrales termoeléctricas y 0,77 MW (11,06%) corresponden a la central Cuchildeo, la cual, corresponde a una central hidroeléctrica de pasada, categorizada dentro de las ERNC debido a su nivel de capacidad instalada de generación [11]. En la Figura 1-4 se puede observar de mejor manera la capacidad instalada de estos sistemas, según su categoría.

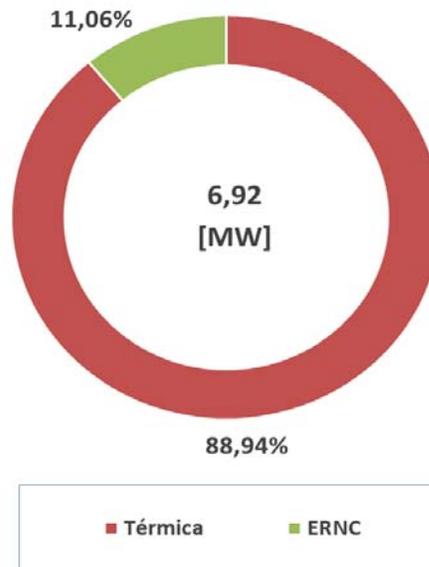


Figura 1-4: Capacidad instalada Sistema Medianos de Los Lagos.

En el año 2017, el mes de junio fue donde la demanda bruta alcanzó su máximo nivel de potencia, llegando a los 3.580 kW. En la Tabla 1-1 podemos observar que la demanda máxima representa un aumento del 6,5% con respecto del mes anterior, que llegó a 3.360 kW y un 8,8% más respecto del mismo mes del año anterior, el cual llegó a 3.290 kW [11].

Tabla 1-1: Demanda máxima Sistemas Medianos de Los Lagos.

Potencia (kW)	Δ% mes	
	May-17	Jun-16
3.580	6,5%	8,8%

La generación bruta durante noviembre del año 2017 llegó a los 1.786 MWh de energía, lo cual se puede observar en la Tabla 1-2 que representa una disminución del 3% respecto del mes anterior, donde se generaron 1.842 MWh y un aumento de 11,97% con respecto al mismo mes del año anterior, el cual se generó un total de 1.595 MWh [11].

Tabla 1-2: Generación bruta Sistemas Medianos de Los Lagos.

Fuente	Potencia (MWh)	$\Delta\%$ mes	
	Nov-17	Oct-17	Nov-16
ERNC	494	1,85%	52,94%
Termoeléctrica	1.292	-4,79%	1,49%
Total	1.786	-3%	11,97%

En la Figura 1-5 se puede observar la evolución de la generación de energía eléctrica que presentan los Sistemas Medianos de Los Lagos durante un periodo de cuatro años.

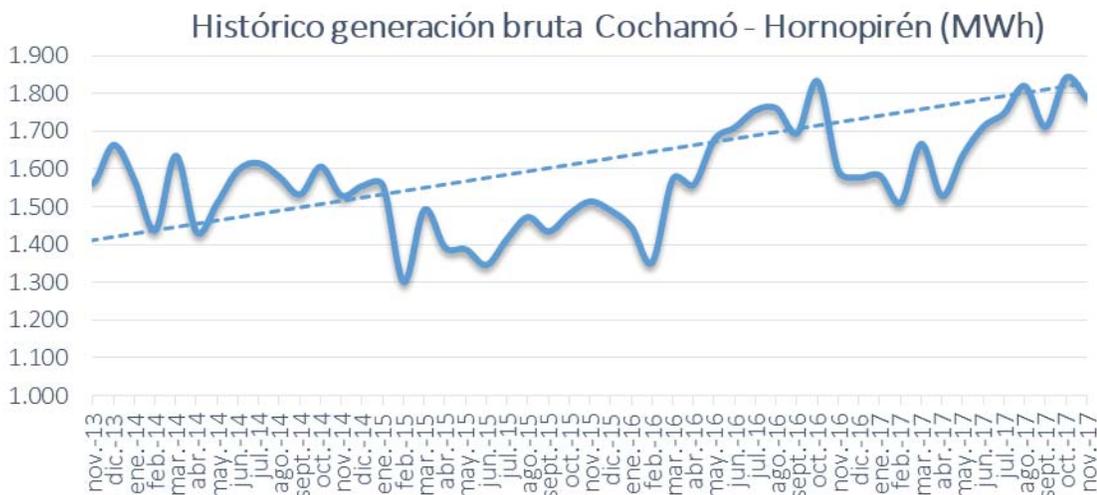


Figura 1-5: Evolución de la generación bruta Sistemas Medianos de Los Lagos [13].

### 1.1.3 Sistemas Medianos de Aysén

Estos sistemas se encuentran ubicados en la Región de Aysén y en las comunas de Futaleufú y Palena, pertenecientes a la Región de Los Lagos. Estos sistemas medianos suministran energía al 0,6% (107.492 habitantes) del total de la población nacional [10].

Consta con una capacidad total instalada de generación de 62,7 MW. De estos, 36,28 MW (57,86%) pertenecen a la capacidad de generación en base a centrales termoeléctricas y 26,42 MW (42,14%) correspondientes a capacidad de generación en base a tecnologías de ERNC. Se destaca la central eólica Alto Baguales ubicada en Coyhaique, aportando 3,78 MW a estos sistemas [11]. En la Figura 1-6 se puede observar la capacidad de generación de estos sistemas, por categoría.

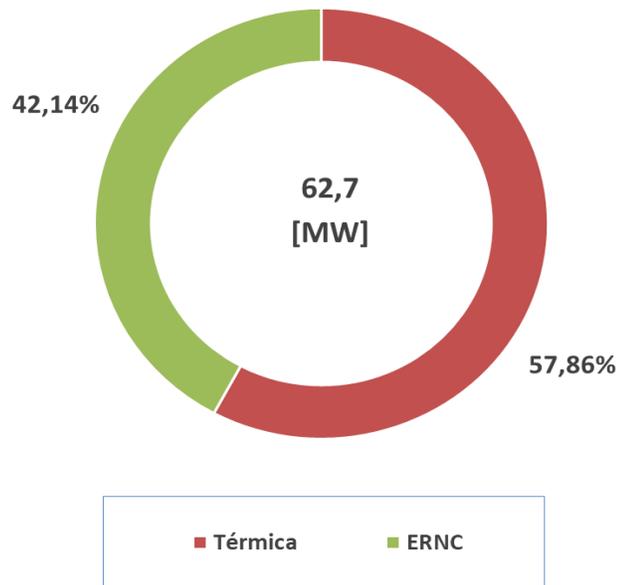


Figura 1-6: Capacidad instalada Sistemas Medianos de Aysén.

En el año 2017, fue en el mes de junio donde se registró la mayor demanda bruta horaria, alcanzando 27,3 MW. En la Tabla 1-3 se puede observar que, la demanda máxima horaria representa un aumento del 7,06% (25,5 MW) respecto del mes anterior y un 5,81% (25,8 MW) más respecto del mes de junio del año 2016 [11].

Tabla 1-3: Demanda máxima Sistemas Medianos de Aysén.

Potencia (MW)	$\Delta\%$ mes	
Jun-17	May-17	Jun-16
27,3	7,06%	5,81%

La generación bruta durante el mes de noviembre del año 2017, fue de 12.888 MWh de energía, lo cual se puede observar en la Tabla 1-4 que representa una disminución de 8,15% (14.032 MWh) respecto del mes anterior y un aumento de 7,69% (11.968 MWh) respecto del mes de noviembre del año 2016 [11].

Tabla 1-4: Generación bruta Sistemas Medianos de Aysén.

Fuente	Potencia (MWh)	$\Delta\%$ mes	
	Nov-17	Oct-17	Nov-16
ERNC	11.531	-7%	18,66%
Termoeléctrica	1.357	-16,85%	-39,69%
Total	12.888	-8,15%	7,69%

En la Figura 1-7 se puede observar la evolución de la generación de energía eléctrica que presentan los Sistemas Medianos de Aysén durante un periodo de cuatro años.

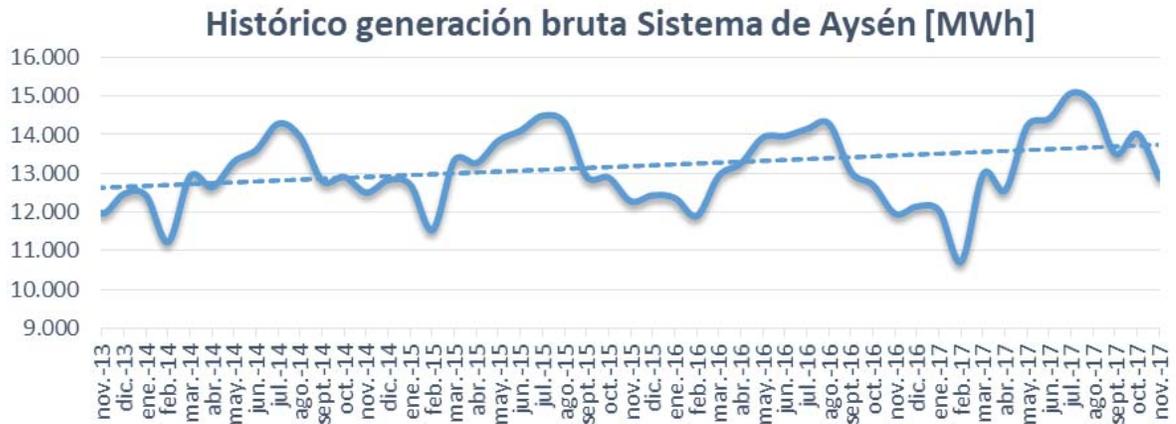


Figura 1-7: Evolución de la generación bruta Sistemas Medianos de Aysén [13].

### 1.1.4 Sistemas Medianos de Magallanes

Los Sistemas Medianos de Magallanes se encuentran formados por 4 subsistemas que abastecen el consumo eléctrico de la Región de Magallanes, los sistemas de Punta Arenas, Puerto Natales, Porvenir y Puerto Williams [14]. Estos suministran energía al 0,95% (166.553 habitantes) de la población en Chile [10].

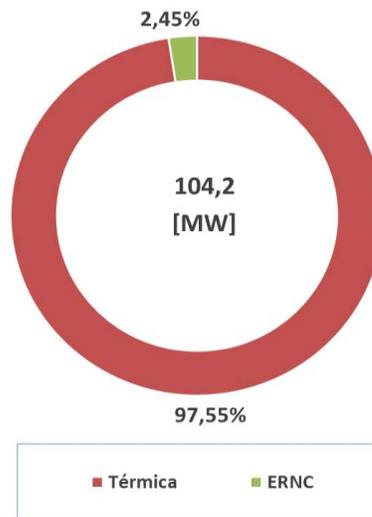


Figura 1-8: Capacidad instalada Sistemas Medianos de Magallanes.

Este sistema consta con una capacidad total instalada de 104,2 MW en generación eléctrica. De estos, 101,68 MW (97,55%) corresponden a generación por centrales termoeléctricas y 2,55 MW (2,45%) pertenecen a la capacidad instalada de la central Cabo Negro. Esta central funciona en base a tecnología eólica, por lo que forma parte de la categoría de las ERNC [11]. En la Figura 1-8

se puede observar cómo está constituida la capacidad instalada de los Sistemas Medianos de Magallanes.

En el año 2017, fue en el mes de junio en donde se registró la máxima demanda bruta horaria, alcanzando los 55,15 MW. De la Tabla 1-5 se puede observar que la demanda en el mes de junio aumento 2,59% (53,76 MW) respecto del mes anterior y se incrementó 3,43% (53,32 MW) con respecto al mismo mes del año anterior [11].

Tabla 1-5: Demanda máxima Sistemas Medianos de Magallanes.

Potencia (MW)	$\Delta\%$ mes	
Jun-17	May-17	Jun-16
55,15	2,59%	3,31%

La generación bruta durante el mes de noviembre del año 2017, fue de 26.264 MWh de energía, lo cual se puede observar en la Tabla 1-6 que representa una disminución de 2,37% (26.900 MWh) en comparación al mes anterior y un aumento de 4,73% (25.076 MWh) respecto al mes de noviembre del año 2016 [11].

Tabla 1-6: Generación bruta Sistemas Medianos de Magallanes.

Fuente	Potencia (MWh)	$\Delta\%$ mes	
	Nov-17	Oct-17	Nov-16
ERNC	793	9,99%	-2,1%
Termoeléctrica	25.470	-2,71%	4,96%
Total	26.263	-2,37%	4,73%

En la Figura 1-9 se puede observar la evolución de la generación de energía eléctrica que presentan los Sistemas Medianos de Magallanes durante un periodo de cuatro años.

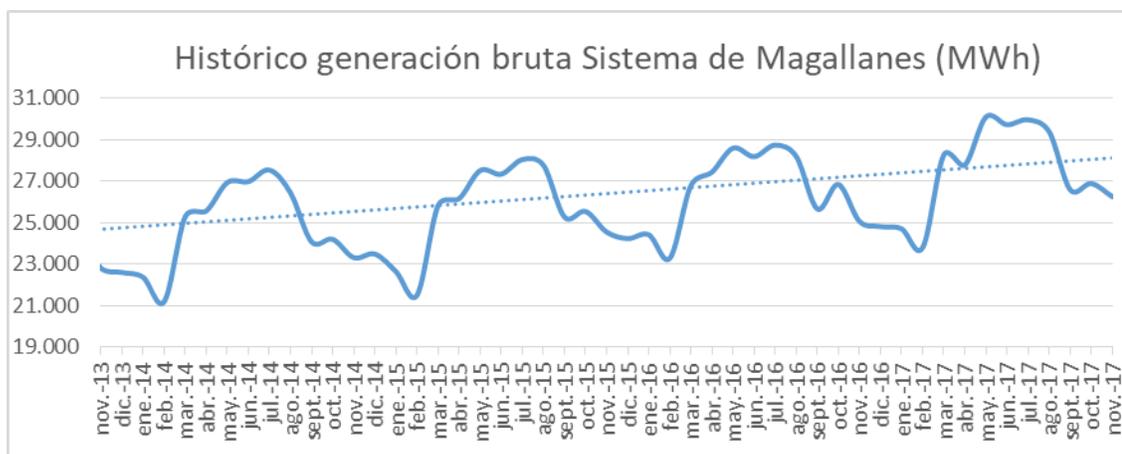


Figura 1-9: Evolución generación bruta Sistemas Medianos de Magallanes [13].

## 1.2 Sistema Eléctrico Nacional

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) nace en noviembre del año 2017, en el momento en que el Sistema Interconectado del Norte Grande y el Sistema Interconectado Central se unifican.

Debido a las características geográficas de Chile, es un sistema único en cuanto a longitud, abarcando un total de 3.100 kilómetros y abarcando casi la totalidad del territorio nacional. El SEN suministra electricidad al 98% (17.279.241 habitantes) aproximadamente, cubriendo desde la ciudad de Arica por el norte, hasta la Isla de Chiloé, por el sur [10].

Al mes de febrero del año 2018, el SEN cuenta con una capacidad total instalada de 22.863 MW, los que corresponden a más del 99% de la capacidad instalada de generación en Chile [11].

Del total de la capacidad instalada en el SEN, 4.504 MW (19,7%) corresponde a tecnología de generación en base a recursos renovables. Las centrales termoeléctricas aportan una capacidad de generación instalada de 12.135 MW (53,08%) y las centrales hidroeléctricas convencionales, contribuyen con 6.224 MW (27,22%) de capacidad instalada en el SEN [11]. En la Figura 1-10 se puede observar una distribución de la capacidad instalada de generación, según su categoría.

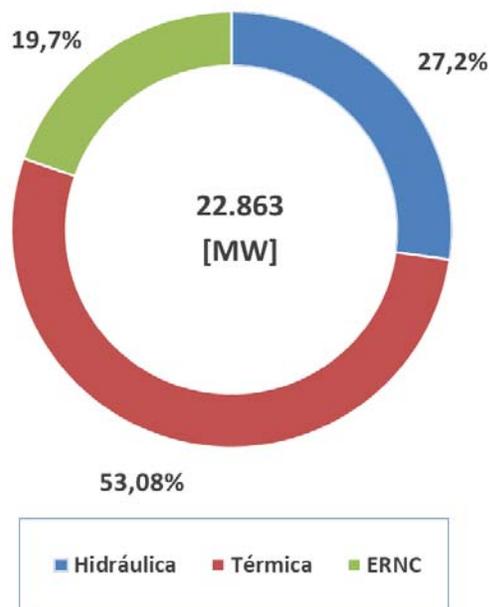


Figura 1-10: Capacidad instalada Sistema Eléctrico Nacional.

En el mes de febrero del año 2018, la demanda bruta máxima horaria del SEN, alcanzó los 10.264 MW potencia. De la Tabla 1-7 se puede observar que aumentó un 1,23% (10.139 MW) en comparación a la máxima producción de potencia registrada en el mes anterior y fue un 2,1% (10.485 MW) menor a la máxima generación horaria que se registró, en conjunto, entre el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) en el mes de febrero del año 2017 [11].

Tabla 1-7: Demanda máxima Sistema Eléctrico Nacional.

Potencia (MW)	$\Delta\%$ mes	
Feb-18	Ene-18	Feb-17
10.264	1,23%	-2,1%

La generación bruta de energía alcanzada por el SEN en el mes de febrero del año 2018, asciende a 6.013 GWh, representado una disminución del 8,55% (6.575 GWh) respecto de la producción de energía registrada en el mes anterior y aumento un 5,47% (5.701 GWh) respecto de la producción de energía registrada en similar mes del año 2017 [11].

Tabla 1-8: Generación bruta Sistema Eléctrico Nacional.

Fuente	Potencia (GWh)	$\Delta\%$ mes	
	Feb-18	Ene-18	Feb-17
ERNC	962,08	-13,93%	14,71%
Hidroeléctrica Convencional	1.623,52	-20,35%	12,35%
Termoeléctrica	3.427,41	0,25%	0,51%
Total	6.013	-8,55%	5,47%

En la Figura 1-11 se puede observar la evolución de la generación de energía eléctrica que presenta el Sistema Eléctrico Nacional durante un periodo de cuatro años. Se debe tener en cuenta que a partir de noviembre del año 2017 comenzó a existir el SEN, es por esto que la generación de los meses anteriores, corresponde a lo generado por el SIC y el SING en conjunto.

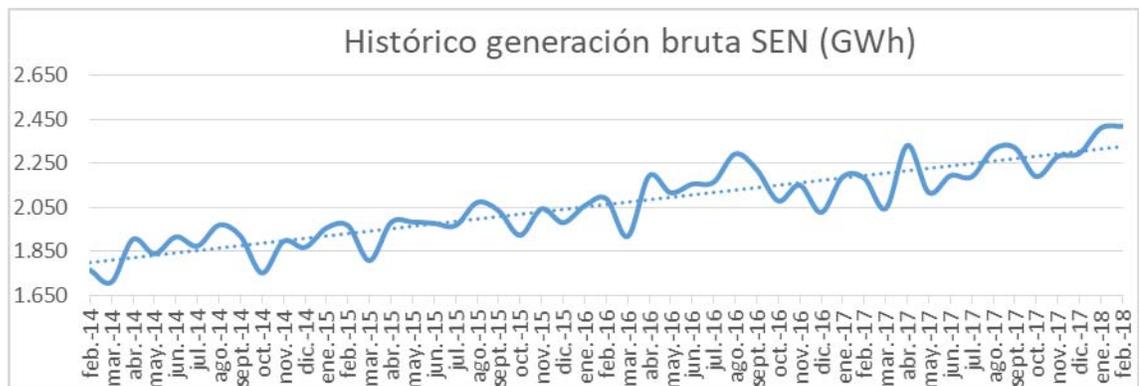


Figura 1-11: Evolución generación bruta Sistema Eléctrico Nacional [13].

### 1.2.1 Generación eléctrica Sistema Eléctrico Nacional 2017

En la Figura 1-12 se muestra la generación eléctrica por tecnología del Sistema Eléctrico Nacional en el año 2017, de la cual se puede observar que la mayor generación es utilizando tecnología en base a centrales terminas. En el año 2017 se generó un total de 74.224 GWh.

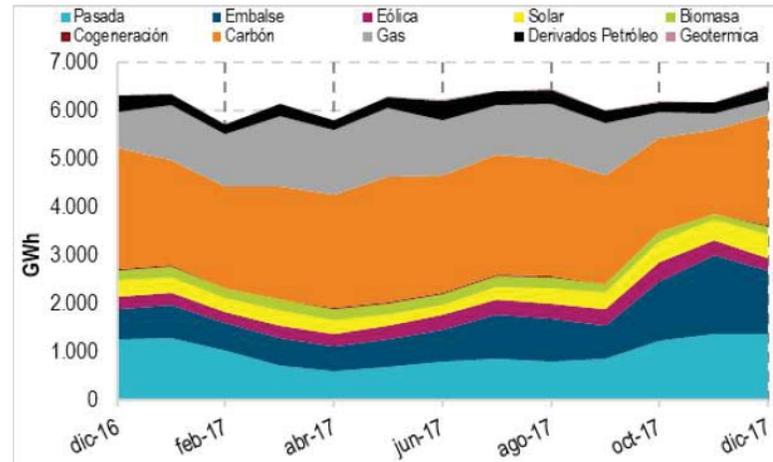


Figura 1-12: Generación eléctrica SEN por tecnología 2017 [3].

