



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RECAMBIO DE BATERÍAS DE
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y NECESIDADES DE CLASIFICACIÓN DE
CELDA PARA PROLONGAR SU VIDA ÚTIL.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

DAVID IGNACIO ARANDA ROMERO

PROFESOR GUÍA:
WILLIAMS CALDERÓN MUÑOZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
BÁRBARA SILVA SILVA
MARCELO MATUS ACUÑA

SANTIAGO DE CHILE
2023

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO
POR: DAVID IGNACIO ARANDA ROMERO
FECHA: 2023
PROF. GUÍA: WILLIAMS CALDERÓN MUÑOZ

DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RECAMBIO DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y NECESIDADES DE CLASIFICACIÓN DE CELDAS PARA PROLONGAR SU VIDA ÚTIL.

En la actualidad el cuidado del medio ambiente es de suma importancia, para su combatir este problema, se ha decidido realizar el recambio de tecnología en los vehículos, cambiando los motores a combustión interna por eléctricos. Este recambio con el paso de los conllevará a que circule por las calles una gran cantidad de vehículos eléctricos, lo cuales tendrán una gran necesidad el recambio de las baterías en su sistema de almacenamiento. Esto desencadenará en el problema que en los futuros años se tendrá una gran salida de baterías del mercado de vehículos eléctricos que pueden no ser aprovechadas, dado que esta aun es utilizable en tareas de menores requisitos.

En el siguiente trabajo tiene como objetivo determinar escenarios futuros de recambio de baterías de vehículos eléctricos y la necesidad de clasificarlas para que puedan ser reutilizadas, en usos de segunda vida y que la mayoría no sea desechada.

Para lograr este objetivo, es necesario establecer una metodología basada en una revisión bibliográfica y comprender el estado del arte. Luego, mediante antecedentes poder obtener una proyección de los vehículos eléctricos en el futuro próximo, que permitan establecer escenarios mediante la variabilidad de la penetración de los vehículos eléctricos. Posteriormente, se desarrolla una proyección de las baterías recambiadas considerando la duración de su vida útil, además, de generar un escenario basado en los incentivos sobre los vehículos eléctricos presentes en el plano internacional.

Como conclusiones del trabajo se tiene que tanto la vida útil de las baterías como las ventas de los vehículos eléctricos pueden generar un amplio rango de resultados, en donde con poco incentivo para el desarrollo de la electromovilidad se puede tener poco más de 100 mil baterías saliendo del mercado en 2050 a alcanzar más de 2 millones de estas, en caso de cumplir con las metas establecida en la estrategia nacional de electromovilidad. Por otra parte, sí solo se basa en lo realizado por los incentivos en mercado internacionales aun cuando este es un mercado joven, de poca más de 10 años, se puede entender que el mercado de vehículos eléctricos va en ascenso con el paso de los años.

Para trabajo futuro importante notar que el periodo de recolección de datos es corto debido al corto período de existencia de los vehículos eléctricos, por lo que tener en cuenta cómo evolucionan los mercados en el mundo. Además, estudiar el uso de baterías en vehículos, dado que en una tecnología que aún no ha madurado por lo que será necesario asentar su comportamiento mediante datos desde las experiencias de los años próximos y no solo con estudios o teorías del comportamiento de estas.

*¡Nunca te rindas!
Confía en tus capacidades.*

Saludos

Agradecimientos

Quiero agradecer al profesor Williams Calderón por su apoyo y la oportunidad de realizar este trabajo. También, agradecer a los Profesores Bárbara Silva y Marcelo Matus por sus consejos y ayuda.

Agradecer a mi familia, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles y quienes me formaron en la persona que soy. A mis padres Leonel y María Teresa, mis hermanos Gabriela y Leonel Vicente, a mis abuelos, tíos, tías, primos, prima y junto con ellos también, a mis mascotas. Para todos ustedes va este logro, una meta más conquistada en esta vida.

Agradecer a mis amigos de la infancia, por su preocupación y mantener el contacto. Agradecer a mis amigos de la Facultad, en especial a Alejandro, Andrés y Matías con quienes tuve el placer de compartir en clases, tareas y pruebas. Ahora pude culminar esta aventura que fue maravillosa gracias a ustedes.

Finalmente, quiero agradecer a todos los profesores, auxiliares y trabajadores de la Facultad que me aportaron con su ayuda para avanzar hasta este momento y que permitieron un mejor pasar por mi etapa durante la Universidad.

Muchas Gracias.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcance del trabajo	3
1.4. Estructura del documento	3
2. Marco teórico y Estado del Arte	4
2.1. Marco teórico	4
2.1.1. Vehículo Eléctrico	4
2.1.2. Baterías de Ion-Litio	7
2.1.3. Economía Circular	12
2.2. Estado del Arte	13
2.2.1. Electromovilidad	13
2.2.2. Aplicaciones para baterías de segundo uso	15
2.2.3. Sistemas de almacenamiento energéticos para vehículos eléctricos	16
3. Antecedentes	19
3.1. Mercado de EV en Chile y casos Internacionales	19
3.2. Legislación	21
3.2.1. Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley 20.920)	21
3.2.2. Incentivos	22
3.3. Proyección del parque de EV en Chile	25
4. Proyección de Baterías	28
4.1. Supuestos	28
4.2. Resultados	29
4.2.1. Caso Pesimista	29
4.2.2. Caso Optimista	33
4.2.3. Caso Incentivos Internacionales	37
5. Análisis de Resultados	42
6. Conclusión y Trabajo a futuro	51
Bibliografía	53

Anexos	55
A. Mercado de Vehículos Eléctricos	55
A.1. Ventas Históricas de ANAC	56
A.2. Mercados Internacionales	63
B. Resultados Proyección Baterías Ion-Litio	66
B.1. Escenario Pesimista	66
B.2. Escenario Optimista	69
B.3. Escenario Incentivo	72
C. Evolución de la Penetración Internacional de EV	75

Índice de Tablas

3.1.	Modelos BEV en el Mercado de Chile.	20
3.2.	Modelos HEV y PHEV en el Mercado de Chile. * Modelos HEV	20
3.3.	Incentivo Directo, casos internacionales.	22
3.4.	Incentivo Indirecto, casos internacionales.	23
4.1.	Escenarios de los Modos de vehículos, Escenario Pesimista.	29
4.2.	Distribución para vida útil de baterías, Escenario Pesimista	30
4.3.	Escenarios de los Modos de vehículos, Escenario Optimista.	33
4.4.	Distribución para vida útil de baterías, Escenario Optimista.	34
4.5.	Escenarios de los Modos de vehículos, Escenario Pesimista.	37
5.1.	Resultados por región, Escenario Pesimista	42
5.2.	Resultados por modo de vehículo, Escenario Pesimista	43
5.3.	Resultados de capacidad de almacenamiento por región, Escenario Pesimista .	44
5.4.	Resultados de capacidad de almacenamiento por modo de vehículo, Escenario Pesimista	44
5.5.	Resultados por región, Escenario Optimista	45
5.6.	Resultados por modo de vehículo, Escenario Optimista	46
5.7.	Resultados de capacidad de almacenamiento por región, Escenario Optimista .	47
5.8.	Resultados de capacidad de almacenamiento por modo de vehículo, Escenario Optimista	47
5.9.	Resultados por región, Escenario Incentivo	48
5.10.	Resultados por modo de vehículo, Escenario Incentivo	49
5.11.	Resultados de capacidad de almacenamiento por región, Escenario Incentivo .	50
5.12.	Resultados de capacidad de almacenamiento por modo de vehículo, Escenario Incentivo	50