Se puede observar que, entre los meses de octubre y diciembre, las centrales hidroeléctricas tienen un mayor impacto de generación al sistema. En la Tabla 1-9 se puede observar la generación eléctrica durante el mes de noviembre del año 2017.

Tabla 1-9: Generación eléctrica noviembre 2017 [15] [16].

Fuente	Potencia (GWh)
Energía Renovable	3.870
Térmica	2.292
Total	6.162

Tabla 1-10: Generación eléctrica mayo 2017 [15] [16].

Fuente	Potencia (GWh)
Energía Renovable	2.012
Térmica	4.281
Total	6.293

Entre los meses de marzo y mayo es, donde mayor generación térmica se generó para el sistema eléctrico nacional. En la Tabla 1-10 se puede observar la generación eléctrica durante el mes de mayo del año 2017.

### 1.3 Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) es un instrumento de gestión ambiental que administra el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), el cual es de carácter preventivo, es decir que permite a la autoridad determinar antes de la ejecución de un proyecto, si este:

- Cumple con la legislación ambiental vigente.
- Se hace cargo de los potenciales impactos ambientales significativos.

El proceso de evaluación finaliza con una resolución que califica ambientalmente el proyecto evaluado, aprobándolo o rechazándolo. Esto se denomina resolución de calificación ambiental (RCA) [17].

#### 1.3.1 Proyectos aprobados

En el mes de enero y febrero del año 2018, se aprobaron cinco proyectos de generación, los cuales se pueden observar en la Tabla 1-11.

Tabla 1-11: Proyectos de Generación Aprobados [18] [19].

Proyecto	Inversión (MMUS\$)	Potencia (MW)	Fuente	Fecha Ingreso
Central Termoeléctrica Ttanti	1.300	1.290	Gas Natural	22/11/2013
Parque Solar Fotovoltaico Nuevo Futuro	200	144	Fotovoltaico	06/07/2016
Central Hidroeléctrica Del Rio Chaica	15	7,3	Hidroeléctrica de Pasada	23/09/2016
Proyecto Parque Solar Tricahue	9	9	Fotovoltaico	20/01/2017
Planta Bio Energía Los Pinos	15	6,2	Biomasa	24/08/2017

En estos proyectos en conjunto, aportan al SEN una capacidad total de generación de 1.456,5 MW. De estos, el 88,57% corresponde a la central termoeléctrica Ttanti y el 11,43% corresponde a los cuatro proyectos restantes, los cuales formaran parte de la categoría de las ERNC.

### 1.3.2 Proyectos en calificación

Al mes de febrero del año 2018, se encuentran 85 proyectos de generación eléctrica. Estos proyectos se encuentran a espera de la RCA, para saber si estos son aprobados o rechazados. Aun así, estos proyectos sirven para tener una idea de cómo va a evolucionar la matriz eléctrica nacional [11].

Estos proyectos en su totalidad, forman una capacidad de generación de 10.322,1 MW. De estos, 7.844 MW corresponden a una capacidad de generación en base a tecnologías de ERNC y 2.478,1 MW corresponden la capacidad de generación de centrales generadoras termoeléctricas. En la Figura 1-13 se observa de mejor manera la distribución, según categoría, de la capacidad de generación aportada por los proyectos en calificación.

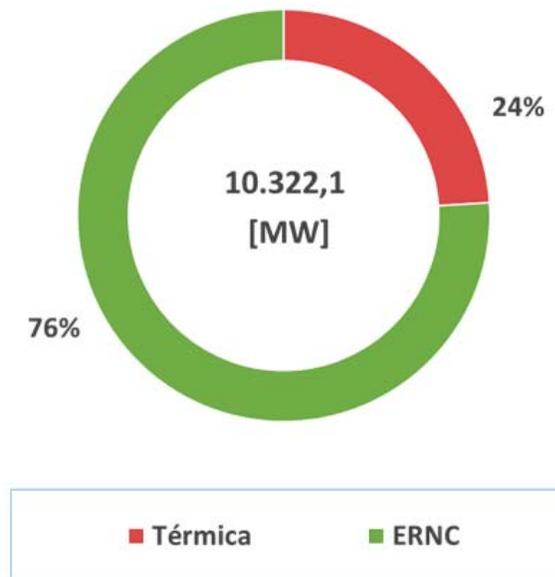


Figura 1-13: Capacidad total de los proyectos en calificación.

### 1.3.3 Proyectos en construcción

Se consideran instalaciones de generación y transmisión en construcción, aquellas unidades generadoras, líneas de transmisión y subestaciones eléctricas para las cuales se hayan obtenido los respectivos permisos de construcción de obras civiles, o bien, se haya dado orden de proceder para la fabricación y/o instalación del correspondiente equipamiento eléctrico o electromagnético para la generación, transporte o transformación de electricidad [20].

Al 23 de abril del año 2018, se pueden contabilizar 48 proyectos de generación de energía eléctrica registrados en etapa de construcción. En conjunto, alcanzan una potencia neta de 2.670,53 MW, los cuales tienen fecha estimada de ingreso a operación durante el periodo comprendido entre abril del año 2018 y marzo del año 2024 [11].

La potencia neta total de estos proyectos están categorizados en, 968,53 MW correspondientes a ERNC, 978 MW pertenecientes a hidroeléctricas y 715 MW constituidos por termoeléctricas. En la Figura 1-14 se puede observar de mejor forma, la distribución de la capacidad que forman los proyectos en construcción según su categoría.

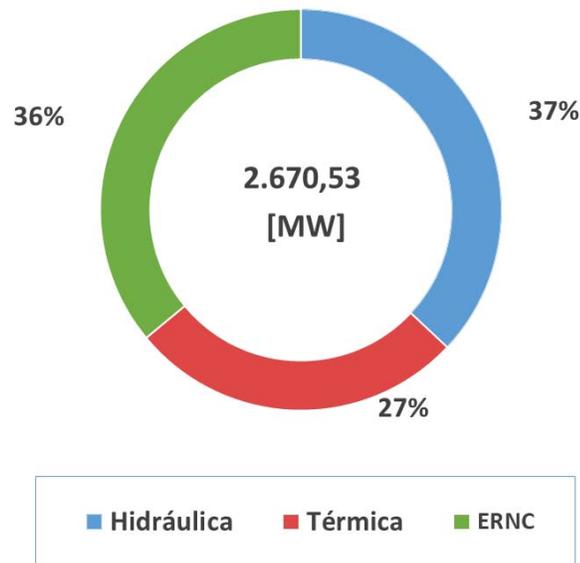


Figura 1-14: Potencia de los proyectos en construcción.

En la Figura 1-15 se puede apreciar una proyección del aporte que harán las próximas centrales generadoras luego de su construcción y conexión a la matriz eléctrica nacional.

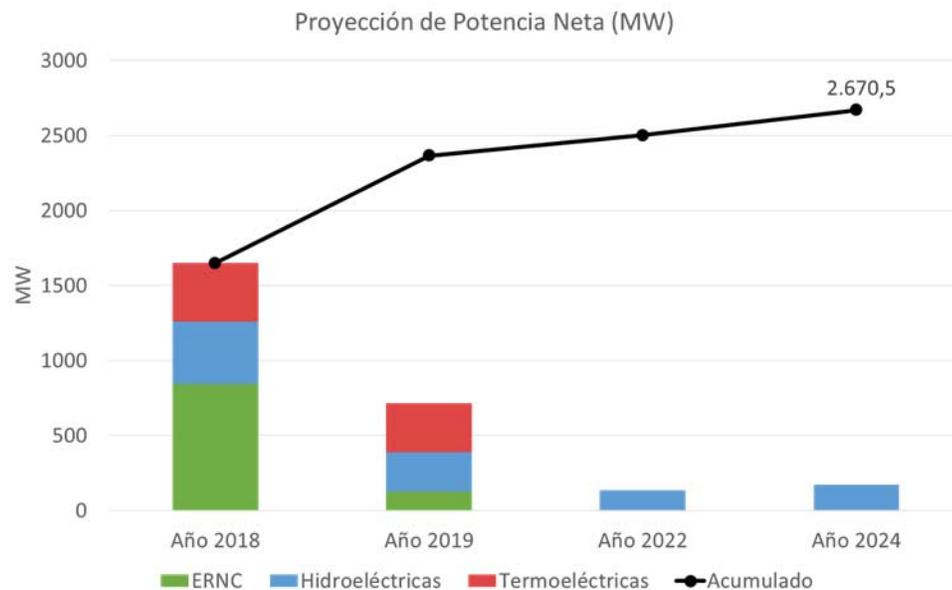


Figura 1-15: Proyección de potencia de los proyectos en construcción.

## 2 Vehículos eléctricos

### 2.1 Historia de los vehículos electricos

El desarrollo de los vehículos eléctricos comenzó en la década de los treinta del siglo XIX. Michael Faraday realizó una serie de investigaciones sobre electromagnetismo, la cual fue la base para la construcción de los primeros modelos de vehículos eléctricos. En 1828 Ányos Jedlik inventó un modelo primario de un motor eléctrico. El primer auto eléctrico no tardó en aparecer y fue en 1830 y 1840 cuando un hombre escocés llamado Robert Anderson inventó el primer vehículo eléctrico puro [21].

En 1895 fue en Estados Unidos donde se empezó a considerar el desarrollo de este tipo de vehículos, después en 1891 A. L. Ryker construyó un triciclo eléctrico y William Morrison desarrolló un vehículo con capacidad de seis personas. Luego de estos, en 1897, se vio la aparición del primer taxi eléctrico, formando una compañía de taxis eléctricos en Nueva York [22].

A comienzos del siglo XX, Estados Unidos comenzó un fuerte desarrollo y los vehículos eléctricos, a gasolina y vapor, eran cada vez más populares. En esta época, las ventajas que tenían los vehículos eléctricos sobre los vehículos a gasolina eran notorias; alguna de ellas era, la menor vibración, disminución de mal olor y ruido, y el no contar con cambios de velocidad. Por otra parte, los vehículos a vapor requerían de 45 min aproximados para poder partir [23].

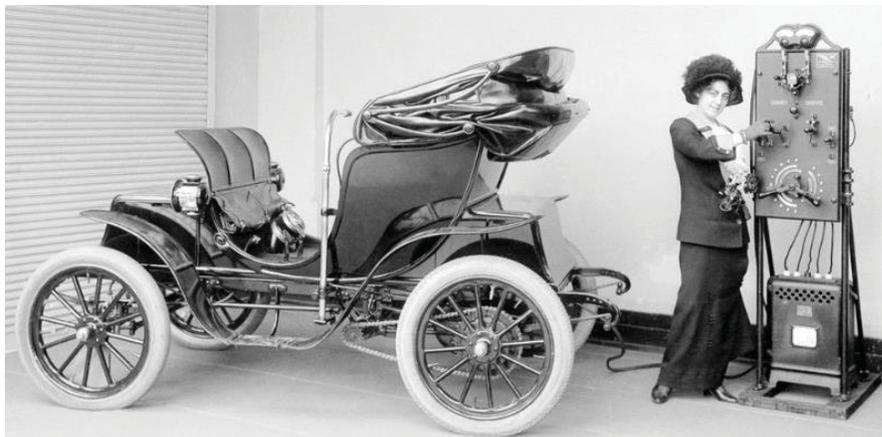


Figura 2-1: Vehículo eléctrico siglo XIX [24].

Durante el resto del siglo XX, el desarrollo de los vehículos eléctricos fue prácticamente detenido y los vehículos a combustión tomaron su lugar ya que estos eran capaces de almacenar grandes cantidades de litros de combustibles, lo cual serviría para recorrer varios kilómetros. Por otro lado, si hubieran querido recorrer la misma distancia con un vehículo eléctrico, habrían necesitado de una batería tres o cuatro veces más grande que el auto. Además, las estaciones de gasolina aparecieron rápidamente y las redes eléctricas nacionales no existían, lo cual hizo que el auto eléctrico solo circulara dentro de la ciudad [23].

Actualmente existen distintos tipos de vehículos eléctricos, como el vehículo a eléctrico a baterías, el híbrido eléctrico enchufable y el híbrido eléctrico, de este último existen diferentes configuraciones según el modelo.

## 2.2 Vehículo eléctrico a baterías (VE)

El vehículo eléctrico a baterías o también conocido como vehículo 100% eléctrico, se caracteriza por la sencillez de su funcionamiento. Utiliza únicamente el motor eléctrico como sistema de propulsión, el cual obtiene la energía eléctrica que se encuentra almacenada en los grupos de baterías recargables para cumplir su función.

En la Figura 2-2 se puede observar de mejor manera la estructura de este vehículo.

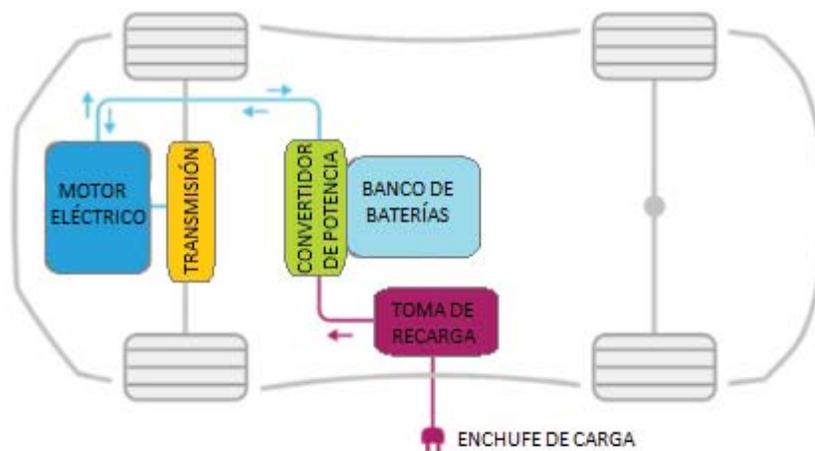


Figura 2-2: Estructura vehículo eléctrico a baterías [25].

Los vehículos eléctricos pasan por las nuevas generaciones de baterías de ion de litio que constan con un gran almacenaje de energía y una larga duración de vida útil, lo cual permite una autonomía que puede llegar hasta los 600 km en los vehículos más modernos.

## 2.3 Vehículo eléctrico microhíbrido

Los vehículos microhíbridos cuentan con la menor contribución de energía eléctrica. Disponen de sistemas de propulsión convencionales, pero incorporan un motor eléctrico, inferior a 5 kW,

el cual se utiliza para aplicaciones tales como acciones de arranque-parada del motor y una pequeña escala de frenado regenerativo.

Los microhíbridos utilizan la funcionalidad de arranque-parada, con el fin de detener automáticamente el motor de combustión interna cuando el vehículo se detiene, y arrancar cuando se utiliza el pedal del acelerador. Con este sistema se pueden alcanzar ahorros de combustible de hasta un 7%. Por el contrario, no ofrece la opción de conducción en modo eléctrico ni de aceleración eléctrica [26].

## **2.4 Vehículo eléctrico híbrido suave**

Este tipo de vehículos constan con las mismas funciones que el Microhíbridos. Se trata de una tecnología que, permite una significativa reducción de los consumos de combustibles y emisiones de gases de efecto invernadero.

Integra un motor eléctrico, superior a 5 kW e inferior a 25 kW, que proporciona asistencia en la aceleración, con lo que el motor de combustión interna puede ser más pequeño y eficiente. El motor eléctrico puede actuar en modo inverso, es decir, como generador cuando el vehículo frena, recuperando energía cinética y cargando las baterías. Con este sistema alcanza un ahorro del 15% al 20% de combustible y una reducción de 15% de emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otra parte, este vehículo no ofrece la opción de conducción en modo eléctrico [26].

## **2.5 Vehículo eléctrico híbrido completo**

Este vehículo consta con un trabajo mutuo entre un motor térmico y un motor eléctrico, por lo que su funcionamiento se basa en una combinación de dos fuentes de energía, la electricidad y el combustible fósil.

Este tipo de modelo permite un funcionamiento limpio a bajas velocidades, ya que utiliza la electricidad almacenada en las baterías para desplazarse, y a la vez recorre grandes distancias al disponer de un motor térmico.

Está equipado con un motor de combustión interna, diseñado para funcionar con su máxima eficiencia en ciertas condiciones de operación, como velocidad constante o cuando ambos motores actúan. Además, en este punto de operación, donde es más eficiente, el motor de combustión produce sus niveles más bajos de emisiones de gases de efecto invernadero [26].

Si se produjera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras situaciones, funciona solo el motor eléctrico, donde se alimenta de la energía almacenada en las baterías.

Consta con un sistema de frenado regenerativo para recuperar energía cinética al frena, que suele disiparse en forma de calor en los frenos, convirtiéndose en energía eléctrica.

Con estas características, el vehículo es capaz de ahorrar hasta un 25% el consumo de combustible [26]. Dependiendo del requerimiento que necesite durante el trayecto, puede funcionar cada

motor de manera independiente o trabajar juntos a la vez, esto gracias a las configuraciones existentes en los vehículos híbridos eléctricos, ya sea configuración en serie, paralelo o serie-paralelo.

### 2.5.1 Configuración en serie

La configuración serie es empleada en los vehículos eléctricos de autonomía extendida, junto con los vehículos eléctricos a batería de autonomía extendida, siendo la diferencia existente en que este último es capaz de carga la batería conectándolo a la red eléctrica.

La potencia requerida para el movimiento de este vehículo, es únicamente por el motor eléctrico, por el contrario, el motor de combustión no se encuentra conectado al eje de transmisión del vehículo [26].

En este tipo de configuración, el motor de combustión interna cumple la función principal de accionar un generador eléctrico, el cual se encarga de suministrar energía a las baterías que se encuentran enlazadas con el motor de propulsión [26]. En caso de conducir un vehículo a baterías de autonomía extendida y su batería este próxima a descargarse, existen algunas soluciones como, recargar las baterías conectándolo a la red eléctrica, o entran en funcionamiento el motor de combustión para cargar las baterías. En la Figura 2-3 se puede observar de mejor manera de este tipo de configuración.

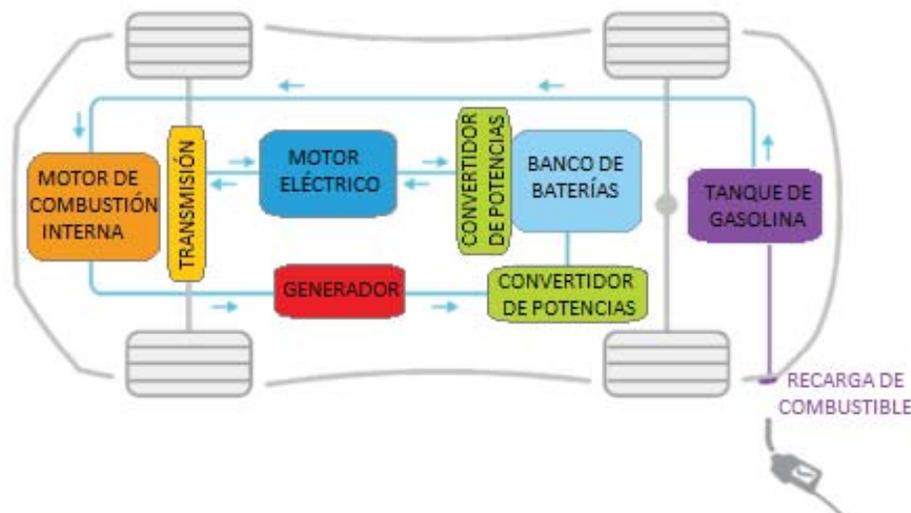


Figura 2-3: Esquema vehículo eléctrico híbrido serie [25].

Una ventaja de esta configuración, es que el motor térmico y el eléctrico se pueden montar de forma separada, lo que permite la posibilidad de distribuir el peso del sistema propulso del vehículo híbrido.

Otros aspectos que se debe tener en cuenta, es el motor de combustión interna que trabaja en su punto de operación óptimo la mayor parte del tiempo, logrando emisiones bajas de gases de efecto invernadero.

Los beneficios de esta configuración se resumen en:

- El estado de carga de las baterías se mantiene siempre con carga, ya que el motor se preocupa de que esto no ocurra, por lo que nunca se detiene.
- El motor de combustión se mantiene funcionando en una zona óptima, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- No requiere caja de cambios.

Por el contrario, la desventaja de este tipo de configuración, se ve reflejada en que el motor a combustión trabaja constantemente en mantener la carga de las baterías.

### 2.5.2 Configuración en paralelo

La configuración híbrido en paralelo, consta del aporte de dos motores, el motor eléctrico y el de combustión interna, que proporcionan potencia propulsiva al vehículo. Ambos motores se configuran de forma paralela, con una unión mecánica que combina ambas fuentes de energía [26]. En la Figura 2-4 se puede observar de mejor forma la estructura de este tipo de configuración.