Índice de Ilustraciones

2.1.	Vehículo Eléctrico Gustave Trouvé. Fuente: http://talleresbandera.es/vehiculo-electrico/gustavecar/	4
2.2.	Principales Componentes del Vehículo Eléctrico. Fuente: https://ecoinventos.com/componentes-repuestos-funcionamiento-coche-electrico/#Inversor_de_corridente_B	6
2.3.	Diagrama Vehículo Eléctrico, 3 bloque principales [8].	6
2.4.	Celda de Ion-Litio. Fuente: http://arquitectologia.blogspot.com/2014/04/baterias-de-ion-litio-conceptos.html	8
2.5.	Protocolo Corriente Constante - Voltaje Constante. Fuente: [10].	10
2.6.	Economía Circular. Fuente: https://ovacen.com/economia-circular/	12
2.7.	Metas de la Estrategia Nacional de Electromovilidad. Fuente:[16].	13
2.8.	Ejes estratégicos de la Estrategia Nacional de Electromovilidad. Fuente:[16].	13
2.9.	Estimación de Vehículos Eléctricos para 2030 y 2050. Fuente:[17].	14
2.10.	Estimación de Vehículos Eléctricos para 2030 y 2050. Fuente:[19].	15
2.11.	Diagrama de Celda de combustible, tipo PEM. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible#/media/Archivo:PEM_fuel_cell_diagram.jpg	16
2.12.	Diagrama de Condensador. Fuente: https://www.digikey.com/es/articles/fundamentals-understand-the-characteristics-of-capacitor-types	17
2.13.	Plano de Rogone: Densidad de energía vs densidad de potencia[8].	17
2.14.	Tiempo de respuesta[8].	18
3.1.	Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Alemania. Fuente: [18]	23
3.2.	Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Holanda. Fuente: [18]	24
3.3.	Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Noruega. Fuente: [18]	24
3.4.	Incentivos más importantes para conductores en Noruega. Fuente: [31]	25
3.5.	Resultado Proyección Demanda Energética de Chile.	25
4.1.	Resultado proyección baterías 1° a 5° Región, Escenario Pesimista.	30
4.2.	Resultado proyección baterías 6° a 10° Región, Escenario Pesimista.	30
4.3.	Resultado proyección baterías 11° a 16° Región, Escenario Pesimista.	31
4.4.	Resultado proyección baterías Región Metropolitana, Escenario Pesimista.	31
4.5.	Resultado proyección baterías nivel Nacional, Escenario Pesimista.	31
4.6.	Resultado proyección baterías modo Vehículo ligero de Pasajero y Comercial, Escenario Pesimista.	32
4.7.	Resultado proyección baterías modo Taxi, Bus Urbano e Interurbano, Escenario Pesimista.	32
4.8.	Resultado proyección baterías todas las regiones año 2050, Escenario Pesimista.	32

4.9.	Resultado proyección baterías todos los modos año 2050, Escenario Pesimista.	33
4.10.	Resultado proyección baterías 1° a 5° Región, Escenario Optimista.	34
4.11.	Resultado proyección baterías 6° a 10° Región, Escenario Optimista.	34
4.12.	Resultado proyección baterías 11° a 16° Región, Escenario Optimista.	35
4.13.	Resultado proyección baterías Región Metropolitana, Escenario Optimista. . .	35
4.14.	Resultado proyección baterías nivel Nacional, Escenario Optimista.	35
4.15.	Resultado proyección baterías modo Vehículo ligero de Pasajero y Comercial, Escenario Optimista.	36
4.16.	Resultado proyección baterías modo Taxi, Bus Urbano e Interurbano, Escenario Optimista.	36
4.17.	Resultado proyección baterías todas las regiones año 2050, Escenario Optimista.	36
4.18.	Resultado proyección baterías todos los modos año 2050, Escenario Optimista.	37
4.19.	Resultado proyección baterías 1° a 5° Región, Escenario Incentivo.	38
4.20.	Resultado proyección baterías 6° a 10° Región, Escenario Incentivo.	38
4.21.	Resultado proyección baterías 11° a 16° Región, Escenario Incentivo.	39
4.22.	Resultado proyección baterías Región Metropolitana, Escenario Incentivo. . . .	39
4.23.	Resultado proyección baterías nivel Nacional, Escenario Incentivo.	39
4.24.	Resultado proyección baterías modo Vehículo ligero de Pasajero y Comercial, Escenario Incentivo.	40
4.25.	Resultado proyección baterías modo Taxi, Bus Urbano e Interurbano, Escenario Incentivo.	40
4.26.	Resultado proyección baterías todas las regiones año 2050, Escenario Incentivo.	40
4.27.	Resultado proyección baterías todos los modos año 2050, Escenario Incentivo. .	41
5.1.	Aporte de los diferentes modos de vehículos año 2050, Escenario Pesimista. . .	43
5.2.	Aporte de los diferentes modos de vehículos año 2050, Escenario Optimista. . .	46
5.3.	Aporte de los diferentes modos de vehículos año 2050, Escenario Incentivo. . .	49
A.1.	Ventas vehículo ligero con Motor a Combustión.	56
A.2.	Ventas camiones con Motor a Combustión.	57
A.3.	Ventas buses con Motor a Combustión.	58
A.4.	Ventas vehículos ligeros Eléctricos Híbridos.	59
A.5.	Ventas vehículos ligeros Eléctricos Puros.	60
A.6.	Ventas vehículos ligeros Eléctricos Híbridos Enchufables.	61
A.7.	Ventas camiones y buses, con Motor Eléctrico.	62
A.8.	Ventas vehículo eléctrico de Estados Unidos.	63
A.9.	Ventas vehículo eléctrico de Noruega.	64
A.10.	Ventas vehículo eléctrico de Países Bajos.	65
B.1.	Proyección de baterías por Regiones.	67
B.2.	Proyección de baterías por Modo de vehículo.	68
B.3.	Proyección de baterías por Regiones.	70
B.4.	Proyección de baterías por Modo de vehículo.	71
B.5.	Proyección de baterías por Regiones.	73
B.6.	Proyección de baterías por Modo de vehículo.	74
C.1.	Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Suecia. Fuente: [18]	75
C.2.	Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, China. Fuente: [18]	75

C.3.	Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, EE. UU.	
	Fuente: [18]	76
C.4.	Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Suiza.	
	Fuente: [18]	76

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

El Ser Humano en su quehacer diario realiza diversos tipos de actividades, las cuales afectan al planeta. Es así, que en los últimos años el impacto de estas actividades sobre el medio ambiente ha sido el principal tema de discusión, con la intención de minimizar el impacto negativo. Mitigar emisiones de gases que afectan a la capa de ozono, renovar tecnología por una menos dañina o reciclar materiales, son acciones que se han decidido para lograrlo.

El recambio de tecnología es una de las principales aristas para esta lucha. Una de las más importantes es el recambio de vehículos a combustión interna por vehículos eléctricos, dado que los vehículos en base a combustibles fósiles en su uso diario son actores altamente contaminantes y, en cambio, los vehículos eléctricos no tienen emisiones al momento de ser utilizados, se espera un aumento de su circulación por las calles con el paso de los años. Con el propósito de alcanzar este objetivo diversos países en el mundo han establecidos múltiples estrategias para alcanzar que la venta vehicular sea 100 % eléctrica. Noruega, país precursor tiene un plan para alcanzar esta meta para el año 2025. Otros casos como Irlanda, Holanda, Eslovenia para el 2030, el Reino Unido para 2035, países como China, Francia, España y Portugal en el año 2040 y, para el 2050, los países como Japón, Alemania y Estados Unidos [1]. A nivel mundial se estima que para el 2030 se tendrán 140 millones de vehículos livianos, 3 millones de buses interurbanos y 600 mil camiones [2].

Chile, para el año 2035 el gobierno tiene un plan de medidas en las que busca alcanzar que el 100 % de las ventas de vehículos livianos y medianos correspondan a vehículos eléctricos. Además, el transporte público (buses, taxis y colectivos) junto a la maquinaria pesada (camiones de extracción y maquinaria pesada minera), se piensa en lograr la misma meta. Por otra parte, para el 2040 el 100 % de las ventas que corresponde a maquinaria móvil menor (maquinaria de construcción, agrícola y forestal), también sean cero emisiones. Finalmente, para el año 2045 se piensa lograr lo mismo para los vehículos de transporte de carga y buses interurbanos[3]. Todas estas medidas lograrán modificar la matriz del parque automotriz nacional siendo liderada por vehículos eléctricos.

Un sistema fundamental de la mayoría de los vehículos eléctricos comercializados, es su sis-

tema de almacenamiento energético, donde el principal componente es la batería de Ion-Litio, cuya principal misión es entregar energía para alimentar al motor eléctrico[4]. La mayoría de los fabricantes de vehículos eléctricos prometen que las baterías en sus vehículos soportarán de 8 años de uso, aunque estudios más actuales predicen que la vida útil de estas puede alcanzar de 16 a 20 años. Al término de su uso en el vehículo eléctrico las baterías todavía son elementos funcionales, pero ya no están en condiciones necesarias para seguir llevando a cabo su tarea en el vehículo eléctrico. Se estima que aún mantiene entre el 70 y 80% de su capacidad total cuando deben ser renovadas[5], desperdiciando una gran cantidad de baterías sin ser aprovechadas cuando aún son útiles donde y, su reciclaje y/o eliminación son procesos muy costosos para el medio ambiente.

Es así, como se puede observar, que el avance en la lucha contra los efectos negativos de las actividades que impactan en el medio ambiente, nos podemos encontrar con nuevas problemáticas que nacen a raíz de esta lucha. Por lo tanto, en el futuro próximo, debido a la alta cantidad de vehículos eléctricos circulando por las calles que deban renovar sus baterías, se tendrá la problemática que muchas baterías que terminan su vida útil en los vehículos eléctricos saldrán del mercado cuando aún pueden ser funcionales y no existen acciones que permitan aprovecharla cuando aún es posible.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar posibles escenarios que puedan ocurrir a futuro debido a recambio de baterías en los vehículos eléctricos que permita la toma de acción para su posterior clasificación logrando extender su vida útil.

1.2.2. Objetivos específicos

Para poder llevar a cabo el objetivo general propuesto, se abordan los siguientes objetivos específicos:

- Determinar factores que puedan afectar el crecimiento de vehículos eléctricos en circulación.
- Realizar una proyección de los vehículos eléctricos en los próximos años.
- Determinar la cantidad de baterías a ser reemplazadas anualmente en base a los vehículos eléctricos proyectados.
- Analizar resultados obtenidos y exponer posibles capacidades de almacenamiento que se puedan alcanzar con el recambio de baterías.

1.3. Alcance del trabajo

Los alcances del presente trabajo de memoria es determinar diferentes escenarios de recambio de baterías de vehículos eléctricos. Estos escenarios constan de proyectar hasta el año 2050 la cantidad de baterías recambiadas en los vehículos eléctricos.

Otro punto a considerar, es que el estudio de las baterías en los escenarios constará sobre el aporte que pueden realizar con su capacidad de almacenamiento y no se estudiará su impacto en el sistema eléctricos.

1.4. Estructura del documento

En el presente documento se presenta el estudio realizado para determinar los diferentes escenarios del recambio de baterías de vehículos eléctricos. Inicialmente se presenta el **Capítulo 1** que corresponde a la introducción, motivación y objetivos del trabajo. Luego, para el **Capítulo 2** en el cual se menciona una revisión de la literatura sobre los temas que se ven involucrados. A continuación, en el **Capítulo 3** en donde se presentan los antecedentes sobre información de datos y estudios realizados que sirven como base para las proyecciones de las baterías de Ion-Litio para el año 2050. Posteriormente, el **Capítulo 4** enseña el trabajo realizado en la proyección de baterías para 3 escenarios diferentes, explicando los supuestos a considerar y los resultados de estos. Luego, en el **Capítulo 5** se presenta un Análisis de los resultados de los 3 escenarios. Finalmente, en el **Capítulo 6** se procede con las conclusiones y trabajos que se pueden realizar a futuro.

Capítulo 2

Marco teórico y Estado del Arte

2.1. Marco teórico

2.1.1. Vehículo Eléctrico

Se considera un Vehículo Eléctrico a todo aquel vehículo que utilice como medio de propulsión al menos un motor eléctrico, transformando la energía eléctrica en energía cinética para mover al vehículo. La energía eléctrica para alimentar al motor no necesariamente puede ser suministrada por la red eléctrica [6].

Los vehículos eléctricos no son una invención reciente. El primer vehículo eléctrico fue desarrollado en el año 1881 por **Gustave Trouvé** (Figura: 2.1). Este primer modelo de vehículo eléctrico consistía en un triciclo junto a una batería plomo-ácido. Este primer vehículo alcanzaba los 15 [km/h] y con una autonomía de 16 [km]. Con el paso del tiempo, los vehículos eléctricos fueron perdiendo terreno frente a los vehículos de combustión interna, dado sus altos costos de producción y baja autonomía. Pero en la actualidad debido a los avances tecnológicos y la importancia que tiene el medio ambiente, los vehículos eléctricos toman un papel de mayor importancia y se convierten en una solución viable a las emisiones de gases de efecto invernadero [7].