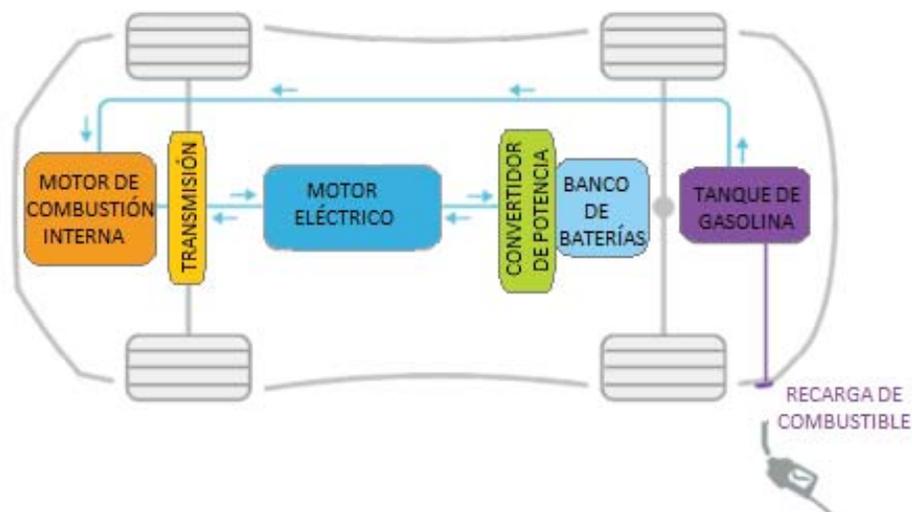


Figura 2-4: Estructura vehículo eléctrico híbrido paralelo [25].

Los requerimientos de potencia para el motor eléctrico, son menores que en la configuración serie, ya que, el motor de combustión interna complementa la potencia total requerida por el vehículo. La potencia propulsora se puede suministrar, tanto por el motor de combustión interna como el motor eléctrico, o bien trabajando de forma cooperativa entre ambos motores, por lo que sus tamaños son más pequeños en comparación con la configuración serie [26].

El inconveniente de esta configuración radica en la complejidad del sistema de control y acoplamiento mecánico.

Los beneficios de esta configuración se resumen en:

- El vehículo tiene más potencia, debido a que, tanto el motor a combustión como el eléctrico proveen la potencia simultáneamente.
- No necesita un generador separado, ya que el motor eléctrico se encarga de recargar las baterías.
- Puesto que la potencia total va acoplada directamente con la transmisión, suelen ser más eficientes ambos motores.

### 2.5.3 Configuración en serie-paralelo

La configuración híbrido serie-paralelo es una mezcla entre la configuración serie y la configuración paralela, en donde utiliza tanto el motor eléctrico como el de combustión.

La potencia de estos motores puede ser compartida para girar las ruedas a través de un acople mecánico. La relación de potencia puede ser completamente aportada por el motor eléctrico, completamente aportada por el motor de combustión, o bien, mezclando ambos motores para generar la potencia total requerida. Además, el motor de combustión puede trabajar en conjunto con un generador independiente, utilizado únicamente para la recarga de las baterías [26].

En este modelo, el motor de combustión es la fuente de energía primaria cuando se recorren largos tramos. En cambio, cuando son distancias cortas, el motor eléctrico es quien entrega la fuente de energía primaria, logrando bajos niveles de gases de efecto invernadero. Cuando se requiere máxima potencia, ambos motores, el motor eléctrico junto con el motor de combustión trabajan de forma cooperativa, con el fin de alcanzar la potencia máxima. En la Figura 2-5 se puede ver la estructura que conforma esta configuración.

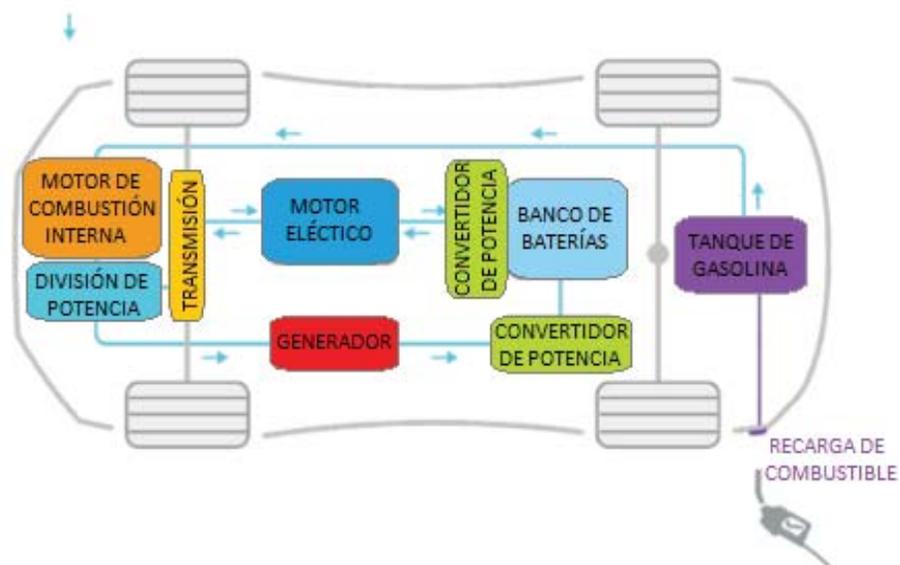


Figura 2-5: Estructura vehículos híbridos serie-paralelo [25].

## 2.6 Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)

Estos tipos de vehículos se mueven gracias a la combinación y funcionamiento mutuo de dos motores, un motor eléctrico y un motor de combustión interna, donde ambos pueden mover las ruedas independientemente, o trabajando de forma cooperativa. De este modo, se reduce el uso del motor de combustión, alcanzando distancias entre 25 a 50 kilómetros utilizando únicamente la tracción eléctrica [26]. En consecuencia, se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero. En la Figura 2-6 se puede observar de mejor manera la estructura de este tipo de vehículos.

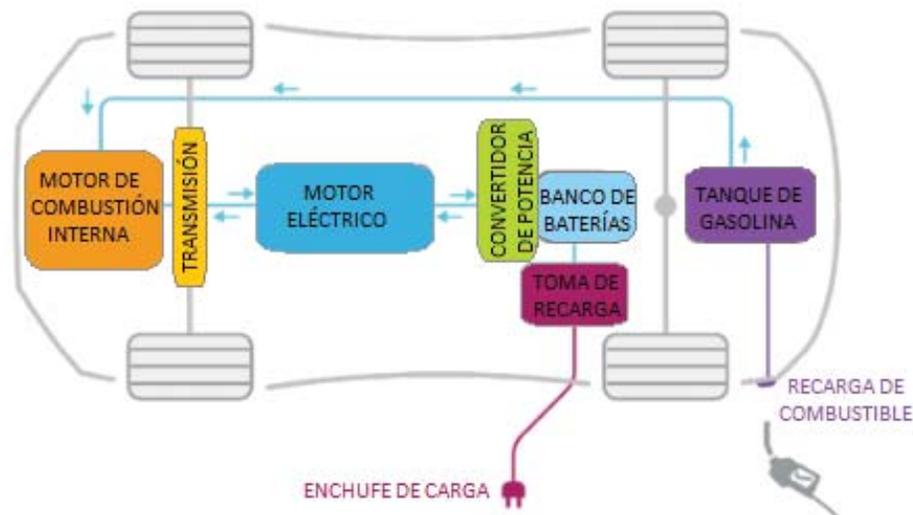


Figura 2-6: Estructura vehículo eléctrico híbrido enchufable [25].

Consta con baterías que se pueden cargar a la red eléctrica, ya sea en casa o en cualquier punto de carga habilitado, además cuenta con el sistema de frenado regenerativo, por lo que proporciona una mayor autonomía en modo eléctrico.

Esta tipología se considera la mezcla entre el vehículo híbrido y el eléctrico a baterías, reuniendo una capacidad de ventajas de ambos que se vuelve clave para llevar a cabo la electrificación del vehículo en entornos urbanos.

Sin embargo, la desventaja de este modelo se encuentra en el alto costo que conlleva lograr la mezcla entre estos dos modelos de vehículos.

## 2.7 Recarga de vehículos eléctricos

El punto de recarga es la parte física y elemental en donde se lleva a cabo el suministro de energía para recargar la batería del vehículo eléctrico. Según la posición en la que estén ubicados los puntos de recarga, se clasifican en equipos de pared (lugares domésticos) y equipos de pie o postes (vía pública y estaciones de recarga rápida).

La recarga del vehículo eléctrico se puede efectuar de diferentes modos y tipos, en donde se emplean distintos tipos de conectores adecuados para cada caso

Todo punto de recarga está conformado por:

- Tomas de corriente que suministran electricidad a las baterías de los vehículos eléctricos.
- Cuadros de señalización que muestran al usuario el estado del proceso de carga.
- Reguladores electrónicos de carga.

En la actualidad existen diferentes tipos de recarga con lo que los vehículos eléctricos pueden ser recargados, utilizando distintas tomas de corriente normalizadas. Dependiendo de la potencia suministrada, esta determina la duración de la recarga. Se puede encontrar desde la recarga lenta, que puede tardar hasta 8 horas, hasta la más rápida que puede llegar a una carga completa en 15 minutos.

También existen los modos de recarga, la cual se determina por el nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de carga.

La norma IEC 61851 establece los modelos de recarga empleados en España, diferenciando cuatro modos de carga de vehículos eléctricos estandarizados [26].

### **2.7.1 Recarga lenta**

La recarga lenta o convencional es la más desarrollada. Se realiza en corriente alterna monofásica, y es la que disponemos en los domicilios particulares al momento de utilizar diversos aparatos de consumo eléctrico. De esta forma, la potencia capaz de suministrar el punto de recarga puede llegar hasta los 3,7 kW [26].

Dado este nivel de potencia, el tiempo requerido para realizar una recarga completa de la batería del vehículo eléctrico, puede tardar entre 6 a 8 horas, la cual varía dependiendo de la capacidad de almacenamiento de la batería [26]. Es por esto, que debido a que el vehículo deberá permanecer inactivo durante un periodo largo de tiempo, este tipo de recarga presenta como la mejor solución para realizar durante un periodo nocturno en el hogar, o bien durante la jornada laboral donde se tenga acceso a un punto de recarga.

Estos puntos de recarga se encuentran equipados con sistemas de proyección, que permiten una recarga segura. Esta protección se logra a través de interruptores diferenciales y sensores de conexión y bloqueo.

### **2.7.2 Recarga semi-rápida**

La recarga semi-rápida tiene como fin, lograr disminuir el tiempo de espera de la recarga convencional. Este punto de recarga es capaz de suministrar hasta una potencia de 7,3 kW.

Con este tipo de recarga, el proceso para carga completa de la batería del vehículo eléctrico se alcanza en aproximadamente 4 horas, la cual puede variar dependiendo del almacenamiento de

la batería. Existe la posibilidad de disminuir el tiempo de recarga hasta en 1 hora si la recarga se realiza con corriente trifásica, llegando a suministrar una potencia de hasta 22 kW [26].

La potencia entregada bajo esta recarga, permite una mayor vida útil de la batería al no ser sometida a elevadas temperaturas. Al igual que ocurre con la recarga convencional, estos puntos de recarga llevan incorporados un sistema de seguridad, como protecciones diferenciales y sensores de conexión y bloqueo.

### **2.7.3 Recarga rápida**

En este tipo de recarga, la energía se suministra en corriente continua, empleando una mayor corriente de hasta 200 A, y logrando entregar una potencia de 80 kW como máximo [26]. Para esto, se requiere de un rectificador para transformar la corriente alterna suministrada por la red eléctrica en corriente continua para lograr la recarga.

Debido a la limitación en la autonomía de los vehículos eléctricos, la integración de puntos de recarga rápida permite alargar el número de kilómetros recorridos con recargas entre 15 a 30 minutos, recargando la batería como máximo entre 65% y 80% de su capacidad y el porcentaje restante se completa mediante la recarga convencional [26].

Este tipo de recarga, al igual que las anteriores, están equipadas con las correspondientes medidas de protección, y se encuentran instalados en lugares públicos centros comerciales o zonas de trabajo, donde se tenga acceso momentáneo a una carga rápida durante el trayecto, De esta manera, los clientes se desplazarán de las estaciones de recarga rápida, conocidas como electrolineras, de igual forma que lo harían a una gasolinera. Sin embargo, su uso de forma constante impactaría en el comportamiento futuro de la batería, por lo tanto, conllevaría una menor vida útil de la misma.

En comparación a la recarga convencional, la potencia que requiere este tipo de instalaciones es similar a la de 15 hogares, por lo que a gran escala y desde el punto de vista del suministro eléctrico, podría generar problemas en las redes de distribución eléctrica [26].

### **2.7.4 Modo 1**

En este modo se encuentra las infraestructuras en las que no existe comunicación entre el vehículo y la red eléctrica, ya que el vehículo es el que cuenta con un dispositivo que controla el proceso de carga.

Este modo utiliza corriente alterna suministrada de la red eléctrica, la cual se hace a través de una toma de corriente normalizada, convencional doméstica o industrial. Este modo de carga no requiere de un conector específico para conectar un vehículo eléctrico. Se utiliza un cable que no incorpora ningún tipo de sistema de protección ni de control. En el caso de una recarga monofásica, la potencia de carga máximo es de 3,7 kW y 11 kW en conexión trifásica, con una corriente máxima de 16 A. En la Figura 2-7 se puede observar una representación de este modo.



Figura 2-7: Modo 1 de carga de vehículos eléctricos [25].

Existen países como Estados Unidos que no permiten la carga en modo 1, ya que las normas nacionales no aseguran la presencia de un dispositivo de corriente residual en la parte de la alimentación.

### 2.7.5 Modo 2

Este modo proporciona una carga de corriente alterna y al igual que el modo 1, no consta con una comunicación entre el vehículo y la red eléctrica, siendo el propio vehículo el que regula la carga de las baterías.

A diferencia del modo 1, el cable empleado para la carga del vehículo, dispone de un circuito piloto de control intermedio con protecciones que cuentan con las siguientes funciones:

- Verificar la correa de conexión del vehículo a la red.
- Comprobar continuamente la conexión a tierra.
- Activar y desactiva la recarga del sistema.
- Seleccionar la velocidad de recarga.

Para la conexión del vehículo eléctrico a la red eléctrica, se utilizan tomas normalizadas que no requieren estar conectadas de forma permanente a la red. En la mayoría de los casos en el lado de la infraestructura se sitúa un enchufe convencional y en el modo del vehículo se dispone de un conector específico.

En la Figura 2-8 podemos observar una representación del modo de conexión número 2.



Figura 2-8: Modo 2 de carga de vehículos eléctricos [25].

Al disponer de un sistema de seguridad, este modo permite entregar una potencia máxima de 3,7 kW para cargas monofásicas y 22 kW para trifásicas, con una corriente máxima de 32 A para ambos casos.

### 2.7.6 Modo 3

Este modo consta con alto grado de comunicación entre el vehículo y el punto de recarga, ya que la conexión del vehículo a la red eléctrica se realiza mediante un equipamiento dedicado exclusivamente a la recarga del vehículo eléctrica, la cual permite monitorear la carga.

Los dispositivos de control y protección se disponen en el propio punto de recarga y no en el cable, los cuales se encargan de controlar las mismas acciones que en el modo anterior. El valor máximo de potencia es idéntico al del modo 2, mientras que la corriente que puede llegar como máximo a 64 A. En la Figura 2-9 se puede observar una representación de este tipo de modo.



Figura 2-9: Modo 3 de carga de vehículos eléctricos [25].

### 2.7.7 Modo 4

Este modo consta con un gran nivel de comunicación con la red, además transmite energía en corriente continua, por lo que se logra transmitir mayores cantidades de potencia de la red eléctrica al vehículo, cercanas a los 84 kW. Por lo que, es diseñada para recargas del tipo rápida, logrando alcanzar una carga total en 30 minutos, trabajando en corriente continua.

En la Figura 2-10 se observa una representación del modo 4 de carga de vehículos eléctricos.



Figura 2-10: Modo 4 de carga de vehículos eléctricos [25].

La conexión del vehículo eléctrico a la red, se hace a través de un equipamiento dedicado en forma exclusiva a la recarga del vehículo con una toma de recarga fija. A través de un cargado externo se

realiza la conversión de corriente alterna a continua. Las funciones, de control como la de protección, se encuentran instaladas en el módulo de carga fijo.

## 2.8 Actuales electrolinerías

La autonomía es un factor clave de los vehículos eléctricos, ya que, de esta, depende la independencia del mismo. En promedio, los modelos que llegan a Chile tienen una autonomía que va desde los 150 kilómetros hasta los 280 kilómetros. La mayor desventaja de la industria de esta tecnología, es la falta de lugares de carga. Actualmente en Chile, existen un total de 25 electrolinerías o estaciones de carga, donde 19 de estas están ubicadas en diversos puntos de la ciudad de Santiago. En la Tabla 2-1 se pueden observar en más detalle las actuales electrolinerías nacionales.

Tabla 2-1: Electrolinerías de Chile [27].

Lugar	Dirección	Comuna	Potencia (kW)	Puntos de carga
Edificio Enel	San Isidro #85	Santiago	50	1
Petrobras Vitacura Vespucio	Av. Américo Vespucio #1665	Vitacura	50	1
Shell Los Dominicos	Av. Patagonia #75	Las Condes	50	1
Copec Costanera Norte, Vitacura	Costanera Norte km. 8	Vitacura	50	1
Copec Costanera Norte, Pudahuel	Costanera Norte km. 34	Pudahuel	50	1
Copec Av. Libertad	Av. Libertad #501	Viña del Mar	50	1
Shell Autopista Central	Km16, Ruta 5 Sur	San Bernardo	50	1
Ómnium	Apoquindo #4900	Las Condes	22	2
Smartcity, Ciudad Empresarial	Av. Del Parque #4980	Huechuraba	22	2
Mac Iver, Santiago Centro	Mac Iver #424, esquina Merced	Santiago	22	2
Bodegas San Francisco	Puerto Madero #9710	Pudahuel	22	2
Moneda – Teatinos, Santiago Centro	Moneda #1326, esquina Teatinos	Santiago	22	1

Lugar	Dirección	Comuna	Potencia (kW)	Puntos de carga
Duco UC	Av. Vicuña Mackenna #4917	San Joaquín	22	2
Plaza España, Concepción	Barros Arana #13	Concepción	22	2
SABA Plaza de Armas	21 de Mayo #576, Piso - 1	Santiago	7	2
Costanera Center	Nueva Tobalaba, #12, Piso -1	Providencia	7	2
Oficinas Chilquinta	Av. Argentina #1	Valparaíso	7	2
Mall Plaza Vespucio	Av. Vicuña Mackenna #7110	La Florida	7	2
Mall plaza Los Domínicos	Av. Padre Hurtado Sur #875, Piso -2	Las Condes	7	4
Centro Parque Araucano	Presidente Riesco #5330	Las Condes	7	7
Parque Arauco	Entrada Cerro Colorado, Nivel 2	Las Condes	7	2
Municipalidad de Vitacura	Bicentenario #3800	Vitacura	7	4
Mall Marina	15 Norte #635, Piso -1	Viña del Mar	7	2
Boulevard Marina	13 Norte #853, Piso -1	Viña del Mar	7	2
CGE Rancagua	El Trébol #617	Rancagua	7	2

Existen empresas, que se encuentran trabajando en planes de expansión de estaciones de carga, en el cual, esperan cubrir rutas como la de La Serena-Santiago, Santiago-Viña del Mar y Santiago-Concepción, de forma de que los vehículos tengan opciones de carga en el camino para viajes largos [28].

En Chile, existen dos tipos de cargas, las rápidas que demoran alrededor de 30 minutos para una carga de 80%, y semi-rápidas, que tardan entre 1 y 2 horas en obtener la energía necesaria para transportarse en un vehículo eléctrica.

Una opción más cómoda, es el sistema de carga de cualquier enchufe convencional, ya que, este es capaz de soportar sin problemas la carga de un vehículo eléctrico. Aunque, la desventaja es el

tiempo que tarde en recargar las baterías, debido a que tardan hasta 8 horas en recargar, siendo el más lento de todos los sistemas de carga.

Además, los usuarios de los vehículos eléctricos pueden cargar sus vehículos en sus casas u oficinas, gracias a dispositivos de carga Wall Box que Enel comercializa e instala. Estos equipos, son entre 2 a 4 veces más rápidos que los enchufes convencionales. La carga en el hogar es la solución perfecta para cargar los vehículos eléctricos y no tener que viajar a una electrolinera con este motivo.

## 2.9 Comercialización de vehículos eléctricos

La venta de los vehículos eléctricos ha ido incrementando paulatinamente, a pesar de pertenecer solo a un 0,2% de los 1.200 millones de vehículos totales en el mundo. En el año 2016, se registró una circulación de 2 millones de vehículos eléctricos por todo el mundo. Además, se realizó una proyección de ventas de vehículos eléctricos en 1 millón 200 mil para el año 2017, teniendo un total para finales del año 2017, de alrededor de 3 millones de vehículos eléctricos en todo el mundo [29]. El registro mencionado anteriormente se puede apreciar de mejor manera en la Figura 2-11.