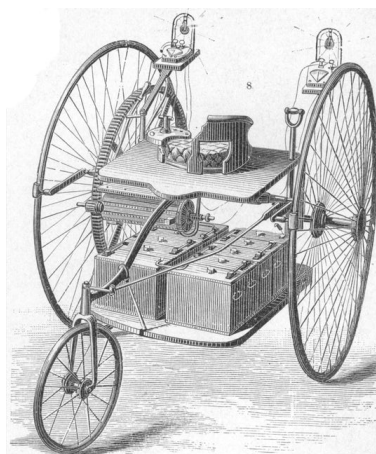


Figura 2.1: Vehículo Eléctrico Gustave Trouvé. Fuente: <http://talleresbandera.es/vehiculo-electrico/gustavecar/>

El vehículo eléctrico, para lograr su movimiento, posee diversos componentes que le permiten realizar la conversión de energía eléctrica a energía cinética. Estos componentes son:

- **Motor eléctrico:** propulsa al vehículo eléctrico. Estos motores pueden ser de tipo DC / AC, sin embargo, los motores de Corriente Alterna (AC) son más comunes. Para permitir el movimiento de las ruedas este se encuentra conectado al eje de transmisión.
- **Sistema de almacenamiento:** almacena la energía necesaria para hacer funcionar al vehículo. El elemento principal es la batería que suministra corriente eléctrica al motor. Cuanto mayor es la capacidad de la batería, mayor es la autonomía del vehículo eléctrico. La mayoría de los vehículos eléctricos modernos utilizan baterías de litio.
- **Cargador a bordo:** permite la carga de las baterías. Se conecta a la batería del coche eléctrico y toma energía de la red. Funcionan mediante un proceso llamado carga por inducción. Este elemento no se encuentra presente en el *Vehículo Eléctrico Híbrido*.
- **Sistema de frenado regenerativo:** recupera la energía perdida al frenar el vehículo y lo utiliza para cargar las baterías. Este componente no se encuentra en todos los vehículos, pero, debido a que el vehículo eléctrico tiene solo una energía limitada disponible, se vuelve cada vez un factor más importante.

Además, son necesarios los siguientes elementos que permitan completar el circuito:

- **Unidad de control de potencia:** controla las actividades de todos los componentes de un vehículo eléctrico. Controla la salida del motor, carga de baterías y, además, proporciona información al conductor sobre el comportamiento de estos.
- **Inversor:** convierte la Corriente Continua en Corriente Alterna, dado que la gran mayoría de los vehículos eléctricos funciona con motores de Corriente Alterna (AC) y, en las baterías, se almacena la corriente eléctrica en forma de Corriente Directa (CC).
- **Convertidor DC/DC:** reduce el voltaje de la Corriente Continua proveniente del paquete de baterías al valor necesario para hacer funcionar los accesorios del vehículo mediante la recarga de la batería auxiliar.
- **Batería auxiliar:** proporciona corriente para que funcionen los accesorios del vehículo.
- **Puerto de carga:** permite conectar el vehículo eléctrico a la red para cargar las baterías.

En la Figura 2.2 se puede observar la distribución de los componentes dentro del vehículo eléctrico.

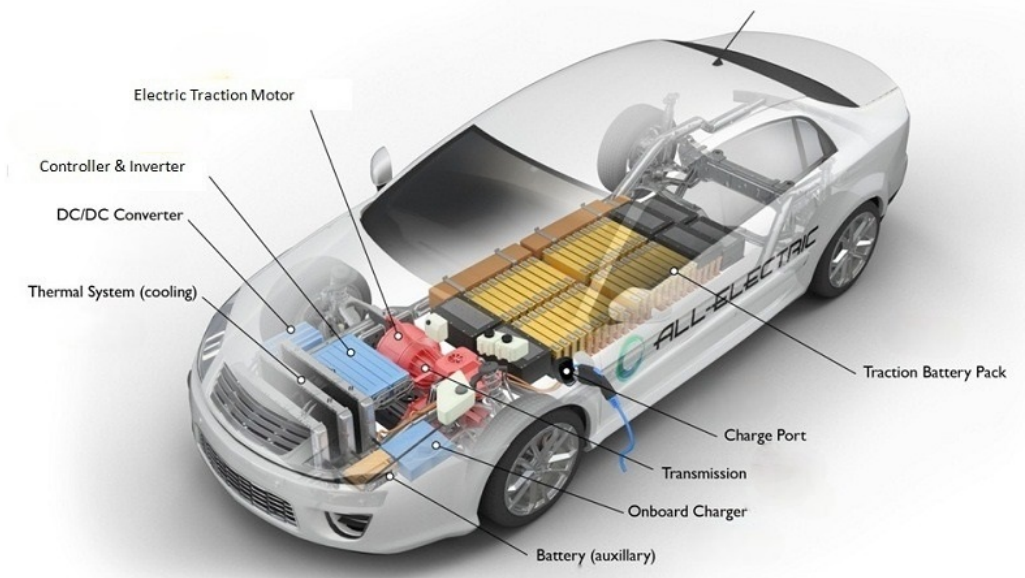


Figura 2.2: Principales Componentes del Vehículo Eléctrico. Fuente: https://ecoinventos.com/componentes-repuestos-funcionamiento-coche-electrico/#Inversor_de_corriente_B

Los componentes mencionados anteriormente se pueden agrupar en una configuración de 3 bloques principales: **Bloque fuente de energía**, **Bloque de propulsión eléctrica** y **Bloque de servicios auxiliares** [8]. En la Figura 2.3 se puede observar un diagrama de un vehículo eléctrico con los bloques mencionados.