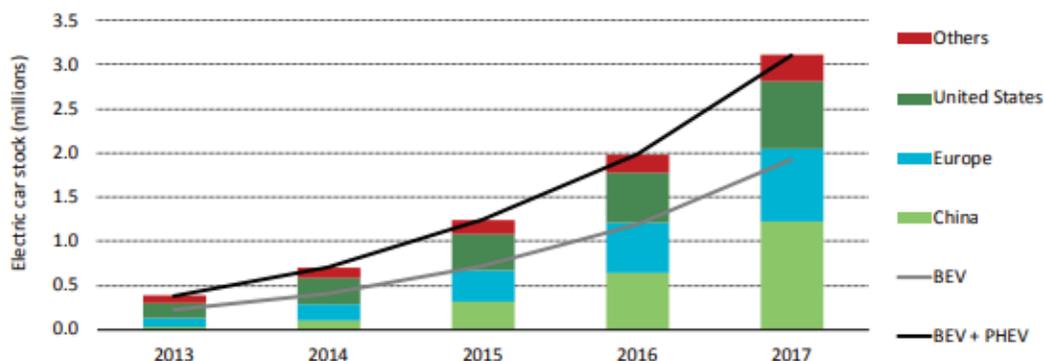


Figura 2-11: Evolución a nivel mundial de las ventas de vehículos eléctricos [29].

El mercado de los vehículos eléctricos se acerca en un número limitado de países, siendo estos el 95% de los mayores comercializados. Dichos países son: China, Estados Unidos, Japón, Canadá, Noruega, Gran Bretaña, Francia, Alemania, Países Bajos y Suecia.

Con una demanda del 29% en el mercado de los vehículos eléctricos, se encuentran Noruega, siendo el mayor propulsor. Sin embargo, en 2016, China se convirtió en el país con mayor cantidad de vehículos eléctricos superando cifra del 40% de los vehículos eléctricos vendidos en el mundo y más del doble de la cantidad vendida en los Estados Unidos.

En Chile, aun no hay una conciencia tan ecológica como la que desarrolla en los países europeos. Esto se puede ver reflejado en las cifras del mercado, siendo actualmente 230 vehículos eléctricos que se encuentran en nuestro país.

### 2.9.1 Actuales vehículos eléctricos

Existen diversas empresas productoras de vehículos eléctricos, en donde algunas de ellas son Nissan, Tesla, Renault, entre otras. Algunos modelos de vehículos eléctricos y sus características se mencionan a continuación.

El Nissan Leaf lanzó su primer modelo de su generación del año 2010 al comercio. A la fecha, cuenta con diversas mejoras, por ejemplo, el aumento de la potencia del motor, lo que permite que actualmente presente una autonomía de 389 kilómetros en ciclo urbano.

En la Tabla 2-2, se puede apreciar las características principales de este modelo de la empresa Nissan.

Tabla 2-2: Nissan Leaf [30].



Modelo	Nissan Leaf
Potencia	110 kW
Autonomía Ciclo Urbano	389 km
Batería	40 kWh
Velocidad máxima	144 km/hora

El Tesla Modelo S P85D, tuvo inicio en el mercado estadounidense en el año 2012. Es un vehículo completamente eléctrico y se puede encontrar con varias características según el precio. Los vehículos Tesla destacan por su gran autonomía, la cual, para el Modelo S, puede llegar a recorrer hasta 407 kilómetros con el modelo que incluye una batería de 85 kWh.

En la Tabla 2-3 se pueden observar algunas de las características principales del Modelo S de la empresa Tesla.

Tabla 2-3: Tesla Modelo S [31].



Modelo	Tesla Modelo S
Potencia	515 kW
Autonomía	407 km
Batería	85 kWh
Velocidad máxima	250 km/hora

El modelo Renault Zoe, es el vehículo más vendido el año 2017 en Europa, logrando vender alrededor de 1.327 unidades en España y 28.425 unidades en todo Europa [32]. Es un vehículo que ha evolucionado bastante con el pasar de los años, sus primeros modelos constaban con una autonomía de 210 kilómetros y actualmente, con una batería de 41 kWh, puede llegar hasta los 403 kilómetros de autonomía.

En la Tabla 2-4 se pueden observar las características principales de este modelo eléctrico de la empresa Renault.

Tabla 2-4: Renault ZOE [33].



Modelo	Renault ZOE
Potencia	68 kW
Autonomía	403 km
Batería (Z.E.40)	41 kWh
Velocidad Máxima	135 km/hora

El Hyundai Ioniq, es el modelo más eficiente de la marca coreana en versión eléctrica, híbrida e híbrida enchufable. La versión 100% eléctrica cuenta con una autonomía de 280 kilómetros gracias a la capacidad de la batería, la cual es de 28 kWh. En la Tabla 2-5 se muestran alguna de las características este modelo eléctrico de la empresa Hyundai.

Tabla 2-5: Hyundai Ioniq [34] [35].

---



---

Modelo	Hyundai Ioniq
Potencia	88 kW
Autonomía	280 km
Batería	28 kWh
Velocidad máxima	165 km/h

---

El Kia Soul es un vehículo eléctrico urbano que sorprende por su capacidad y diseño. Se estima que su batería, de 27 kWh, es capaz de alcanzar una autonomía de 200 kilómetros aproximados. En la Tabla 2-6 se pueden observar las características principales de este modelo de la empresa Kia.

Tabla 2-6: Kia Soul [36].

---



---

Modelo	Kia Soul
Potencia	90 kW
Autonomía	200 km
Batería	27 kWh
Velocidad Máxima	145 km/h

---

### 2.9.2 Actuales vehículos eléctricos híbridos

En el tipo de modelos de vehículos híbridos eléctricos actualmente existen las empresas Toyota, Kia, Lexus, entre otras, que constan con este tipo de modelos en su catálogo.

Toyota se encuentra primero en el ranking de los vehículos híbridos más vendido en Chile, vendiendo un total de 503 unidades al mes de octubre del año 2018, siendo el líder en el segmento de vehículos ecológicos [6].

El Toyota Auris es un vehículo híbrido eléctrico, el cual gracias a sus características puede llegar a un consumo de 4,5 litros de combustible por cada 100 kilómetros recorridos.

En la Tabla 2-7, se encuentran de forma más detallada las características principales de este vehículo híbrido de la empresa Toyota.

Tabla 2-7: Toyota Auris [37].



Modelo	Toyota Auris
Potencia	100 kW
Consumo	4-4,5 l/100 km
Emisiones	90-103 g/km
Tiempo aceleración (0 a 100 km/h)	10,9 segundos

El vehículo Toyota Camry Híbrido, es actualmente líder del mercado vehicular en la categoría híbridos, debido a que es considerado uno de los más veloces en la categoría híbrida, alcanzando los 100 km/h en tan solo 7,9 segundos.

En la Tabla 2-8 se encuentra algunas de las características principales de este vehículo híbrido de la empresa Toyota.

Tabla 2-8: Toyota Camry Híbrido [38].



Modelo	Toyota Camry
Potencia	105 kW
Consumo	21 km/lt
Emisiones	113 g/km
Tiempo aceleración (0 a 100 km/h)	7,8 segundos

El vehículo Kia Niro híbrido, destaca ampliamente entre los compradores de vehículos. En el año 2017, este modelo obtuvo el primer lugar en confiabilidad y también ganó el record Guinness por bajas emisiones de CO<sub>2</sub> [39].

En la Tabla 2-9 están disponibles algunas de las características más destacadas de este vehículo híbrido.

Tabla 2-9: Kia Niro Híbrido [40].



Modelo	Kia Niro
Potencia	108 kW
Consumo	19,8 km/lt
Emisiones	120 g/km
Batería	42 kW

El vehículo Lexus CT 200h, es un vehículo que cuenta con un selector de programas de conducción, el cual permite elegir entre cuatro modos distintos, Normal, Sport, Eco o solo eléctrica. Al seleccionar el modo eléctrico, este vehículo se desplaza en total silencio, sin consumir combustible y generando cero emisiones en su alrededor. Esto se debe a la tecnología híbrida auto recargable que presenta, ya que la batería se recarga con el sistema de frenado regenerativo, lo que no hace necesario conectarlo a la red eléctrica [41].

En la Tabla 2-10 se encuentran algunas de las características principales de este vehículo híbrido de la empresa Lexus.

Tabla 2-10: Lexus CT 200h [41].

	
Modelo	Lexus CT 200h
Potencia	100 kW
Consumo	25,7 km/lt
Emisiones	90 g/km
Tiempo aceleración (0 a 100 km/h)	10,3 segundos

### 2.9.3 Actuales vehículos híbridos eléctricos enchufables

En Chile la empresa Hyundai es quien lidera el mercado de este tipo de vehículos, logrando un total de 44 unidades vendidas al año 2018.

Uno de los modelos de la empresa Hyundai, es el Hyundai Ioniq. Este es un modelo de vehículo ideal para el uso en trayectos cortos, que varíen entre 50 a 63 kilómetros, ya que, debido a su autonomía, permite recorrer esas distancias sin consumir gasolina y ni contaminar en su entorno.

En la Tabla 2-11 se pueden observar algunas de las características principales de este vehículo híbrido de la empresa Hyundai.

Tabla 2-11: Hyundai Ioniq Híbrido enchufable [42].



Modelo	Hyundai Ioniq Híbrido
Potencia	105 kW
Consumo	1,1 l/100 km
Emisiones	26 g/km
Autonomía Eléctrica	50 km

Este modelo del Kia Niro, es muy amigable con el medio ambiente, ya que las emisiones son de 29 gramos por cada kilómetro recorrido. Es capaz de realizar viajes en modo 100% eléctrica, el cual puede llegar a recorrer hasta 58 km gracias a la tecnología que este presenta.

En la Tabla 2-12 se pueden observar algunas de las características más destacables de este vehículo híbrido.

Tabla 2-12: Kia Niro Híbrido enchufable [43]



Modelo	Kia Niro Híbrido
Potencia	122 kW
Batería	8,9 kWh
Emisiones	29 g/km
Autonomía Eléctrica	58 km

El vehículo Range Rover Sport es una mezcla deportiva y ecológica, haciendo mucho más atractivo al mercado. Una de las características destacables, es su alta potencia, la cual llega a 297

kW, considerado como uno de los vehículos más potentes en su categoría. En la Tabla 2-13 se observa algunas de las principales características de este modelo de la empresa Land Rover.

Tabla 2-13: Range Rover Sport PHEV [44].



Modelo	Range Rover Sport
Potencia	297 kW
Autonomía Eléctrica	48 km
Emisiones	71 g/km
Tiempo aceleración (0 a 100 km/h)	6,7 segundos

El Mitsubishi Outlander PHEV, es un modelo de vehículo sustentable con el medio ambiente. Este vehículo consta de tres motores, uno motor a gasolina y dos motores eléctricos, logrando en conjunto formar una potencia de 209 kW. En la Tabla 2-14 se pueden observar algunas de las características principales de este modelo híbrido enchufable de la empresa Mitsubishi.

Tabla 2-14: Mitsubishi Outlander PHEV [45].



Modelo	Mitsubishi Outlander
Potencia	209 kW
Autonomía Eléctrica	52 km
Emisiones	44 g/km
Tiempo aceleración (0 a 100 km/h)	11 segundos

El vehículo BMW i8 es uno de los primeros vehículos deportivos híbridos enchufable, el cual presenta una sincronización perfecta entre un motor eléctrico y un motor de combustión, accediendo a una mayor eficiencia en la utilización del mismo. Se destaca la gran aceleración que este tiene, logrando acelerar de 0 a 100 kilómetros en solo 4,4 segundos, siendo uno de los más rápidos en el mercado de su categoría híbrida.

En la Tabla 2-15 se muestran algunas de las características principales de este modelo híbrido deportivo.

Tabla 2-15: BMW i8 Coupé [46].



Modelo	BMW i8 Coupé
Potencia	275 kW
Autonomía Eléctrica	55 km
Emisiones	42 g/km
Tiempo aceleración (0 a 100 km/h)	4,4 segundos

#### 2.9.4 Actuales Buses Eléctricos

El autobús eléctrico BYD K9, se caracteriza principalmente por uso de tecnologías medioambientales, las cuales genera una reducción global de las emisiones de gases de efecto invernadero, produciendo un 0% de estas por el entorno por el que circula. Otro punto destacable, es su rápida carga, ya que solo tarda 30 minutos en tener su nivel óptimo de carga para funcionar.

Actualmente existen dos de estos buses que se encuentran circulando en el transporte público de la Región Metropolitana, realizando el recorrido 516.

En la Tabla 2-16 se puede apreciar de manera más detallada algunas de las características de este bus eléctrico.

Tabla 2-16: Bus eléctrico BYD K9 [47].



Modelo	BYD K9
Potencia máxima	180 kW
Autonomía eléctrica	$\geq 250$ km
Capacidad batería	324 kWh
Capacidad de carga	60 kW
Tiempo de carga	5 Horas
Ciclos de recarga	4.000 Ciclos

El bus eléctrico Yutong E12, es un vehículo para el transporte urbano. Se puede destacar el rendimiento de las baterías utilizadas en este modelo, la cual entrega energía para recorrer alrededor de 320 kilómetros con una carga completa de la batería.

Hoy en día, este bus eléctrico se encuentra realizando el recorrido 315e en el transporte público de Santiago.

En la Tabla 2-17 se pueden observar algunas de las características principales el bus eléctrico de la empresa Yutong.

Se proyecta que el impacto de estos buses eléctrico aumente a medida que transcurre el tiempo, logrando una mayor participación en la flota del transporte público, específicamente de la región Metropolitana.

Tabla 2-17: Yutong E12 [48].



Modelo	BYD K9
Potencia máxima	200 kW
Autonomía eléctrica	320 km
Capacidad batería	295 kWh
Capacidad de carga	60 kW
Tiempo de carga	5 horas
Ciclos de recarga	4.000 ciclos

## 2.10 Ventajas vehículos eléctricos

Son múltiples las ventajas que presentan los vehículos eléctricos, entre las cuales esta, que los vehículos eléctricos están eximidos de la restricción vehicular por motivos ambientales.

Además, dentro de las ventajas que nos ofrece el motor de un vehículo eléctrico, con igualdad de potencia que un motor de un vehículo a combustión interna, es que este tiene un modelo más compacto, más económico y mucho más simple. Este, no necesita circuito de refrigeración, ni cambios de aceite y el mantenimiento del vehículo es reducido por su simplicidad mecánica [49].

Prácticamente no hace ruido al funciona, reduciendo notablemente la contaminación acústica de las ciudades; cuenta con vibraciones imperceptibles, sumando a que, casi no emite calor.

Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura, ya que, se disponen de todos los servicios del motor, desde el primer instante en frío. Al generar muy poco calor y no tener vibraciones, su duración tiende a ser más elevada que uno de combustión.

El motor eléctrico no necesita cambios de marchas, salvo algún mecanismo para diferenciar el avance y retroceso, el cual puede ser la inversión de polaridad del propio motor, haciendo que este funcione como generador.

Otra ventaja destacable menciona es, que los vehículos eléctricos convierten en movimiento cerca del 90% de la energía que consumen. Es por esto que, a pesar de que la fuente de energía primaria sea combustible fósil, el vehículo eléctrico consumirá menos energía en comparación con uno de combustión interna, con una eficiencia cercana al 30% [50].

Tabla 2-18: Ventajas de vehículo eléctrico vs vehículo a combustión.

Vehículo	Combustión	Eléctrico
Rendimiento del motor	30%	Entre el 80% y el 90%
Regulación de velocidad	Caja de cambios, embrague (Mayor mantenimiento)	Convertidor electrónico (Menor mantenimiento)
Conversión de energía	Irreversible	Frenado regenerativo
Consumo vehículo detenido	Apreciable	Cero

Como se muestra en la Tabla 2-18, las ventajas del motor eléctrico son varias. Sin embargo, el problema básico de los vehículos eléctricos recae en el almacenamiento de la energía eléctrica y el alto precio de la adquisición de este tipo de vehículos. Las baterías de ion-litio, son las más utilizadas actualmente en los vehículos eléctricos, y a pesar de su grande densidad energética, aún siguen teniendo un precio muy elevado, afectando en el precio final del vehículo eléctrico, lo que es un elemento definitivo al momento de comprar un vehículo.

Si bien, los vehículos eléctricos constan de una menor autonomía que los vehículos convencionales, son ideales para moverse dentro de la ciudad, aunque se ha visto un gran avance en la autonomía de este tipo de tecnología.

El gasto en electricidad que requieren los vehículos eléctricos para circular es una ventaja, ya que son considerablemente inferiores a los gastos que tiene un vehículo de combustión en bencina para poder circular.

La gran ventaja de los vehículos eléctricos respecto a los vehículos de combustión interna, es que estos producen cero emisiones de gases de efecto invernadero por el entorno por el que circulan, lo cual es un factor bastante significativo si se quiere lograr una mejora del impacto ambiental.

Aunque pueden producir contaminaciones indirectamente, si la electricidad utilizada para cargar las baterías ha sido producida por centrales termoeléctricas u otras que contaminen. En el caso de que la fuente de generación sea renovable, su ciclo total de emisiones se reduciría a cero.

#### Sistema de frenado regenerativo

Los motores eléctricos de los vehículos eléctricos, pueden funcionar como generadores de energía eléctrica. Al actuar como generador, parte de la energía mecánica se transforma en energía eléctrica, la cual es llevada a las baterías. Es por esto, que este sistema se le denomina sistema de frenado regenerativo, debido a que reduce la velocidad del vehículo y recupera parte de la energía cinética del mismo, almacenándola en las baterías.

Sin embargo, el toque que requiere el sistema de frenado para disminuir la velocidad rápidamente, es mucho mayor al toque que puede producir el motor eléctrico, es por esto, que además del frenado regenerativo, el vehículo eléctrico dispone de un sistema de frenado mecánico similar al de un vehículo de combustión interna.

En la Figura 2-12 se puede observar el esquema del sistema de frenado regenerativo del vehículo Renault ZOE.

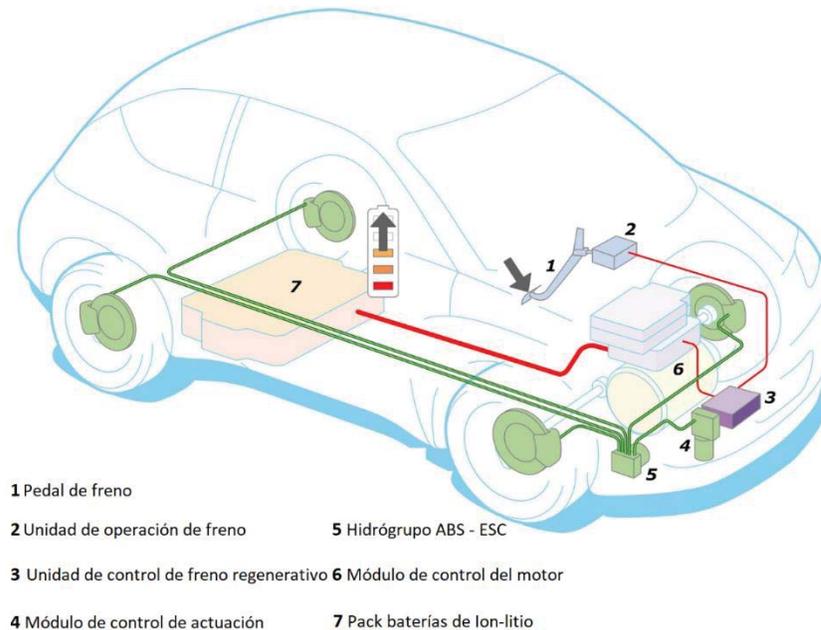


Figura 2-12: Sistema de frenado regenerativo Renault ZOE [51].

## 3 Parque vehicular en Chile

### 3.1 Vehículos de combustión interna

En la Tabla 3-1 se puede observar algunas de las características destacables del vehículo Chevrolet Sail. Este modelo alcanzó un total de 4.888 ventas entre enero y junio del año 2018, ubicándose en el número uno en ventas de vehículos livianos [52].

Tabla 3-1: Chevrolet Sail [53].



Modelo	Chevrolet Sail
Transmisión	Mecánica
Emisiones CO <sub>2</sub>	139 g/km
Consumo Urbano	12,1 km/lts
Consumo Carretera	19,9 km/lts
Consumo Mixto	16,1 km/lts

En la Tabla 3-2 se puede observar el vehículo Kia Morning con algunas de las características con las que cuenta. Este modelo alcanzó 4.276 unidades vendidas entre los meses de enero y junio del año 2018, ubicándose en el número tres de ventas de vehículos livianos [52].

Tabla 3-2: Kia Morning [53].



Modelo	Kia Morning
Transmisión	Mecánica
Emisiones CO <sub>2</sub>	119 g/km
Consumo Urbano	14,9 km/lts
Consumo Carretera	24,8 km/lts
Consumo Mixto	19,3 km/lts

El vehículo Kia Morning destaca por su diseño característico. Además, al ser un modelo compacto requiere de un motor pequeño para poder funcionar, el cual lo deja en uno de los vehículos de combustión menos contaminantes.

El vehículo Suzuki Swift es un modelo convencional, el cual se ubica en el puesto número cuatro de ventas de vehículos livianos, entre los meses de enero y junio del año 2018, llegando a vender un total de 4.247 unidades en Chile [52].