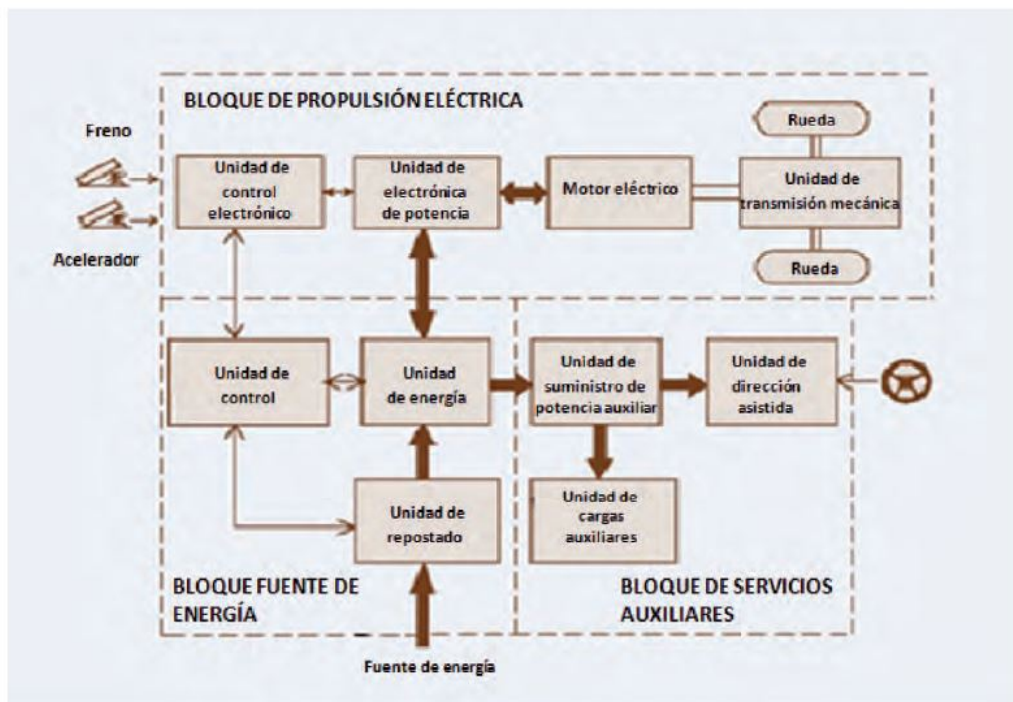


Figura 2.3: Diagrama Vehículo Eléctrico, 3 bloques principales [8].

Las funciones de cada bloque son las siguientes:

- **Bloque fuente de energía:** En esta sección se encuentra el sistema de almacenamiento, que permite la entrega de energía al motor eléctrico que permitirá el movimiento del automóvil. Esta parte entrega la autonomía del vehículo.
- **Bloque de propulsión eléctrica:** Sección que permite la transformación de energía eléctrica en cinética para dar movimiento a las ruedas del vehículo mediante un sistema de transmisión mecánica.
- **Bloque de servicios auxiliares:** Sección encargada de entregar la alimentación a elementos de baja demanda de potencia.

Los vehículos eléctricos tienen distintas formas de operar. Usualmente estas diferencias están presentes en vehículos de característica ligera o medianas. Por lo que los vehículos eléctricos se pueden clasificar como:

- **Vehículo Eléctrico Puro (BEV):** vehículo que solo utiliza motor del tipo eléctrico para su propulsión y en su sistema de almacenamiento solo utiliza baterías. Las baterías son recargadas conectándolas a la red.
- **Vehículo Eléctrico Híbrido (HEV):** vehículo que combina 2 tipos de motores: eléctrico y a combustión, el motor principal es el que trabaja en base a combustión. El motor eléctrico sirve de apoyo y se utilizan baterías como sistema de almacenamiento para el motor eléctrico. En este caso, la batería del vehículo es cargada cuando el vehículo se encuentra en movimiento por medio del motor a combustión y no posee un medio para cargar la batería desde la red.
- **Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable (PHEV):** vehículo que también posee 2 motores: eléctrico y a combustión, pero en este caso las baterías son de mayor capacidad y se cargan por medio de un enchufe desde la red.

2.1.2. Baterías de Ion-Litio

Las baterías de Ion- Litio son dispositivos que permiten obtener energía eléctrica, dado que pueden almacenar energía química y transformarla en eléctrica mediante una **reacción de oxido-reducción**. Estas se clasifican como tipo secundaria, es decir, permiten que sean recargadas, debido que la reacción química tiene un carácter reversible permitiendo la recarga.

El funcionamiento de las baterías de Ion-Litio se debe a que están compuestas por varias celdas y cada una de las celdas esta compuestas por un ánodo (electrodo negativo), un cátodo (electrodo positivo), una material separador y electrolito compuesto por una sal de litio. Cuando la batería es descargada el electrolito permite la circulación de iones desde el ánodo (encargado de entregar electrones) hacia el cátodo (capaz de absorber electrones). El

material separador tiene como objetivo poder evitar que el ánodo y cátodo tenga contacto directo. Finalmente, cuando el circuito entre el ánodo y el cátodo es cerrado, se genera un flujo de electrones desde el ánodo al cátodo, dando lugar a corriente eléctrica [7][9].

Las baterías de Ion-Litio pueden ser utilizadas como sistema de almacenamiento de energía en los vehículos eléctricos. Usualmente, el sistema de almacenamiento está conformado por un pack de baterías de Ion-Litio que, a su vez, se componen por celdas independiente con un voltaje de 3,6 [V] y según su configuración de conexión, ya sea en serie y/o paralelo, se tiene un valor de voltaje de salida. En la Figura 2.4 se puede observar la estructura y el comportamiento del flujo de electrones de la celda de batería de Ion-Litio.

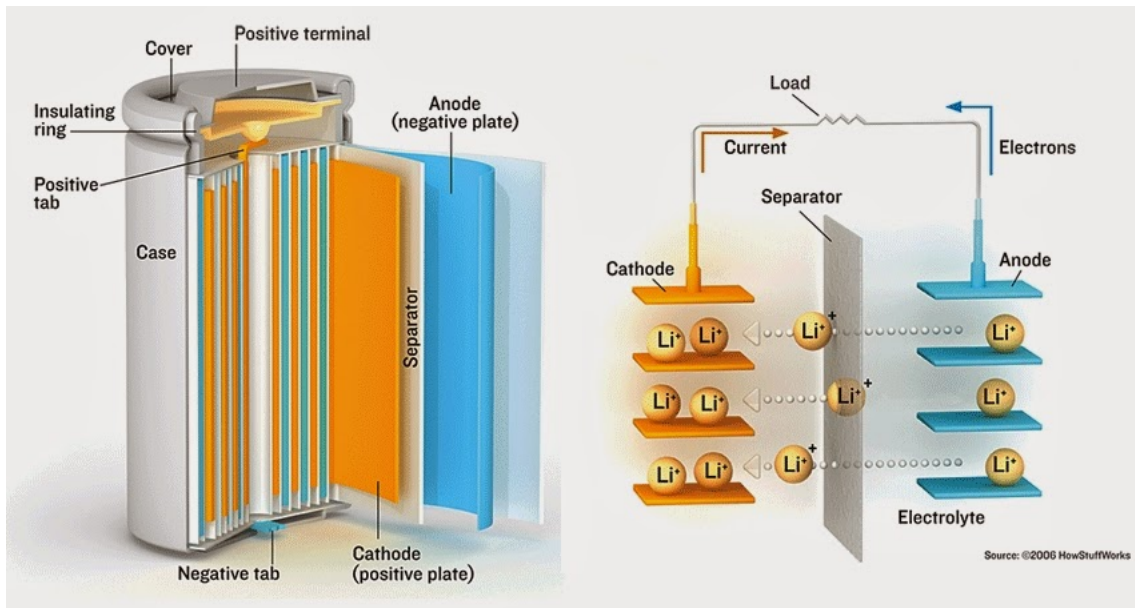


Figura 2.4: Celda de Ion-Litio. Fuente: <http://arquitectologia.blogspot.com/2014/04/baterias-de-ion-litio-conceptos.html>.