En la Tabla 3-3 se observan algunas de las características principales del modelo Swift de la empresa Suzuki.

El modelo RAV4 de Toyota, fue el más vendido en el segmento de vehículos familiares, logrando alcanzar 1.279 unidades vendidas entre enero y julio del año 2018 en Chile [52].

En la Tabla 3-4 se observan algunas de las características principales del modelo RAV4 de la empresa Toyota.

Tabla 3-3: Suzuki Swift [53].



Modelo	Suzuki Swift
Transmisión	Mecánica
Emisiones CO <sub>2</sub>	142 g/km
Consumo Urbano	14,1 km/lts
Consumo Carretera	20,7 km/lts
Consumo Mixto	17,7 km/lts

Tabla 3-4: Toyota RAV4 [53].



Modelo	Toyota RAV4
Transmisión	Mecánica
Emisiones CO <sub>2</sub>	196 g/km
Consumo Urbano	9,1 km/lts
Consumo Carretera	15,1 km/lts
Consumo Mixto	12,2 km/lts

En la Tabla 3-5 se encuentran algunas de las características del vehículo Nissan Qashqai. Este modelo alcanzó 877 unidades vendidas entre los meses de enero y julio del año 2018 en Chile [52].

Tabla 3-5: Nissan Qashqai [53].



Modelo	Nissan Qashqai
Transmisión	Mecánica
Emisiones CO <sub>2</sub>	203 g/km
Consumo Urbano	9,5 km/lts
Consumo Carretera	15,7 km/lts
Consumo Mixto	12,6 km/lts

Estos vehículos fueron destacados por su alta participación en el mercado automotriz, ya que fueron líderes en ventas durante los meses de enero y julio del año 2018. Además, estos modelos cuentan con un rango similar de emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 3.2 Transporte público Región Metropolitana

El Transantiago es el sistema de transporte público urbano que opera en el área de la región Metropolitana.

#### 3.2.1 Buses de combustión Transantiago

En la Tabla 3-6 se puede observar el bus Volvo B9 Salf, el cual cuenta con la norma europea sobre emisiones de gases de efecto invernadero, siendo este del tipo EURO III. Este bus contamina 1.686 gramos de CO<sub>2</sub> por cada kilómetro recorrido.

El bus volvo B9, actualmente se encuentra circulando por las calles de la Región Metropolitana, realizando recorridos como el 223, 402, 421, 103, 109, entre otros [54].

Tabla 3-6: Bus Volvo B9 Salf [55].



Chasis del bus	Volvo B9 Salf
Norma	E-III
Emisiones CO <sub>2</sub>	1.686 g/km
Consumo	1,56 km/lts
Clase estándar Transantiago	C- Vehículo Articulado
Capacidad del bus	196 pasajeros

En la Tabla 3-7 se puede observar el bus Volvo B7, el cual cuenta con la norma europea sobre emisiones de gases contaminantes, siendo este del tipo EURO III. Este bus contamina 1.481 gramos de CO<sub>2</sub> por cada kilómetro recorrido.

El bus Volvo B7 actualmente se encuentra circulando por el transporte público de la región Metropolitana, realizando recorridos como el 210, 201e, 211, entre otros [56]. Este bus, al ser un modelo más pequeño respecto del bus Volvo B9, tiene una contaminación menor.

Estos buses se pueden encontrar con frecuencia en las calles de Santiago, ya que cubren gran parte de los recorridos del transporte público de la región Metropolitana.

Tabla 3-7: Bus Volvo B7 [55].



Chasis del bus	Volvo B7
Norma	E-III
Emisiones CO <sub>2</sub>	1.481 g/km
Consumo	1,79 km/lts
Clase estándar Transantiago	B-Vehículo Rígido
Capacidad del bus	126 pasajeros

### 3.2.2 Recorridos Transantiago

En la Región Metropolitana los recorridos de los buses que cubren esta área son bastante extensos, los cuales pueden llegar a recorrer hasta 97 kilómetros aproximados realizando un trayecto completo. En la Tabla 3-8 se pueden observar algunos de los recorridos troncales más largos de este transporte público.

Tabla 3-8: Distancia recorridos Transantiago [57].

Recorrido	Distancia ida y regreso (km)
712	97,73
106	78,81
514	75,67
516	56,63
315e	47,01

En la Figura 3-1 se puede observar el mapa del recorrido 516, al cual se incorporan 100 buses eléctricos de la marca china BYD y que actualmente circulan dos buses eléctricos de la misma marca [58]. En este recorrido se realizan 5 viajes completos (ida y regreso) en un día, en donde un bus puede tardar alrededor de 4 horas 14 minutos en realizar este recorrido completo y puede llegar a recorrer hasta 103.349,75 kilómetros realizando este trayecto en un año.

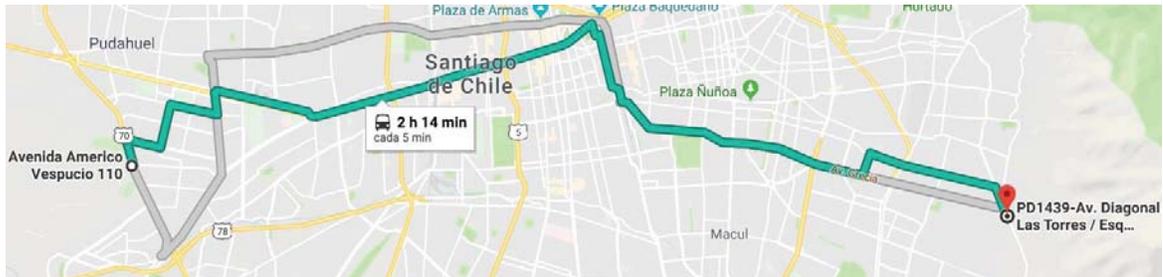


Figura 3-1: Recorrido 516 Transantiago [59].

En la Figura 3-2 se puede observar el mapa del recorrido 315e, en donde actualmente circula un bus eléctrico de la marca Yutong [60]. En este recorrido se realizan entre 5 viajes completos (ida y regreso) en un día, en donde un bus puede tardar aproximadamente 4 horas 20 minutos en completar este recorrido y puede llegar a recorrer hasta 85.793,25 kilómetros realizando este trayecto en un año.

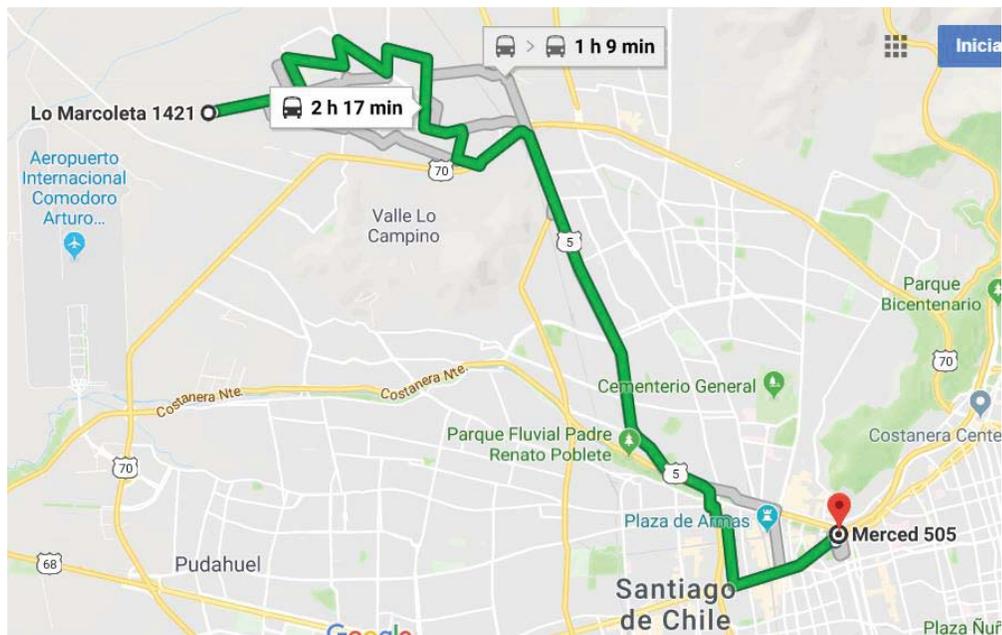


Figura 3-2: Recorrido 315e Transantiago [59].

### 3.2.3 Flota Transantiago

En el año 2017, el número de buses del Transantiago inscritos en el Registro de la Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones (SEREMITT) llegó a 6.681 unidades para operar en el sistema, el cual se encuentra conformado por una oferta de 685.257 plazas.

En la Tabla 3-9 se puede observar en más detalle el transporte público que circula por la ciudad de Santiago.

Tabla 3-9: Servicio Transantiago 2017 [61].

Transantiago	
Viajes anuales (millones)	527,9
N° de buses	6.681
N° de servicios	377
Plazas	685.257
Kilómetros recorridos (millones)	452,8
N° de paradas	11.261

Actualmente existen siete empresas en el sistema del Transantiago. Cada una de estas empresas se hace cargo de una de las siete unidades de negocio del sistema y operan un conjunto de recorridos, generalmente agrupados por números y/o letras. Además, estos buses se identifican con un color característico dependiendo de la unidad de negocio.

En la Tabla 3-10 se pueden observar los operadores existentes del Transantiago con sus respectivos servicios.

Tabla 3-10: Operadores del Transantiago [62].

Operador	Servicios
 Inversiones Alsacia S. A	Unidad de Negocio 1 y responsable de los servicios 100.
 Buses Vule S.A.	Unidad de Negocio 3 y responsable de los servicios 300, E, H e I.

Operador	Servicios
 Subus Chile S.A.	Unidad de Negocio 2 y responsable de los servicios 200 y G.
 Express de Santiago Uno S.A.	Unidad de Negocio 4 y responsable de los servicios 400 y D.
 Metbus S.A.	Unidad de Negocio 5 y responsable de los servicios 500 y J.
 Redbus Urbano S.A.	Unidad de Negocio 6 y responsable de los servicios B y C.
 Servicio de Transporte de Personas S.A.	Unidad de Negocio 7 y responsable de los servicios F.

### 3.3 Parque vehicular de Chile

En el año 2017, el número de vehículos existentes en el parque vehicular, llegó a 5.190.704 unidades en circulación en las calles de Chile. El 39,3% del parque vehicular de Chile corresponde a vehículos en la Región Metropolitana de Santiago.

En la Tabla 3-11 se puede observar la distribución del parque vehicular en las distintas Regiones de Chile.

Tabla 3-11: Parque vehicular por región.

Región	Total
Región de Arica y Parinacota	81.087
Región de Tarapacá	129.466
Región de Antofagasta	167.388
Región de Atacama	103.100
Región de Coquimbo	214.286

Región	Total
Región de Valparaíso	541.913
Región Metropolitana de Santiago	2.041.854
Región de Libertador General Bernardo O'Higgins	297.248
Región del Maule	361.391
Región del Biobío	565.209
Región de La Araucanía	238.791
Región de Los Ríos	97.497
Región de Los Lagos	236.982
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	41.547
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	72.945
Total	5.190.704

El parque vehicular está compuesto por tres tipos de categorías, transporte particular y otros, transporte colectivo y transporte de carga.

En la Tabla 3-12 se puede observar el transporte vehicular y otros que forman parte del parque vehicular de Chile.

En la Tabla 3-13 se puede observar las unidades que se encuentran circulando en Chile, que forman parte de la categoría de transporte colectivo.

En la Tabla 3-14 se encuentran los vehículos que forman parte de la categoría Transporte de Carga, del parque vehicular de Chile.

En la sección donde más participación de vehículos existe es, en la de automóvil y Station Wagon (vehículo familiar), en donde en conjunto forman parte del 62% del total del parque vehicular del año 2017.

Además, en la región Metropolitana de Santiago, es donde mayor cantidad de vehículos han sido registrados durante al año 2017, los cuales suman una cantidad de 2.041.854 unidades, representando más del 39% del parque vehicular de Chile al año 2017.

Tabla 3-12: Parque vehicular categoría transporte particular y otros [63].

Región	Automóvil y Station Wagon	Todo Terreno	Furgón	Minibús	Camioneta	Motocicletas y similares	Otros con Motor	Otros sin Motor
Arica y Parinacota	58.805	1.369	579	498	9.066	1.376	63	179
Tarapacá	93.565	1.873	1.500	733	15.455	1.997	169	455
Antofagasta	96.508	3.844	2.817	883	31.719	3.606	91	1.309
Atacama	50.872	2.527	2.475	872	23.318	2.231	64	924
Coquimbo	125.472	4.073	5.161	1.805	48.519	6.599	60	1.480
Valparaíso	356.782	9.084	21.115	2.496	84.592	15.745	180	2.653
Metropolitana de Santiago	1.389.194	34.746	100.808	6.680	251.962	89.792	424	9.930
Libertador General Bernardo O'Higgins	173.133	5.123	9.584	3.629	59.921	9.953	72	2.666
Maule	195.117	6.837	12.879	2.848	85.656	14.024	89	3.332
Biobío	322.782	15.734	19.721	3.071	124.814	17.826	100	4.863
La Araucanía	124.216	7.630	8.343	1.934	63.490	6.083	64	2.576
Los Ríos	53.129	3.226	3.318	381	22.507	2.466	29	1.338
Los Lagos	128.101	6.342	7.700	957	57.854	4.686	141	3.028
Aysén	22.310	1.007	881	296	12.109	543	30	186
Magallanes	47.643	866	1.020	324	12.774	1.034	144	510
Total	3.237.629	104.281	197.901	27.407	903.756	177.961	1.720	35.429

Tabla 3-13: Parque vehicular categoría transporte colectivo [63].

Región	Taxi Básico	Taxi Colectivo	Taxi Turismo	Minibús, Transporte Colectivo	Minibús, Furgón Escolar y Trabajadores	Bus, Transporte Colectivo	Bus, Transporte Escolar y Trabajadores
Arica y Parinacota	403	2.399	415	311	154	467	215
Tarapacá	3.599	309	164	842	134	1.110	190
Antofagasta	567	4.130	595	1.782	303	2.069	708
Atacama	285	2.422	87	552	158	1.894	65
Coquimbo	583	5.039	212	978	497	1.891	275
Valparaíso	937	9.842	945	2.265	1.407	6.179	209
Metropolitana de Santiago	23.529	14.152	4.119	7.485	6.725	14.164	1.368
Libertador General Bernardo O'Higgins	287	4.590	267	1.804	1.417	3.161	533
Maule	712	3.435	267	1.231	1.242	3.477	537
Biobío	837	4.940	1.207	1.927	2.425	6.571	1.054
La Araucanía	681	2.526	263	624	1.321	2.988	281
Los Ríos	682	1.165	83	404	598	1.233	113
Los Lagos	613	3.684	594	1.402	1.153	3.430	148
Aysén	201	430	32	448	96	209	62
Magallanes	846	1.262	13	721	161	434	107
Total	34.762	60.325	9.263	22.776	17.791	49.277	5.865

Tabla 3-14: Parque vehicular categoría transporte de carga [63].

Región	Camión simple	Tractocamión	Tractor Agrícola	Otros con Motor	Remolque y Semirremolque
Arica y Parinacota	1.832	1.137	53	400	1.366
Tarapacá	3.454	1.573	2	469	1.873
Antofagasta	6.533	3.522	11	1.197	5.164
Atacama	4.922	3.733	173	895	4.631
Coquimbo	7.190	1.403	137	729	2.183
Valparaíso	13.264	5.344	377	1.491	7.006
Metropolitana de Santiago	47.462	13.049	646	5.882	19.737
Libertador General Bernardo O'Higgins	10.483	3.026	1.273	1.117	5.209
Maule	13.405	4.569	2.080	1.495	8.159
Biobío	17.820	5.555	1.589	2.582	9.791
La Araucanía	8.811	1.408	866	1.382	3.304
Los Ríos	3.653	659	514	532	1.467
Los Lagos	9.267	2.006	889	1.221	3.766
Aysén	1.814	249	49	206	389
Magallanes	1.974	925	14	661	1.512
Total	151.884	48.188	8.673	20.259	75.557

## 4 Desarrollo Modelo

### 4.1 Modelo analítico vehículos

Se desarrolló un modelo analítico el cual permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero y la producción de energía eléctrica, en donde la principal variable viene a ser los kilómetros que un vehículo recorre o recorrerá en un año, luego la generadora eléctrica suministra energía a los vehículos eléctricos para recorrer ciertos kilómetros, logrando por efecto de la producción de energía una cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, si el vehículo corresponde a uno que funciona en base a combustible fósil, este tendrá una cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> relacionada directamente con los kilómetros que recorra. En la Figura 4-1 se puede observar un esquema de este modelo analítico.

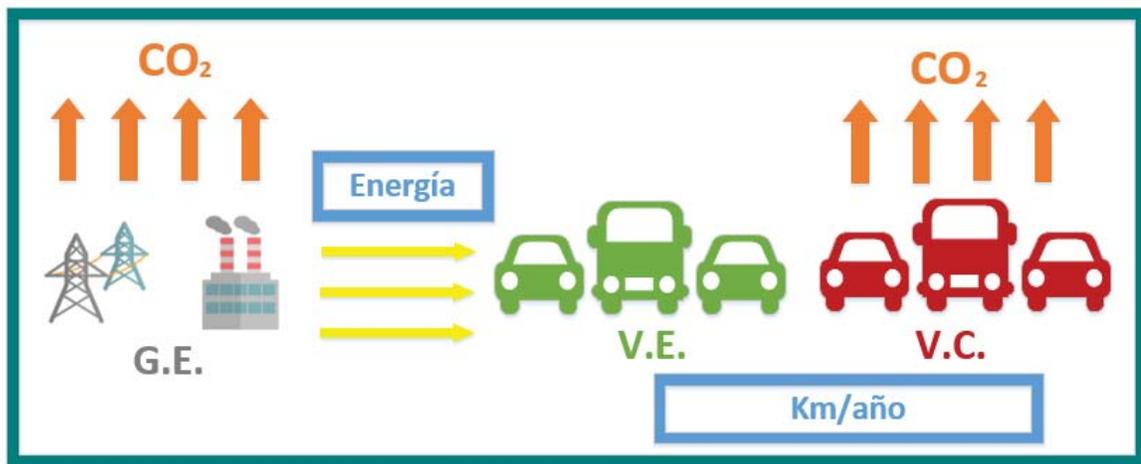


Figura 4-1: Esquema modelo analítico de vehículos.

Si los kilómetros se recorren en un vehículo eléctrico, se tiene una relación entre la capacidad de la batería del vehículo y la autonomía que este tiene. Luego de obtener esta relación, se obtiene el producto entre la relación anterior y los kilómetros que se recorren como se muestra en (4-1), para así obtener la cantidad de energía eléctrica que este necesita para poder recorrer cierta distancia. Esa energía eléctrica suministrada al vehículo eléctrico por la central generadora, lleva asociada una cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual dependerá de la distribución de la matriz eléctrica.

$$Energía Eléctrica VE = \frac{Capacidad Batería VE (kWh)}{Autonomía (km)} \cdot D (km) \quad (4-1)$$

Donde:

- D: Distancia que recorre o recorrerá el vehículo.

Si los kilómetros se recorren en un vehículo de combustión, este no tendrá conlleva una producción de energía eléctrica, pero si se produce una cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, que tiene relación directamente con los kilómetros que este tipo de vehículo recorra.

En la Figura 4-2 se observa un diagrama de flujo, en donde se puede explicar de mejor manera la forma de cuantificar la cantidad de energía eléctrica y las emisiones de CO<sub>2</sub> de un vehículo eléctrico o de combustión.

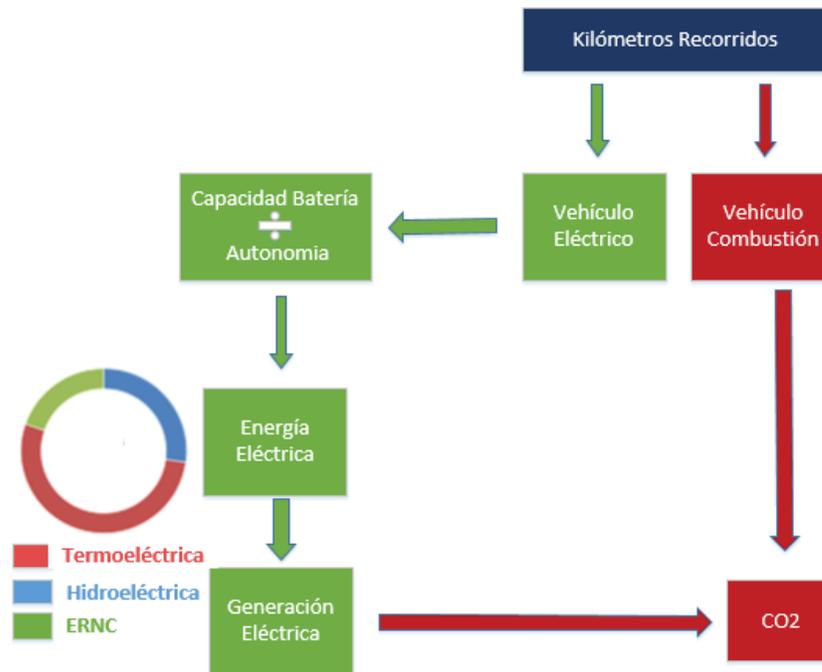


Figura 4-2: Diagrama de flujo modelo analítico vehículos.