La batería mientras es utilizada se descarga y para que vuelva a ser útil se necesita del proceso de carga o recarga. Esto se conoce como **ciclo de carga y descarga**. Este ciclo, junto con las condiciones ambientales a la que se encuentra, afectan negativamente a la batería, la cual se encuentra constantemente sometida a desgaste. Por estas razones existe un concepto asociado, denominado **Degradación**, que principalmente permite caracterizar la pérdida de capacidad de la batería frente a su uso. A continuación, se exponen algunos indicadores y conceptos asociados a la degradación[7].

- **Estado de Carga (*State of Charge, SoC*):** indicador de la carga que aún está disponible con respecto a la carga completa.
- **Estado de Salud (*State of Health, SoH*):** indicador sobre la capacidad máxima de carga bajo carga/descarga en condiciones nominales.
- **C-Rate (C):** tasa a la cual se carga/descarga una batería con respecto a su capacidad

nominal.

- **Profundidad de Descarga (*Depth of Discharge, DoD*):** porcentaje de la capacidad que ha sido consumida en relación del máximo.
- **Resistencia Interna:** resistencia eléctrica total dentro de la batería. Esta puede tomar diferentes valores en el proceso de carga y descarga. Además, puede cambiar según las condiciones en que opera.
- **Inicio de Vida (*Beginning of Life, BoL*):** instante en que es utilizada por primera vez.
- **Fin de Vida (*End of Life, EoL*):** instante final en que puede ser utilizada la batería. Generalmente para un vehículo eléctrico, es el momento cuando la capacidad de carga total entregada es de un 80 % o menos del nominal al realizar una descarga.

El proceso de carga o recargar, para evitar una degradación acelerada en la batería, es de suma importancia, generando el desarrollo de **Protocolo de carga**. Usualmente, para cargar baterías de ion-litio se utiliza el protocolo *Corriente Constante - Voltaje Constante (CC - VC)*. Este protocolo consiste en dos fases: inicialmente, la batería es cargada a corriente constante, de esta manera permite que el voltaje se incremente en la batería. La carga a corriente constante ocurre hasta que el voltaje de la batería alcanza un valor umbral. Luego, comienza la segunda fase la cual consiste en continuar la carga de la batería, pero ahora con voltaje constante, manteniendo el valor umbral anteriormente alcanzado en el término de la primera fase. Al realizar la carga a voltaje constante la batería comienza a reducir la corriente que circula por ella y cuando esta alcanza un valor mínimo (cerca a cero) indica que la batería está cargada terminando con el proceso[7]. Este protocolo es usado para evitar daños debido a la carga, ya que, en su procedimiento, se controla tanto la corriente como el voltaje de carga evitando exponer a la batería a la degradación. En la Figura 2.5 se puede apreciar los niveles de voltaje y corriente durante el protocolo[10].

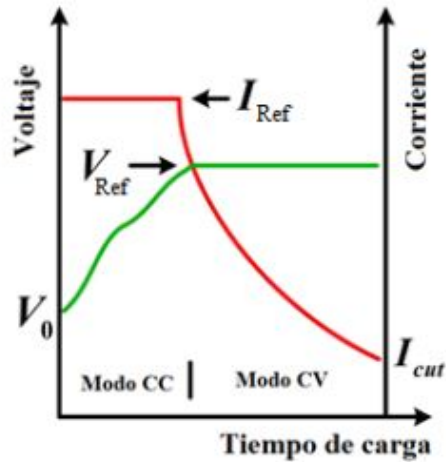


Figura 2.5: Protocolo Corriente Constante - Voltaje Constante. Fuente: [10].

Otro agente para luchar contra la degradación de la batería es el sistema de gestión de baterías (*Battery Manage System, BMS*). El BMS permite extender la vida de la batería mientras es utilizada y previene daños en ella, asegurando un funcionamiento correcto y confiable. El BMS brinda protección al sistema de baterías al limitar su funcionamiento cuando se exceden: los valores óptimos, altas corrientes durante la carga, voltajes bajos durante la descarga, temperaturas elevadas o la formación de corrientes de fuga[11]. El BMS para lograr su objetivo de cuidar a la batería se compone por bloques de unidad con sus labores claramente definidas. Los bloques que componen al BMS son[12]:

- **Bloque de medición:** captura los voltajes de las celdas individuales, la corriente de la batería y la temperatura de la batería en diferentes puntos, así como la temperatura ambiente, y los convierte en valores digitales.
- **Bloque de algoritmo de batería:** realiza cálculos para determinar el estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH) utilizando las variables medidas por el bloque de medición.
- **Bloque de estimación de capacidad:** envía la información sobre el nivel seguro actual de corriente de carga y descarga de la batería.
- **Bloque de ecualización de celdas:** compara los voltajes de las celdas para encontrar diferencias entre los voltajes de cada una de las celdas y aplicar técnicas de equilibrio de celdas que permitan igualar el voltaje entre ellas.
- **Bloque de gestión térmica:** con la información sobre la temperatura ambiente y de la batería, inicia la operación de refrigeración o calefacción y envía una señal de emergencia en caso de un aumento anormal de la temperatura.

Como se puede apreciar, el BMS tiene un bloque dedicado a la medición de la temperatura de la batería cuando está siendo utilizada, dado que este es uno de los principales factores que contribuyen con la degradación. La temperatura puede aumentar cuando la batería se ve expuesta a altas corrientes.

Las baterías de Ion-Litio, en su uso en los vehículos eléctricos, son afectadas por la degradación, debido a factores que pueden ser ambientales o consecuencia de las decisiones del conductor. Como se ha mencionado anteriormente, la temperatura es un factor crítico en la degradación, que se puede ver afectada por la temperatura ambiente, por lo que la zona geográfica en donde se desplaza el vehículo eléctrico también es un factor que afecta a la degradación de la batería.

Por otra parte, dentro de las decisiones del conductor que pueda afectar la degradación, se encuentra la **Tasa de carga/descarga**. Como se mencionó, para la carga de la batería se utiliza el protocolo CC-VC, el cual se encarga de disminuir la degradación. Pero existen procesos de carga rápido o ultrarrápido, en el comienzo se puede someter a corrientes muy altas a la batería, por lo que, genera que la batería aumente su temperatura y, al igual que la temperatura ambiente, genera degradación en ella y, aún más preocupante, el uso repetitivo de este tipo de carga hace que su efecto negativo sea más fuerte[12]. Para combatir el efecto negativo de las cargas rápidas algunos estudios proponen modificar el proceso estándar del protocolo CC-VC agregando períodos de pausas[13].