## 4.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> generación eléctrica

Las emisiones del vehículo eléctrico serán calculadas teniendo en cuenta el ciclo de energía, desde que se produce la energía hasta el momento en el que se mueven las ruedas.

La energía puede provenir de diferentes fuentes según el mix energético de cada país y esta generación eléctrica lleva asociada una emisión de gases contaminantes.

Las emisiones están relacionadas directamente con las centrales termoeléctricas, por lo que si se observa la Figura 1-12, entre los meses de octubre y diciembre, las centrales hidroeléctricas

aportaron mayor energía al sistema, logrando así una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> entre estos meses, tal como se observa en la Figura 4-3.

En base a los datos obtenidos del Sistema Interconectado Central (SIC) y del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) sobre emisiones de CO<sub>2</sub> [64], se obtuvo diferentes factores de emisiones de contaminación para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual nos indican la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> por cada MWh de energía generada.

En la Figura 4-3 se puede observar las emisiones de CO<sub>2</sub> del Sistema Eléctrico Nacional en el año 2017, en donde, desde enero a noviembre se consideraron las emisiones del SIC y del SING en conjunto. Al año 2017, se llegó a una emisión total de 33.381.106 toneladas de CO<sub>2</sub> por la generación eléctrica.

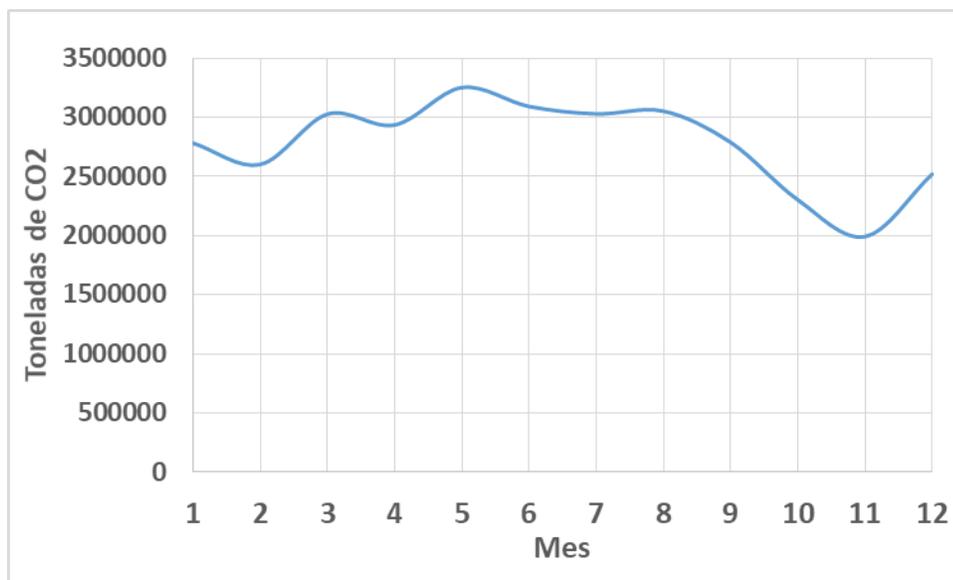


Figura 4-3: Emisiones de CO<sub>2</sub> Sistema Eléctrico Nacional.

Para el cálculo del factor de emisiones de CO<sub>2</sub>, se realizaron tres supuestos de generación.

- **Generación Renovable:** Se considera que el 62,8% de la generación eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional es en base a energías renovables.
- **Generación Térmica:** Se considera que el 68% de la generación eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional es en base a tecnología térmica.
- **Generación Año 2017:** Se considera la generación eléctrica total del Sistema Eléctrico Nacional durante el año 2017.

En la Tabla 4-1 se muestran los factores de las emisiones de CO<sub>2</sub> por energía generada del Sistema Eléctrico Nacional expresada en toneladas de CO<sub>2</sub> por cada MWh generado.

Tabla 4-1: Factor emisión de CO<sub>2</sub> por energía generada SEN.

Generación	Factor emisión (ton de CO <sub>2</sub> /MWh)
Renovable	0,323
Térmica	0,517
Año 2017	0,450

Las emisiones tienen una relación directa con la cantidad de energía generada por centrales termoeléctricas las cuales son las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero. Es por esto que las emisiones de CO<sub>2</sub> en el caso del SING son mayores debido a que tiene una alta dependencia de la fuente de generación es en base a centrales termoeléctricas, a diferencia del SIC que consta de mayor participación de centrales hidroeléctricas y centrales en base a energías renovables no convencionales, por lo que su nivel de emisiones es menor en comparación al SING.

## 5 Evaluación y análisis resultados

### 5.1 Proyección buses Transantiago

En diciembre del presente año entraran en operación 100 buses eléctricos, los cuales serán operados por la empresa Metbus y se incorporaran al sistema de transporte público de Santiago [58].

El Ministerio de Transportes anuncio la llegada de 100 buses eléctricos para la renovación de la flota del Transantiago, por lo tanto, se ampliará la cantidad de buses con esta tecnología dentro de los próximos meses. En total, estos 200 buses estarán operativos para el primer trimestre de 2019 [65].

Teniendo en cuenta la llegada de estos buses, al año 2019 serian 203 los buses eléctricos que estarían circulando en el transporte público de la ciudad de Santiago, lo cual representa el 3% de la flota total del Transantiago. Si bien no es un porcentaje tan alto, es un gran avance en tan poco tiempo.

La proyección del estudio [66] plantea que, es posible incorporar 600 buses eléctricos gradualmente en el actual proceso de licitación y alcanzar el 100% de la flota licitada en los futuros procesos de licitaciones, llegando al año 2031 una renovación de un total de 6.500 buses eléctricos.

La Estrategia Nacional de Electromovilidad se propone como meta que en Chile el 100% de los vehículos de transporte público sean eléctricos al año 2050 [4], contribuyendo a mejorar la movilidad y la calidad de vida de las personas y a potenciar la presencia del país como líder región en la materia.



Figura 5-1: Meta al año 2050 movilización eléctrica en Chile [4].

En la Tabla 5-1 se muestra un resumen de las proyecciones de buses eléctricos que formarían parte la flota del transporte público del Transantiago.

Tabla 5-1: Proyección buses eléctricos.

Año	2018	2019	2031	2050
Buses eléctricos	3	203	6.500	6.681

### 5.1.1 Cálculo generación eléctrica buses eléctricos

Se realizó un cálculo de generación eléctrica considerando la incorporación de la tecnología de buses eléctricos al transporte público de la ciudad de Santiago, considerando las proyecciones de la Tabla 5-1.

Para el cálculo de generación eléctrica requerida por los buses eléctricos, se utilizaron dos recorridos típicos del Transantiago, el 516 y el 315e, para así obtener la energía necesaria para que los buses realicen estos recorridos que es donde actualmente circulan buses eléctricos.

Además, se utilizó una autonomía promedio de 285 kilómetros y una batería de 309,5 kWh, que es el equivalente al promedio de los buses eléctricos BYD K9 y Yutong E12.

En la Figura 5-2 se puede observar los niveles de generación eléctrica anual de las distintas proyecciones y como se ve aumentada la generación con la incorporación masiva de esta tecnología, considerando que los buses utilizan el recorrido 516.

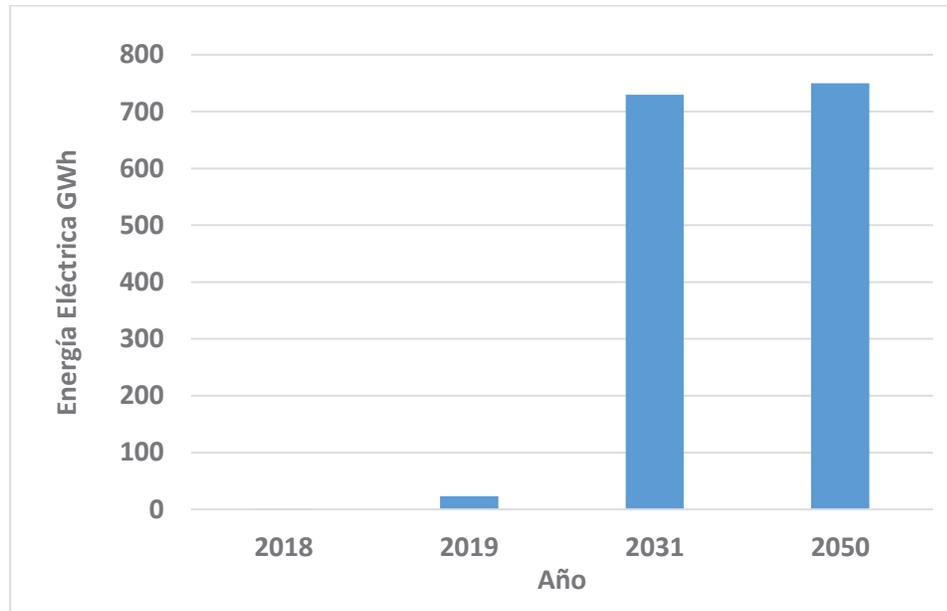


Figura 5-2: Generación eléctrica anual buses eléctricos recorrido 516.

En la Tabla 5-2 están los valores de generación eléctrica anual requerida por los buses eléctricos considerando los kilómetros del recorrido 516.

Tabla 5-2: Generación eléctrica anual buses eléctricos recorrido 516.

Año	2018	2019	2031	2050
Generación Eléctrica (GWh)	0,34	22,78	729,52	749,84

En la Figura 5-3 se puede observar los niveles de generación eléctrica anual de las proyecciones y como se ve aumentada la generación con la incorporación masiva de esta tecnología, considerando que los buses utilizan el recorrido 315e.

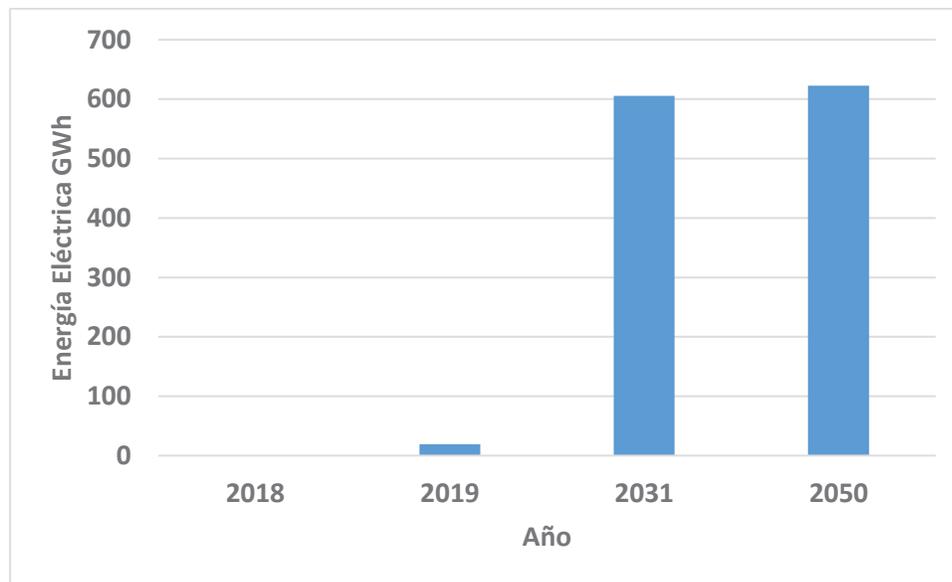


Figura 5-3: Generación eléctrica anual buses eléctricos recorrido 315e.

En la Tabla 5-3 están los valores de generación eléctrica anual requerida por los buses eléctricos considerando los kilómetros del recorrido 315e.

Tabla 5-3: Generación eléctrica anual buses eléctricos recorrido 315e.

Año	2018	2019	2031	2050
Generación Eléctrica (GWh)	0,28	18,91	605,59	622,46

Si los buses del Transantiago llegaran a ser completamente eléctricos, entonces sería necesario generar alrededor de 749,8 GWh de energía en un año para que estos buses puedan cumplir con el recorrido 516, esto equivale a un 1,01% de la energía generada en el año 2017. En la Tabla 5-4 se puede observar la comparación de energía considerando este recorrido.

Tabla 5-4: Comparación generación eléctrica recorrido 516.

Año 2017 (GWh)	Flota buses eléctricos año 2050 (GWh)	Aumento (%)
74.224	749,8	1,01%

Para que los buses eléctricos recorran los kilómetros del recorrido 315e, se debe generar alrededor de 622,46 GWh de energía en un año, lo cual equivale a 0,84% de la energía generada en el año 2017. En la Tabla 5-5 se observa la comparación de energía considerando este recorrido.

Tabla 5-5: Comparación generación eléctrica recorrido 315e.

Año 2017 (GWh)	Flota buses eléctricos año 2050 (GWh)	Aumento (%)
74.224	622,46	0,84%

En la Tabla 5-6 se puede observar una comparación de generación de ambos recorridos utilizados.

Tabla 5-6: Comparación generación según trayectos.

Año	Generación Recorrido 516 (GWh)	Generación Recorrido 315e (GWh)	Variación (GWh)
2018	0,34	0,28	0,06
2019	22,78	18,91	3,87
2031	729,52	605,59	123,93
2050	749,84	622,46	127,38

La energía eléctrica que necesitan los vehículos eléctricos esta principalmente asociada a la distancia del recorrido. Como se observa en la Tabla 5-6 a medida que más kilómetros necesitan recorrer estos buses, mayor es la generación.

### 5.1.2 Cálculo emisiones de CO<sub>2</sub> buses Transantiago

Para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> de los buses de combustión (BC) se utilizó un factor de emisión de 1,584 kilogramos de CO<sub>2</sub> por cada kilómetro recorrido, que es el equivalente al promedio de los actuales buses convencionales Volvo B7 y Volvo B9.

Para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> que producen los buses eléctricos y de combustión, se utilizó el recorrido 516, el cual es un trayecto típico del Transantiago. En este recorrido circulan dos buses eléctricos y entraran a circular cien buses más en diciembre del año 2018.

En el caso de los buses eléctricos (BE), el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> va asociado a la energía eléctrica que necesitan estos buses para circular, en donde se utilizaron los datos de generación que se muestran en la Tabla 5-2.

Además, se utilizaron tres proyecciones de generación del SEN, uno donde la generación renovable predomina, otro en donde la generación térmica predomina y por último la generación durante el año 2017. Para estas proyecciones se utilizaron los factores de emisiones de CO<sub>2</sub> que se muestran en la Tabla 4-1.

En la Figura 5-4 se puede observar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que generan los buses del Transantiago con la incorporación progresiva de la tecnología eléctrica.

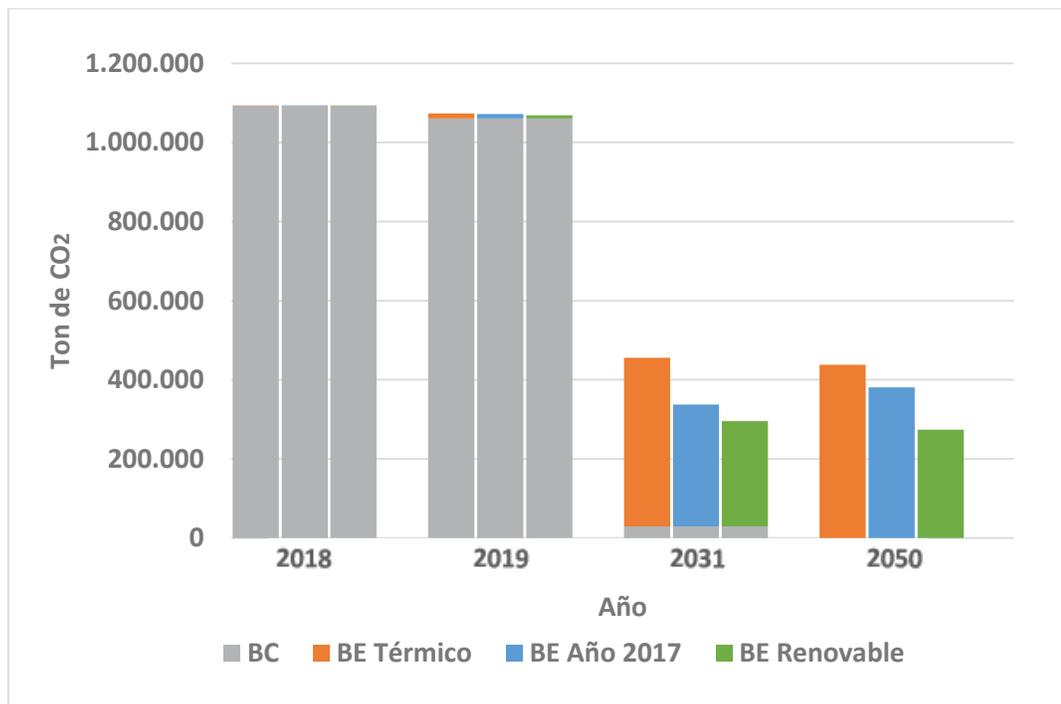


Figura 5-4: Emisiones de CO<sub>2</sub> buses Transantiago.

En la Tabla 5-7 se encuentran las emisiones de CO<sub>2</sub> de los buses del Transantiago por tecnología.

Tabla 5-7: Emisiones de CO<sub>2</sub> buses Transantiago por tecnología.

Año	Toneladas de CO <sub>2</sub>			
	Buses Combustión	Buses Eléctricos Generación Térmica	Buses Eléctricos Generación Año 2017	Buses Eléctricos Generación Renovable
2018	1.092.886	197	171	123
2019	1.060.155	13.304	11.580	8.312
2031	29.622	425.998	370.791	266.146
2050	0	437.860	381.116	273.557

En la Tabla 5-8 se encuentran las emisiones de CO<sub>2</sub> de los buses del transporte público de Santiago según el tipo de generación.

Tabla 5-8: Emisiones de CO<sub>2</sub> flota buses Transantiago por tipo de generación.

Año	Toneladas de CO <sub>2</sub>		
	Generación Térmica	Generación Año 2017	Generación Renovable
2018	1.093.083	1.093.057	1.093.009
2019	1.073.460	1.071.735	1.068.467
2031	455.619	400.413	295.767
2050	437.860	381.116	273.557

En la Tabla 5-9 se puede observar la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> de la flota completa del Transantiago.

Tabla 5-9: Variación de emisiones de CO<sub>2</sub> buses Transantiago según la generación eléctrica.

Año	Variación			
	Ton de CO <sub>2</sub> Térmica-Año 2017	Porcentaje Térmica-Año 2017	Ton de CO <sub>2</sub> Térmica-Renovable	Porcentaje Térmica-Renovable
2018	25	0,002%	74	0,007%
2019	1.724	0,16%	4.992	0,47%
2031	55.207	12,12%	159.852	35,08%
2050	56.744	12,96%	164.303	37,52%

Tabla 5-10: Emisiones de CO<sub>2</sub> buses Transantiago caso generación térmica.

Año	Toneladas de CO <sub>2</sub>	Variación ton de CO <sub>2</sub>	Variación (%)
2018	1.093.083	-	-
2019	1.073.460	19.623	1,80%
2031	455.619	637.464	58,32%
2050	437.860	655.223	59,94%

Tabla 5-11: Emisiones de CO<sub>2</sub> buses Transantiago caso generación año 2017.

Año	Toneladas de CO <sub>2</sub>	Variación ton de CO <sub>2</sub>	Variación (%)
2018	1.093.057	-	-
2019	1.071.735	21.322	1,95%
2031	400.413	692.645	63,37%
2050	381.116	711.941	65,13%

Tabla 5-12: Emisiones de CO<sub>2</sub> buses Transantiago caso generación renovable.

Año	Toneladas de CO <sub>2</sub>	Variación ton de CO <sub>2</sub>	Variación (%)
2018	1.093.009	-	-
2019	1.068.467	24.542	2,25%
2031	295.767	797.242	72,94%
2050	273.557	819.452	74,97%

De la Tabla 5-8 se observa que las emisiones del año actual son bastante grandes, llegando a emitir una contaminación del orden del millón de toneladas de CO<sub>2</sub>. Además, se observó de la Tabla 5-7 que las emisiones de los buses eléctricos durante el año 2018 son insignificantes respecto a las emisiones de los buses convencionales. Esto es debido a que la implementación de los buses eléctricos durante ese periodo no tiene un gran impacto en la flota del Transantiago.

Al año 2019, con la incorporación de 200 buses eléctricos, se logra obtener una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto del año 2018. En la Figura 5-4 no se aprecia bien la disminución de emisiones, ya que estas son inferiores al 2,5% del total de emisiones del año 2018 para cada supuesto de generación.

Si la flota de buses eléctricos del transporte público de Santiago llegase a ser 100% eléctrico, entonces ahí se vería una disminución significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub>, reduciendo casi un 60% las emisiones, para el caso donde prima la generación térmica. Como se observa en la Tabla 5-12, cuando toda la flota de buses llega a utilizar la tecnología eléctrica, la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> podría llegar al 74,97% respecto del año 2018, si se considera que, en la generación eléctrica, son las energías renovables quienes aportan mayor energía al Sistema Eléctrico Nacional.

Aunque se proyecta que las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyan a futuro, la tecnología que se utiliza para la generación eléctrica tiene bastante influencia en las emisiones de gases contaminantes logrando disminuir aún más, si en la generación se utilizan energías renovables. Como se observa en la Tabla 5-9, cuando en la generación predominan las centrales termoeléctricas, se tiene una mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación a una generación en donde varía la participación entre renovable y termoeléctricas, y aun mayor emisiones si se compara con una generación en donde las centrales que utilizan tecnología en base a energías renovables son las principales fuentes que suministran energía eléctrica.

## 5.2 Proyección parque vehicular

Al 31 de diciembre del año 2017, la cantidad de vehículos registrados ascendió a 5.190.704 unidades, registrándose un total de 229.759 vehículos de nuevo ingreso respecto del año 2016. El parque vehicular, en el año 2017, registró un incremento de 4,6% con respecto del año anterior [63]. En la Figura 5-5 se observa la evolución del parque vehicular de los últimos 20 años.

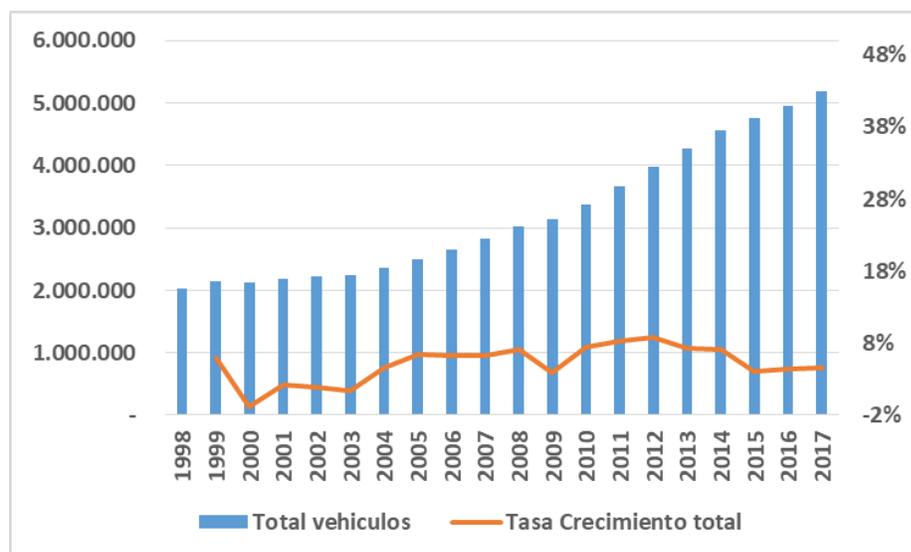


Figura 5-5: Evolución parque vehicular por año.

Se registran 4.470.974 vehículos particulares al año 2017. Además, en este mismo año, en el parque vehicular de Chile, se registraron 215 vehículos eléctricos particulares [6], aunque se espera que la incorporación de esta tecnología aumente considerablemente con la disminución del precio de las baterías. En la Figura 5-6 se puede observar la proyección del costo de las baterías de ion-litio, que son las que actualmente se encuentran en los vehículos eléctricos.

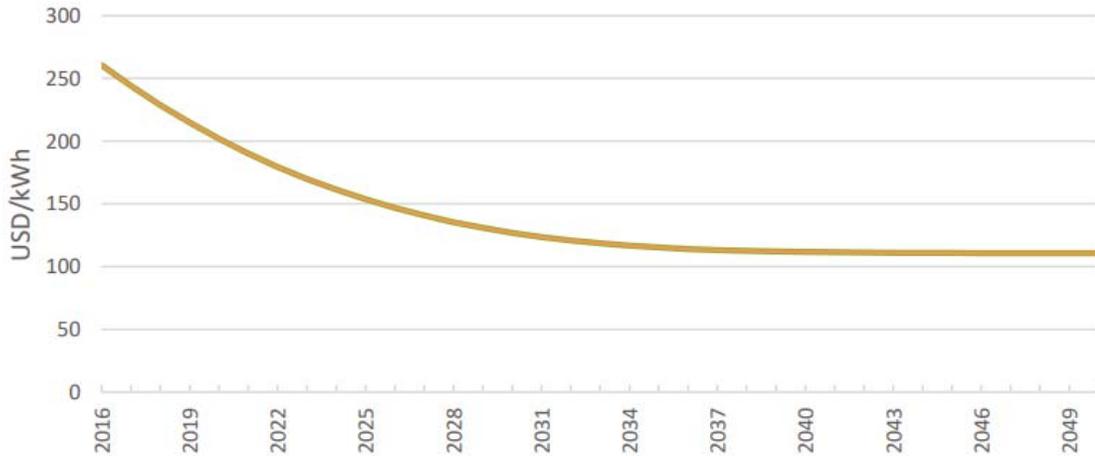


Figura 5-6: Proyección de costo de baterías de ion-litio [66].

Un estudio de Accenture concluyó que al año 2025, los vehículos eléctricos alcanzarían entre el 2% y el 3% del parque automovilístico, mientras que, en los países desarrollados, la industria de este tipo de vehículos alcanzaría una adopción del 5% o más [67].

Se realiza una suposición, que al año 2025, la proporción de vehículos eléctricos vendidos en Chile respecto del total de los vehículos particulares, será equivalente al de Europa en el año 2013, esto es un 2% de las ventas totales de automóviles [68].

En Chile se estima que al año 2050, el parque de vehículos livianos se encuentre conformado por un 40% de vehículos eléctricos [4]. Según los estudios [66] [69] se proyecta que en el año 2050 en Chile tendrá alrededor 5,5 millones de autos eléctricos circulando por las calles del país.

Para llegar a lo proyectado de vehículos eléctricos al año 2050, los vehículos particulares deberán tener una tasa de crecimiento promedio de un 3,5%. Tomando en cuenta lo anterior, al año 2050 alcanzaría un total de 13.913.413 vehículos en el parque automotriz.

En la Figura 2-11 puede observar las proyecciones de los vehículos, ya sea eléctricos o convencionales, que conformarían el parque automotriz de Chile.

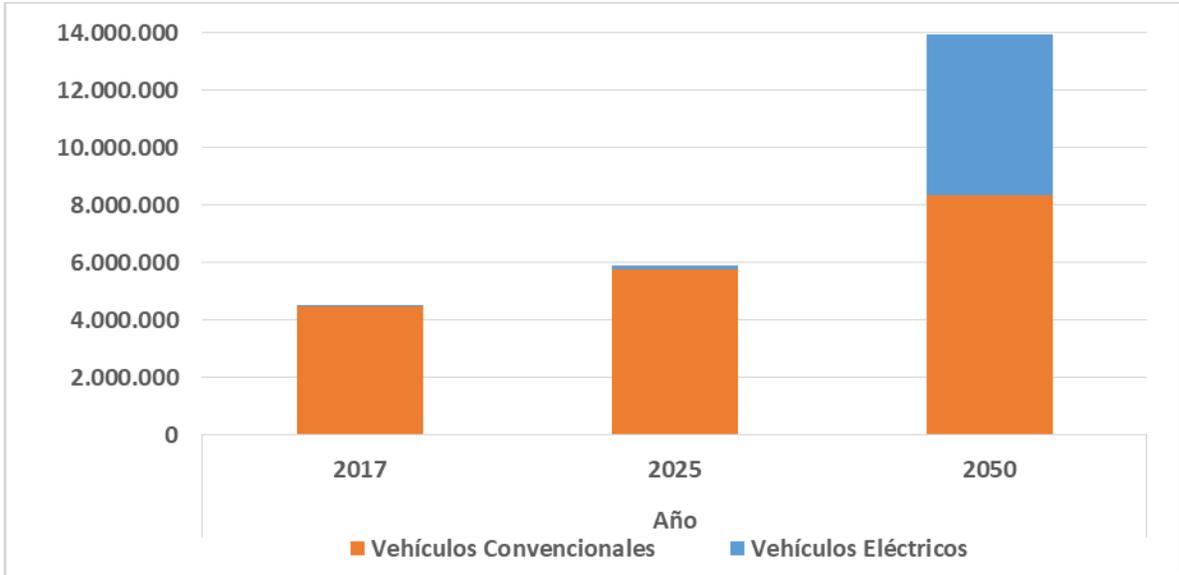


Figura 5-7: Proyección vehículos particulares.

En la Tabla 2-7 se puede observar la proyección de ventas de vehículos particulares que utilizan tecnología eléctrica.

Tabla 5-13: Proyección vehículos particulares.

Año	2017	2025	2050
Vehículos eléctricos	215	117.748	5.565.365
Vehículos Convencionales	4.470.759	5.769.671	8.348.048
Total	4.470.974	5.887.419	13.913.413

### 5.2.1 Calculo de generación eléctrica vehículos eléctricos

Se realizó un cálculo de generación eléctrica considerando la incorporación de la tecnología de vehículos eléctricos al parque vehicular de Chile, considerando las proyecciones de la Tabla 5-13.

Para el cálculo de energía eléctrica que requieren los vehículos eléctricos, se utilizara una autonomía de 335,8 km y una batería promedio de 44,2 kWh, que son equivalente al promedio de los vehículos eléctricos Nissan Leaf, Renault Zoe, Tesla Model S, Hyundai Ioniq y Kia Soul. Además, se tomó en consideración que un vehículo particular recorre 25.000 kilómetros en un año [70].

En la Figura 5-14 se puede observar los niveles de generación eléctrica de los distintos años y como se ve aumentada la generación con la incorporación masiva de esta tecnología.

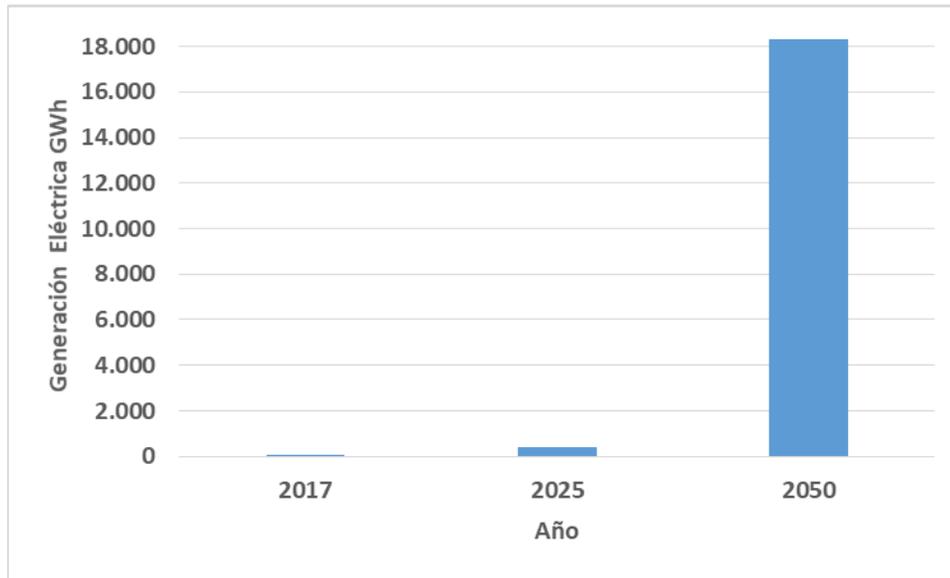


Figura 5-8: Generación eléctrica vehículos eléctricos.

En la Tabla 5-14 se encuentran los valores de generación de energía eléctrica que necesitarían los vehículos eléctricos para poder circular durante un año.

Tabla 5-14: Energía eléctrica requerida por vehículos eléctricos.

Año	Generación eléctrica (GWh)
2017	0,7
2025	387,5
2050	18.313,7

Si el parque de vehículos particulares llegara a ser un 40% eléctrico, entonces sería necesario generar alrededor de 23.172 GWh de energía en un año para que estos vehículos puedan circular por las calles durante un año. Esto equivale a un 31,22% de la energía generada en el año 2017.

Tabla 5-15: Comparación generación eléctrica incorporando vehículos eléctricos particulares.

Año 2017 (GWh)	Parque vehículos eléctricos año 2050 (GWh)	Aumento (%)
74.224	18.313,7	24,67%

### 5.2.2 Calculo emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares

Se realizó un cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos particulares del actual parque vehicular, junto con la incorporación de vehículos eléctricos, en donde se consideró las proyecciones de la Tabla 5-13.

Para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> de las centrales generadoras, se utilizará la energía eléctrica que necesitan los vehículos eléctricos (VE) para recorrer 25.000 kilómetros en un año. Se tomarán los datos obtenidos de generación de la Tabla 5-14.

Además, se utilizaron tres proyecciones de generación del SEN, uno donde la generación renovable predomina, otro en donde la generación térmica predomina y por último la generación total durante el año 2017. Para estas proyecciones se utilizaron los factores de emisiones de CO<sub>2</sub> que se muestran en la Tabla 4-1

Para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos combustión (VC) se utilizará un factor de emisiones de CO<sub>2</sub> promedio de 0,1598 kg de CO<sub>2</sub> por kilómetro, que es equivalente al promedio de los vehículos Chevrolet Sail, Kia Morning, Suzuki Swift, Toyota RAV4 y Nissan Qashqai.

En la Figura 5-9 se puede observar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos particulares actuales y los proyectados, considerando la incorporación de vehículos eléctricos.

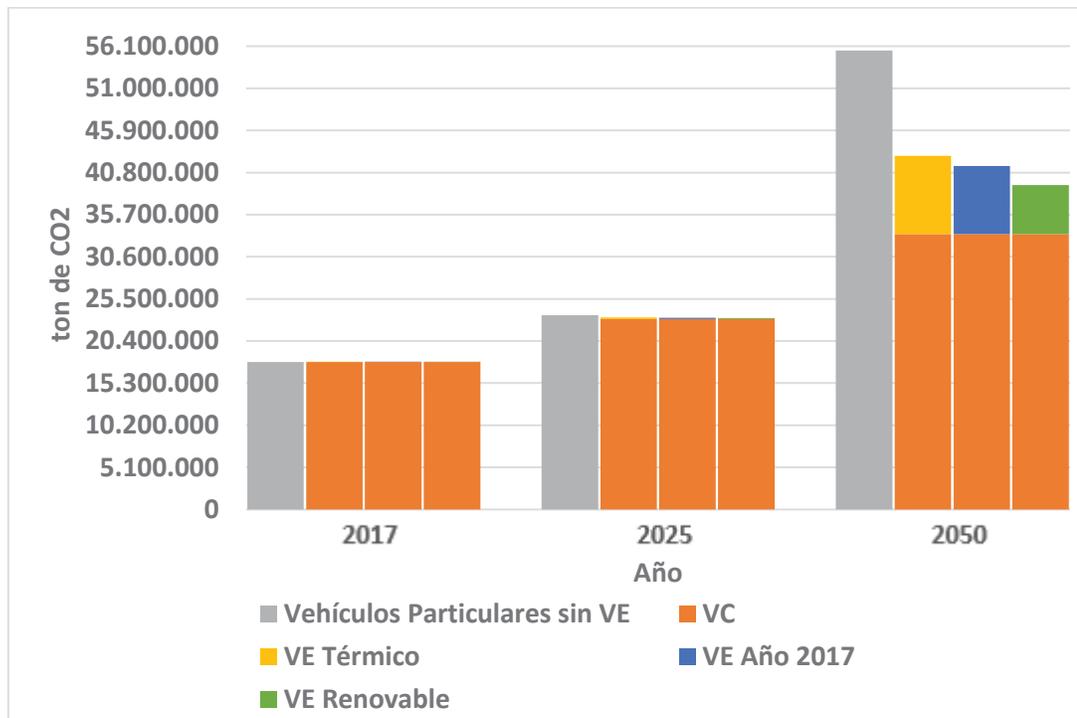


Figura 5-9: Emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares.

En la Tabla 5-16 se encuentran las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos particulares del parque automotriz, por tecnología, considerando la incorporación de vehículos eléctricos, junto con los supuestos de generación de energía eléctrica.

Tabla 5-16: Emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares con participación de vehículos eléctricos.

Año	Toneladas de CO <sub>2</sub>			
	Vehículos Combustión	Vehículos Eléctricos		
		Generación Térmica	Generación Año 2017	Generación Renovable
2017	17.860.682	366	318	229
2025	23.049.836	200.321	174.360,3	125.152
2050	33.350.452	9.468.164	8.241.148,7	5.915.313

En la Tabla 5-17 se puede observar las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos particulares del parque automotriz de Chile según la incorporación de los vehículos eléctricos y según el tipo de generación de energía eléctrica.

Tabla 5-17: Emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares.

Año	Toneladas de CO <sub>2</sub>			
	Vehículos Particulares del parque automotriz			
	Sin Incorporación Vehículos Eléctricos	Generación Térmica	Generación Año 2017	Generación Renovable
2017	17.861.541	17.861.048	17.861.001	17.860.911
2025	23.520.239	23.250.156	23.224.196	23.174.988
2050	55.584.085	42.818.616	41.591.601	39.265.765

En la Tabla 5-18 se puede observar la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos particulares, donde se comparó las emisiones sin la incorporación de vehículos eléctricos versus la incorporación de vehículos eléctricos, considerando una mayor generación térmica.

Tabla 5-18: Variación de emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares generación térmica.

Año	Variación	
	Ton de CO <sub>2</sub> sin VE-Térmica	Porcentaje sin VE-Térmica
2017	493	0,003%
2025	270.083	1,,148%
2050	12.765.469	22,966%

En la Tabla 5-19 se puede observar la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos particulares, donde se comparó las emisiones sin la incorporación de vehículos eléctricos versus la incorporación de vehículos eléctricos, considerando la generación total del año 2017.

Tabla 5-19: Variación de emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares generación año 2017.

Año	Variación	
	Ton de CO <sub>2</sub> sin VE-Año 2017	Porcentaje sin VE-Año 2017
2017	541	0,003%
2025	296.043	1,259%
2050	13.992.484	25,174%

En la Tabla 5-20 se puede observar la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos particulares, donde se comparó las emisiones sin la incorporación de vehículos eléctricos versus la incorporación de vehículos eléctricos, considerando mayor generación renovable.

Tabla 5-20: Variación de emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares con mayor generación renovable.

Año	Variación	
	Ton de CO <sub>2</sub> sin VE-Renovable	Porcentaje sin VE-Renovable
2017	630	0,004%
2025	345.251	1,468%
2050	16.318.320	29,358%

En la Tabla 5-21 se puede observar la variación de emisiones de CO<sub>2</sub>, donde solo se consideró la incorporación de vehículos eléctricos particulares al parque automotriz, mostrando la comparación de una generación donde el mayor aporte lo hacen las centrales térmicas versus la generación total del año 2017 y donde la mayor generación es en base a energía renovables.

Tabla 5-21: Variación de emisiones de CO<sub>2</sub> vehículos particulares con participación de vehículos eléctricos.

Año	Variación			
	Ton de CO <sub>2</sub> Térmica-Año 2017	Porcentaje Térmica-Año 2017	Ton de CO <sub>2</sub> Térmica-Renovable	Porcentaje Térmica-Renovable
2017	47	0,0003%	137	0,001%
2025	25.960	0,11%	75.169	0,32%
2050	1.227.015	2,87%	3.552.851	8,30%

Al año 2017 la participación de vehículos eléctricos es bastante baja respecto del parque vehicular, por lo que si se observar las Tablas 5-18, 5-19 y 5-20, en cualquier caso del tipo de generación que se realice varía casi un 0% respecto de las toneladas de CO<sub>2</sub> generadas sin considerar la incorporación de los vehículos eléctricos. Las emisiones del año actual independientemente de la implementación de la tecnología eléctrica, son bastante grandes, llegando a emitir una contaminación de alrededor de los 17,8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Al año 2025, la incorporación de la tecnología eléctrica en el parque automotriz llega a un total de 117.748 vehículos que utilizan esta tecnología, en donde se logra obtener una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto del año 2017, aunque si se considera que la mayor generación eléctrica es en base a energías renovables, entonces la disminución es aún mayor llegando a disminuir un 1,47% respecto de los vehículos particulares sin la incorporación de la tecnología eléctrica. La implementación de vehículos eléctricos aun es baja y se ve reflejada en que no genera un gran impacto en las emisiones del parque vehicular, ya que, sin la incorporación de esta tecnología, las emisiones podrían disminuir hasta en un 1,47% si se considera el mejor de los casos.

Si la incorporación de vehículos eléctricos en el parque vehicular llegase a alcanzar un 40% de participación en los vehículos particulares del parque automotriz de Chile al año 2050, entonces ahí se vería una disminución significativa en las emisiones de CO<sub>2</sub> del orden de los 12,7 millones de toneladas, considerando un caso donde la mayor generación es en base a centrales térmicas y podría llegar a disminuir cerca de 16,3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> si se considera que la mayor energía eléctrica es generada por centrales que utilizan tecnologías renovables.

Debido a que el parque vehicular irá en un crecimiento constante, es inevitable que las emisiones de CO<sub>2</sub> aumenten. Esto dependerá de la tecnología por la que este compuesto el parque automotriz, por lo que entre más participación de vehículos eléctricos exista, menor será el aumento de emisiones.