Otra decisión del conductor del vehículo eléctrico es la *Profundidad de carga/descarga* que también afecta a la degradación de las baterías. Se debe recordar que una batería ya no es útil para un vehículo eléctrico cuando su capacidad es menor al 70 u 80 % de su capacidad original[5]. Es así, que se recomienda que la descarga de la batería no sea menor al 20 % de su capacidad máxima y la carga no supere el 80 %. Normalmente, es el BMS quien se encarga de que esto se cumpla.

Cuando la batería en el vehículo eléctrico se encuentra en los últimos ciclos de su vida útil se tiene procesos de reciclado como el pirometalúrgico y/o hidrometalúrgico, que reducen las baterías a sus productos elementales, con significativas emisiones de carbono. También, se utiliza el reciclaje directo de materiales, donde ciertas partes de la batería recambiadas son reacondicionadas para su uso en baterías nuevas. Este proceso requiere solo una fracción de la energía requerida por los procesos metalúrgicos, por lo que tiene el potencial para reducir significativamente las emisiones.

Pero no solo el reciclaje es la única acción para tomar después de que una batería es reemplazada en un vehículo eléctrico, también se puede reutilizar, pues la batería aún se encuentra con casi el 80 % de su capacidad original. Se puede utilizar para proporcionar módulos de almacenamiento que puedan complementar la generación eólica o solar. Además, de servir de ayuda auxiliar a la red, ya que estas pueden almacenar energía cuando se tiene exceso de generación y luego entregarla en situación de déficit. Estas baterías de segunda vida no tendrán la capacidad total original y necesitarán ser monitorizadas por un nuevo sistema BMS, pero pueden proporcionar cambio de carga máxima y estabilidad para aplicaciones estacionarias donde la capacidad no sea más exigente que la requerida por vehículos eléctricos.

2.1.3. Economía Circular

La Economía circular es un modelo de producción que tiene como objetivo diseñar productos que faciliten su reutilización, o reciclaje. Este modelo está pensado para que la base del crecimiento económico sea la reutilización de grandes cantidades de material recuperado de productos que terminan su vida útil en lugar de la extracción de nuevos recursos. Así, la economía circular logra minimizar la entrada de nuevos materiales y la salida de grandes cantidades de residuos[14]. Se busca que los residuos aprovechables obtenidos por el consumo de los productos puedan ser usados nuevamente como materia prima en el proceso de este u otro producto [15]. En la Figura 2.6 se puede notar una representación del proceso tras el concepto de la economía circular.



Figura 2.6: Economía Circular. Fuente:<https://ovacn.com/economia-circular/>.

Para el caso de las baterías de Ion-Litio, se tienen sus materias primas con las que se procede a su fabricación, para luego ser distribuidas a plantas de ensamblaje de vehículos eléctricos, para posteriormente ser utilizados por los consumidores. En el término de su vida útil, cuando se reemplaza por una nueva, estas son recicladas, reutilizadas o desechadas. En el caso de ser recicladas, por ejemplo, una materia prima como el *Litio* puede ser recuperado y ser utilizado en la fabricación de nuevas baterías u otro producto. En el caso de la reutilización, son los componentes de las baterías los que pueden ser utilizados como materias de entrada para un nuevo proceso circular de otras baterías u otro producto. En el caso de ser desechadas la materia prima o los componentes ya no son utilizadas para nuevos ciclos de economía circular.

También, se debe notar que, al realizar este proceso de recuperación de materiales de entradas, estos materiales no tienen la misma calidad que cuando fueron utilizados por primera vez, por lo que el control de calidad debe estar alerta con los requisitos que se deben cumplir[15].

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Electromovilidad

En febrero 2022 se aprueba y publica la nueva **Estrategia Nacional de Electromovilidad**[16] cuyo principal objetivo es establecer ejes que permitan el avance de la electromovilidad en el país. Para lograrlo presenta medidas y metas específicas que se estiman alcanzar dentro de los plazos establecidos. Dentro de las metas establecidas se debe destacar que al año 2035 se busca que el 100 % de las ventas de vehículos livianos sean cero emisiones; el 100 % de las ventas de transporte público, tanto taxis, buses como colectivos también sean cero emisiones; el 100 % de las ventas de transporte de carga terrestre y buses interurbanos sean cero emisiones para el año 2045; y el 100 % de las ventas de maquinarias sean cero emisiones para 2040. En la figura 2.7 se puede observar las metas establecidas.

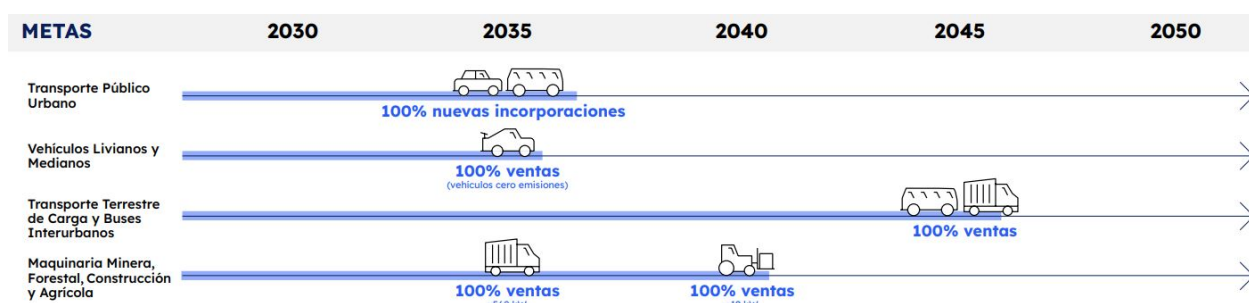


Figura 2.7: Metas de la Estrategia Nacional de Electromovilidad.
Fuente:[16].

La estrategia tiene 4 ejes estratégicos (ver figura 2.8) a desarrollar en los próximos 5 años. Dentro de estos debe destacar que se buscará fomentar el recambio de vehículos mediante incentivos utilizando instrumentos financieros con ayuda de instituciones financieras. Además, se generarán incentivos para seguir con la incorporación de buses eléctricos en la región metropolitana y un plan masivo para la nueva llegada de buses en otras regiones del país. Junto a la anterior, también, se buscará el recambio de taxis y colectivos mediante programas que faciliten este paso.



Figura 2.8: Ejes estratégicos de la Estrategia Nacional de Electromovilidad.
Fuente:[16].

Por otra parte, en 2021 se desarrolló un estudio[17] en la Universidad de Santiago que buscaba estimar la infraestructura de red de carga necesaria para el 2050. En el estudio, se realiza una proyección con datos obtenidos del *Instituto Nacional de Estadísticas (INE)*, donde consideraron la tasa de crecimiento anual de vehículos desde el año 2010 aplicándola en una proyección simple. Mediante la proyección se estimó que para el año 2030 los vehículos alcanzarían el 10 % del parque total vehicular con 581.533 unidades y para el 2050 se alcanzarían casi los 4 millones. En la Figura 2.9 se pueden observar los resultados de las proyecciones.