Si se considera que las emisiones generadas por los vehículos eléctricos se trasladan a los centros de generación, se tendría un impacto mayor en la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en las ciudades como, Santiago que es donde mayor concentración de vehículos existe. En la Tabla 5-16, se puede observar las emisiones de los vehículos de combustión, que son las emisiones que se concentran en las ciudades donde circulan estos vehículos.

## Discusión y conclusiones

Se presentó la problemática que implica al desarrollo de este proyecto. El objetivo principal del proyecto era evaluar el efecto de la conversión progresiva de la matriz automotriz nacional sobre la producción de energía eléctrica y las emisiones de gases de efecto invernadero, y este se ha logrado satisfactoriamente. Se dieron a conocer los ejes temáticos dentro del cual se desarrolla el proyecto, de los cuales destacan las Centrales de Generación, los Vehículos Eléctricos, los Vehículos Convencionales y los Gases de Efecto Invernadero.

Se realizó un estudio de la Matriz Eléctrica Nacional, incluyendo su composición y clasificación de acuerdo al tipo de central generadora. Se debe destacar la capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional, el cual se utilizará como foco para el desarrollo de este proyecto. Además, se menciona el concepto de Generación Eléctrica, el cual es un elemento clave para la recarga y funcionamiento de los vehículos eléctricos.

En cuanto a los Vehículos Eléctricos, se realizó un estudio en donde se describen las distintas tecnologías que se ocupan en la fabricación de los tipos de vehículos existentes, explicando de forma detallada el funcionamiento de los distintos tipos y sus respectivas características. Además, se desarrolló un estudio de los tipos y modos de recargas de estos vehículos, explicando las características y como se encuentra Chile en esta materia.

Luego, se realizó una revisión bibliográfica del estado actual de los vehículos eléctricos en el mercado y como ha ido evolucionando, con el fin de tener en cuenta la proporciones que se podrían utilizar en las proyecciones a futuro. Seguidamente se realizó una comparación de los vehículos eléctricos versus los vehículos de combustión.

Con respecto a los vehículos de combustión, se realizó un estudio del mercado actual de estos vehículos. Luego se hizo una revisión del parque vehicular de Chile, explicando la composición por tipo de categorías del este parque vehicular.

Seguidamente, se realizó un análisis de las variables y parámetros de las emisiones de gases de efecto invernadero que generan indirectamente los vehículos eléctricos. Se describe las variables y la manera que interactúa con el resto de las variables.

Hecho esto, se estudió la generación eléctrica y emisiones de gases de efecto invernadero, específicamente CO<sub>2</sub>, para luego obtener un factor de emisiones de CO<sub>2</sub> en base a la producción

de energía eléctrica generada por las centrales generadoras del sistema eléctrico nacional. Este tema es importante, ya que es donde comienza a dar forma el modelo analítico que se realizó.

Se presenta el modelo analítico que permite cuantificar la producción de energía eléctrica y las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por los vehículos de combustión e indirectamente por los vehículos eléctricos. Se explican las formas de obtención de los datos, basado principalmente en la generación eléctrica y distancias recorridas por los vehículos. Se describe los procesos de adquisición de parámetros y de los datos para dar paso a la utilización del modelo.

El modelo utilizó para tres escenarios de generación eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional considerando una generación mayormente renovable, una generación donde las termoeléctricas fueran predominantes y finalmente lo total generado durante el año 2017, donde ocurre una mezcla de generación entre centrales renovables y centrales térmicas.

Los resultados nos permiten evidenciar el beneficio de la implementación de este tipo de vehículos. Se nota una gran disminución de gases de efecto invernadero y aumento de la producción de energía eléctrica, por lo que es muy relevante el estudio para una implementación de los vehículos eléctricos considerando el impacto que tendrán esta tecnología en el parque vehicular a medida que pasen los años.

La implementación de los vehículos eléctricos, logra mejorar la contaminación, permitiendo una disminución en las emisiones de los gases de efecto invernadero. Aun así, los resultados muestran la aparición de una contaminación asociada a la generación de energía eléctrica que necesitan estos vehículos para poder circular.

En base al modelo analítico desarrollado, se realizaron dos proyecciones, una para los buses eléctricos del transporte público de la Región Metropolitana y otra proyección para el parque vehicular de Chile. Estas proyecciones permite tener una clara visión sobre como impactara esta tecnología en nuestro país, logrando estimar la generación de energía que se sumaría a la demanda total y la emisiones de CO<sub>2</sub> que produce el actual sistema eléctrico, permitiendo a empresas generadoras tomar en cuenta la implementación de nuevas centrales generadoras con el fin de abastecer esta energía y tomar en cuenta las central que utilizan tecnologías de energía renovables para lograr una mayor disminución en las emisiones de gases contaminantes.

Actualmente la participación de los buses eléctricos es mínima respecto de gran parte de los buses convencionales del Transantiago. Aun cuando este valor es pequeño, en la proyección a largo plazo que se realizó, estima que al año 2050 el total de la flota utilizara tecnología eléctrica, logrando una disminución de emisiones de gases contaminantes bastante significativa y un gran impacto en la producción de energía eléctrica.

El parque vehicular ira en un constante crecimiento, lo cual hace inevitable que las emisiones de gases contaminantes aumenten. Las proyecciones que se realizaron para la incorporación de los vehículos eléctricos al parque vehicular, estiman que al 2050 el 40% utilizara esta tecnología. Los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> y generación eléctrica, se compararon sin la implementación de

esta tecnología al año 2050. Esto nos permite evidenciar como influye la incorporación de esta tecnología, las mejoras que traen consigo en cuanto a las emisiones de gases contaminantes y el impacto de la generación de energía eléctrica.

Para trabajos a futuros, se sugiere analizar el comportamiento de los vehículos híbridos eléctricos en la incorporación del transporte público del Transantiago y la conversión del parque automotriz de Chile a vehículos híbridos eléctricos. Para ellos es necesario estudiar los vehículos híbridos eléctricos. En lo que respecta al modelo que cuantifica las emisiones CO<sub>2</sub> y la producción de energía eléctrica, este puede ser mejorado incorporando las emisiones de otros gases de efecto invernadero que tendrían impacto en la contaminación. Con respecto a los buses eléctricos, se sugiere la implementación de esta tecnología en lugares externos a la zona de estudio.

# Bibliografía

- [1] Comité Consultivo de Energía 2050, «Energía 2050: Política energética de Chile,» En Línea, Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.energia2050.cl/wp-content/uploads/2016/07/Hoja-de-Ruta-2050.pdf>. [Último acceso: 27 Marzo 2018].
- [2] Ministerio de Energía, «Ministerio de Energía,» En Línea, Diciembre 2017. [En línea]. Available: [http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/plan\\_de\\_mitigacion\\_energia.pdf](http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/plan_de_mitigacion_energia.pdf). [Último acceso: 20 Abril 2018].
- [3] Generadoras de Chile, «Generadoras de Chile,» En Línea, Abril 2018. [En línea]. Available: <http://generadoras.cl/media/page-files/439/Bolet%C3%ADn-Mercado-El%C3%A9ctrico-Sector-Generaci%C3%B3n-Abril-2018.pdf>. [Último acceso: 4 Mayo 2018].
- [4] Chile mejor, «Ministerio de Energía,» En Línea, Diciembre 2017. [En línea]. Available: [http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia\\_electromovilidad-8dic-web.pdf](http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf). [Último acceso: 16 Mayo 2018].
- [5] Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería, «Instituto de sistemas complejos de ingeniería,» En Línea, 23 Agosto 2018. [En línea]. Available: <http://www.isci.cl/estamos-preparados-para-los-autos-electricos>. [Último acceso: 24 Agosto 2018].
- [6] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., «Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G.,» En Línea, Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2018/11/10-Informe-del-Mercado-Automotor-October-2018.pdf>. [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [7] Generadoras de Chile, «Generadoras de Chile,» En Línea, 2017. [En línea]. Available: <http://generadoras.cl/tipos-energia/energia-termica>. [Último acceso: 25 Abril 2018].
- [8] Generadoras de Chile, «Generadoras de Chile,» En Línea, 2017. [En línea]. Available: <http://generadoras.cl/tipos-energia/energia-hidroelectrica>. [Último acceso: 27 Abril 2018].

- [9] Ministerio de Energía, «Ministerio de Energía,» En Línea, 2017. [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.cl/energias-renovables>. [Último acceso: 20 Abril 2018].
- [10] Instituto Nacional de Estadísticas, «Censo 2017,» En Línea, Diciembre 2017. [En línea]. Available: [http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion\\_de\\_la\\_segunda\\_entrega\\_de\\_resultados\\_censo2017.pdf](http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf). [Último acceso: 15 Abril 2018].
- [11] CNE, «Comisión Nacional de Energía,» En Línea, Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.cne.cl/estadisticas/electricidad>. [Último acceso: 24 Abril 2018].
- [12] Ley Chilena, «Ley 19.940,» *de de Regula sistemas de transporte de energía eléctrica, establece un nuevo regimen de tarifas para sistemas eléctricos medianos e introduce las adecuaciones que indica la ley general de servicios eléctricos*, Biblioteca del Congreso Nacional, 13 Marzo 2004.
- [13] Comisión Nacional de Energía, «Comisión Nacional de Energía,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.cne.cl/estadisticas/electricidad/generacion\\_bruta](https://www.cne.cl/estadisticas/electricidad/generacion_bruta). [Último acceso: 29 Noviembre 2018].
- [14] Edelmag, «Edelmag Grupo CGE,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.edelmag.cl/inicio/sector-electrico/sistema-de-magallanes>. [Último acceso: 15 Abril 2018].
- [15] Energía Abierta, «Energía Abierta,» En Línea, 2017. [En línea]. Available: <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/245418/generacion-bruta-mensual-sing-por-tecnologia/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2018].
- [16] Energía Abierta, «Energía Abierta,» En Línea, 2017. [En línea]. Available: <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/245420/generacion-bruta-mensual-sic-por-tecnologia/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2018].
- [17] Servicio de Evaluación Ambiental, «Servicio de Evaluación Ambiental,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.sea.gob.cl/que-es-el-seia>. [Último acceso: 15 Abril 2018].
- [18] Generadoras de Chile, «Generadoras de Chile,» Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://generadoras.cl/media/page-files/427/boletin-mercado-electrico-sector-generacion-marzo-2018.pdf>. [Último acceso: 14 Abril 2018].
- [19] Generadoras de Chile, «Generadoras de Chile,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://generadoras.cl/media/page-files/420/Boletin%20Sector%20Generacion%20Mercado%20Electrico%20Febrero%202018.pdf>. [Último acceso: 14 Abril 2018].

- 
- [20] Legislación chilena, «Decreto 86,» de *de Aprueba reglamento para la fijación de precios de nudo*, Biblioteca del Congreso Nacional, 29 Agosto 2012.
- [21] Historia y Vida, «Historia y Vida,» En Línea, 27 Febrero 2018. [En línea]. Available: [http://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-del-coche-electrico\\_12106\\_102.html](http://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-del-coche-electrico_12106_102.html). [Último acceso: 24 Mayo 2018].
- [22] WikipediA, «WikipediaA: La enciclopedia libre,» En Línea, [En línea]. Available: [http://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_del\\_veh%C3%ADculo\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_veh%C3%ADculo_el%C3%A9ctrico). [Último acceso: 25 Mayo 2018].
- [23] M. Bellis, «ThoughtCo,» En Línea, 15 Julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603>. [Último acceso: 25 Mayo 2018].
- [24] A. Q Arbuckle, «Mashable,» 2018. [En línea]. Available: <https://ecoinventos.com/primeros-coches-electricos-de-la-historia>. [Último acceso: 15 Noviembre 2018].
- [25] TUDelf, «edX,» En Línea, [En línea]. Available: <http://courses.edx.org/courses/course-v1:DelftX+eCARS1x+1T2018a/course>. [Último acceso: 15 Junio 2018].
- [26] Á. Iniesta López, «Vehículo eléctrico: ¿Una opción de futuro en los sistemas eléctricos?,» Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España, 2015.
- [27] Enel, «Enel Distribución,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.eneldistribucion.cl/mapa-electrolinera>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [28] La Tercera, «Educación Continua Ingeniería Eléctrica,» En Línea, 26 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.ecodie.cl/chile-se-suma-la-corriente-los-autos-electricos>. [Último acceso: 2018 Junio 25].
- [29] International Energy Agency, «Global EV Outlook 2018,» 2018.
- [30] NISSAN, «NISSAN,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.nissan.es/vehiculos/nuevos-vehiculos/leaf.html>. [Último acceso: 11 Julio 2018].
- [31] TESLA, «TESLA,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.tesla.com/sites/default/files/tesla-model-s.pdf>. [Último acceso: 16 Julio 2018].

- 
- [32] Corriente Eléctrica, «Corriente Eléctrica,» En Línea, [En línea]. Available: <http://corrienteelectrica.renault.es/renault-zoe-electrico-mas-vendido-espana-2017>. [Último acceso: 2018 Julio 17].
- [33] Renault España, «Renault: Passion for life,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.renault.es/e-brochure/ZOEB10/pdf/fullPDF.pdf>. [Último acceso: 17 Julio 2018].
- [34] G. García Martínez, «Movilidad Eléctrica,» En Línea, 24 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://movilidadelectrica.com/primeras-impressiones-del-hyundai-ioniq-electrico>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [35] HYUNDAI, «HYUNDAI,» En Línea, [En línea]. Available: <https://hyundai.cl/page/assets/pdf/ficha-tecnica/ioniq-electrico.pdf>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [36] Kia, «Kia,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.kia.com/co/showroom/soul-ev/specification.html>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [37] Toyota, «Toyota,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.toyota.es/coches/auris/index.json#/ajax/%2Fcoches%2Fauris%2Fauris-brochure.json>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [38] Toyota, «Toyota,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.toyota.cl/modelos/camry-h>. [Último acceso: 2018 Julio 18].
- [39] Kia, «Kia,» En Línea, Enero 2017. [En línea]. Available: <http://www2.kia.cl/sobrekia/noticia/2018/kia-niro-el-hibrido-mas-reconocido-en-el-mundo-llega-a-chile>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [40] Kia, «Kia,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www2.kia.cl/minisitios/niro>. [Último acceso: 19 Julio 2018].
- [41] Lexus, «Lexus,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.lexus.cl/es/models/ct/ct-200h.html#specifications>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [42] Hyundai, «Hyundai,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.hyundai.es/IONIQ-Hibrido-enchufable>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [43] Kia, «Kia,» En Línea, [En línea]. Available: <http://press.kia.com>. [Último acceso: 19 Julio 2018].

- 
- [44] Land Rover, «Land Rover,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.landrover.es/vehiculos/pehv/pehv-vehiculos/range-rover-sport.html>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [45] Mitsubishi Motors, «Mitsubishi Motors,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.mitsubishi-motors.cl/vehiculo/outlander-pehv/#carousel-generic>. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [46] BMW, «BMW,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.bmw.es/es/coches-bmw/bmw-i/i8-coupe/2017/datos-tecnicos.html#tab-0>. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [47] BYD, «Build Your Dreams,» En Línea, [En línea]. Available: <http://en.byd.com/la/auto/es/ebus.html>. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [48] Yutong, «AVERE France,» En Línea, [En línea]. Available: [http://www.aver-france.org/Uploads/Documents/1449152828b0d2466430b9d6f83e22a9c6b8d0d91e-FT\\_yutong\\_E12\\_oct15.pdf](http://www.aver-france.org/Uploads/Documents/1449152828b0d2466430b9d6f83e22a9c6b8d0d91e-FT_yutong_E12_oct15.pdf). [Último acceso: 24 Julio 2018].
- [49] Electromovilidad, «Electromovilidad,» En Línea, [En línea]. Available: <http://electromovilidad.net/comparativa-coche-electrico-vs-coche-combustion>. [Último acceso: 10 Julio 2018].
- [50] D. Arias Pérez, «Influencia del vehículo eléctrico sobre la fiabilidad de los sistemas eléctricos,» Leganés, España, 2015.
- [51] Going Electric, «Going Electric,» 19 Septiembre 2012. [En línea]. Available: <https://www.goingelectric.de/2012/09/19/news/renault-zoe-transparent>. [Último acceso: 15 Noviembre 2018].
- [52] Asociación Nacional Automotriz de Chile, «Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G.,» En Línea, Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2018/08/07-Informe-del-Mercado-Automotor-Julio-2018.pdf>. [Último acceso: 10 Agosto 2018].
- [53] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, «Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones,» En Línea, 2018. [En línea]. Available: <http://www.mtt.gob.cl/archivos/5626.html>. [Último acceso: 10 Octubre 2018].
- [54] A. Cruz Pizarro, «Administración y Transportes CL,» En Línea, 12 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://administracionytransportes.cl/2015/10/12/transantiago-marcopolo-gran-viale-articulado-volvo-b9-salf>. [Último acceso: 14 Noviembre 2018].

- [55] Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, «Actualización de factores de emisión para buses y transporte de carga de la Región Metropolitana,» Santiago, 2007.
- [56] A. Cruz Pizarro, «Administración y Transportes CL,» En Línea, 13 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://administracionytransportes.cl/2015/10/13/transantiago-marcopolo-gran-viale-volvo-b7r-le>. [Último acceso: 14 Noviembre 2018].
- [57] DTP Metropolitano, «Directorio de Transporte Público Metropolitano,» En Línea, 2018. [En línea]. Available: <http://transantiago.cl/index.php/noticias/indicadores-de-operacion>. [Último acceso: 6 Noviembre 2018].
- [58] Pulso, «Pulso - La Tercera,» En Línea, 1 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.latercera.com/pulso/noticia/enel-x-inicia-proceso-entrega-100-buses-electricos-se-incorporaran-al-transantiago/338022/#>. [Último acceso: 10 Octubre 2018].
- [59] Google Maps, «Google Maps,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps>. [Último acceso: 15 Noviembre 2018].
- [60] Ruta Transporte, «Ruta Transporte,» En Línea, 13 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://transporte.rutamotor.com/yutong-presenta-bus-totalmente-electrico-transantiago#>. [Último acceso: 24 Octubre 2018].
- [61] Directorio de Transporte Público Metropolitano, «DTP Metropolitano,» En Línea, 2018. [En línea]. Available: <https://www.dtpm.cl/index.php/infraestructura/infraestructura-vial>. [Último acceso: 6 Noviembre 2018].
- [62] Directorio de Transporte Público Metropolitano, «DTP Metropolitano,» En Línea, 2018. [En línea]. Available: <https://www.transantiago.cl/acerca-de-transantiago/detalle-de-empresas>. [Último acceso: 6 Noviembre 2018].
- [63] Instituto Nacional de Estadísticas, «Instituto Nacional de Estadísticas,» En Línea, 2017. [En línea]. Available: <http://www.ine.cl/estadisticas/economicas/transporte-y-comunicaciones?categoria=Anuarios>. [Último acceso: 25 Julio 2018].
- [64] Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental, «Energía Abierta,» En Línea, [En línea]. Available: <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/245974/factor-de-emisiones-promedio-mensual>. [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [65] M. J. Villarroel, «Biobio Chile,» En Línea, 8 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-metropolitana/2018/08/08/transportes-anuncia-llegada-de-600-buses-de-transantiago-para-primer-trimestre-de-2019.shtml>. [Último acceso: 15 Agosto 2018].

- 
- [66] Energy to Business SPA, «Generadoras de Chile,» En Línea, 2017. [En línea]. Available: [http://generadoras.cl/media/170822\\_Estudio\\_Escenarios\\_de\\_Usos\\_Futuros\\_de\\_la\\_Electricidad.pdf](http://generadoras.cl/media/170822_Estudio_Escenarios_de_Usos_Futuros_de_la_Electricidad.pdf). [Último acceso: 3 Noviembre 2018].
- [67] G. Burgos, «América Retail,» En Línea, 12 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.america-retail.com/chile/chile-hacia-el-ano-2025-los-vehiculos-electricos-alcanzaran-entre-el-2-y-3-del-parque-automotor>. [Último acceso: 10 Noviembre 2018].
- [68] The International Council On Clean Transportation, «European Vehicle Market Statistics,» En Línea, 2014. [En línea]. Available: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU\\_pocketbook\\_2014.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU_pocketbook_2014.pdf). [Último acceso: 10 Noviembre 2018].
- [69] Ministerio de Energía, «Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo,» 2018.
- [70] Autofact, «Autofact,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.autofact.cl/historial-vehiculo/kilometraje>. [Último acceso: 17 Noviembre 2018].
- [71] C. G. Vera Moya, «Modelo de flujo vehicular para evaluar estrategias de carga de autos eléctricos sobre la red de distribución,» Escuela de Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 2016.
- [72] Enel X, «Enel X,» En Línea, [En línea]. Available: <http://www.tiendaenel.cl/201-carga-auto-electrico>. [Último acceso: 29 Junio 2018].
- [73] Directorio de Transporte Público Metropolitano, «DTP Metropolitano,» En Línea, [En línea]. Available: <https://www.transantiago.cl/mapas-y-recorridos/conoce-los-recorridos>. [Último acceso: 26 Octubre 2018].