Año	Proyección parque vehicular en Chile	Proyección vehículos de uso particular	Valor esperado de VE
2030	8.679.599	5.815.331	581.533
2050	14.055.247	9.979.225	3.935.469

Figura 2.9: Estimación de Vehículos Eléctricos para 2030 y 2050. Fuente:[17].

Otro estudio es el realizado en 2018 por EBP Chile para la Agencia de Sostenibilidad Energética [18] el cual busca realizar un análisis a fondo de la actualidad de ese entonces nacional e internacional desde la mirada técnica, económica, normativa y geográfica con el fin de poder entender el estado de la electromovilidad en Chile. Se discuten temas como las medidas a tomar para desarrollar y fomentar la compra de vehículos verde, para saber cuáles serían sus impactos. Dentro del estudio se encuentran presentes análisis de mercado de ventas, legislación, incentivos y proyecciones para los próximos años para vehículos eléctricos.

En el plano internacional, existen diversos países comprometidos con el recambio de vehículos eléctricos. Países como España, Alemania, Canadá, Estados Unidos o Noruega que realizan sus propios estudios sobre la infraestructura en red de carga, los puntos de carga, la producción de vehículos eléctricos, los incentivos que se puede formular, etc. Por ejemplo, España en 2021, desarrolló **Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE)** dedicado al vehículo eléctrico con el objetivo de fomentar la fabricación de vehículos eléctricos en un trabajo basado en la colaboración público-privada.

Por otra parte, en 2021 se tiene el estudio publicado por *International Energy Outlook (IEO)*[19]. Este realizó una estimación de vehículos ligeros en el mundo donde, de 1310 millones, se alcanzarán 2210 millones en 2050. Se consideró en el estudio que los vehículos 100 % eléctricos y vehículos eléctricos híbridos enchufables corresponden al 0,7 % del total de vehículos ligeros y para el año 2050 este valor ascenderá a 31 %, alcanzando los 672 millones de unidades en el mundo. En el estudio se destaca que, si se considera el aumento en economía y en población, esto podría desencadenar en que se tengan más vehículos ligeros totales en 2050. El estudio separa a los países que pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y los que no pertenecen. Para los países que pertenecen a la OCDE se proyecta que el 34 % de los vehículos ligeros totales sean eléctricos y para los que no pertenecen, la cifra corresponde a un 28 %, debido a que se prevé que la venta de vehículos eléctricos irá en aumento debido a políticas y avances tecnológicos. Finalmente se menciona

que los vehículos con motor de combustión interna alcanzarán su máximo de ventas para el año 2038. En la Figura 2.10 se puede observar las proyecciones.

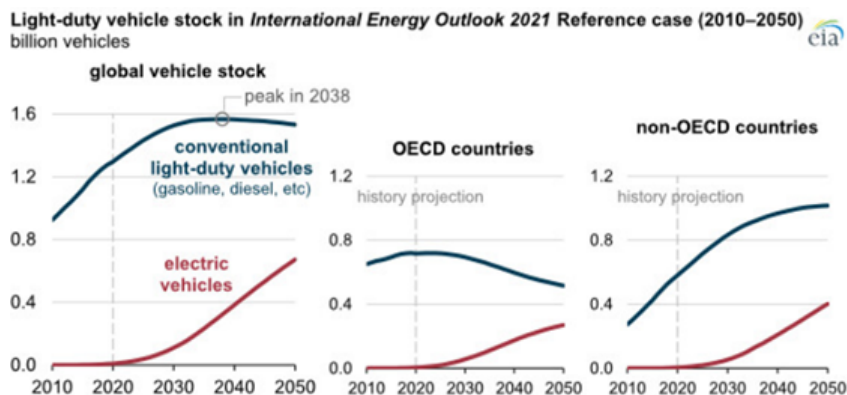


Figura 2.10: Estimación de Vehículos Eléctricos para 2030 y 2050.
Fuente:[19].

Además, anualmente se publica la *Global Electric Vehicle Outlook*, estudio que da un mirada a lo ocurrido por el mundo sobre los desarrollos de la movilidad eléctrica. En este estudio se realizan proyecciones para el año junto al análisis de datos históricos. Se discuten elementos de interés como el despliegue de infraestructura de carga y vehículos eléctricos, la demanda de baterías, el consumo de electricidad, las emisiones de gases de efecto invernadero y los desarrollos de políticas relacionados al tema. Por último, el informe trata de tomar lecciones de los mercados mejor desarrollados para que sirvan como un camino a seguir para aquellos que aún están en busca de mejores resultados.

2.2.2. Aplicaciones para baterías de segundo uso

En gran parte del mundo, debido a nuevas legislaciones para los productores, importadores y/o distribuidores se les está otorgando la responsabilidad de estar a cargo de sus productos luego de su vida útil. En el caso de los fabricantes de los vehículos eléctricos son responsables de las baterías cuando son renovadas por una nueva en sus coches. Un ejemplo, fue lo realizado por **Renault** y **Powervault**, quienes en 2017 anunciaron un acuerdo para reutilizar baterías renovadas de los vehículos para proporcionar almacenamiento en el hogar. Powervault, compañía dedicada al almacenamiento del hogar, realizó pruebas con 50 unidades de baterías de segundo uso previstas por Renault en hogares, cuya generación es en base a paneles solares[20].

Otro ejemplo es lo realizado por **Enel** y **Nissan** en España, donde reutilizan 90 baterías del modelo Nissan Leaf para generar un gran sistema de almacenamiento con capacidad de 1.7 [MWh] y potencia total de 4 [MW]. Este sistema de almacenamiento es anexo a una planta de energía convencional con la idea de ayudar con los problemas de carga, fiabilidad de la red y garantizar la continuidad del servicio de la red eléctrica local[21].

Por otra parte, **Tesla** busca, mediante grandes inversiones en sus propias plantas, generar reciclaje de baterías a gran escala que permitan la recuperación de las baterías cerca del

100 %. En 2021 fue capaz de recuperar 921 [kWh] de un total de 1000 [kWh], alcanzando un 92 % de eficiencia [22].

2.2.3. Sistemas de almacenamiento energéticos para vehículos eléctricos

Actualmente, los vehículos eléctricos en mayor parte utilizan baterías de Ion-Litio como sistema de almacenamiento, pero se tienen otras tecnologías diferentes como las celdas de combustibles u otras menos utilizadas como condensadores.

Los vehículos eléctricos en base a **Celdas de Combustible (FCEV)** funcionan almacenando hidrógeno en celdas, que son estanques presurizados, los cuales proporcionan energía al motor eléctrico. La entrega energética se logra debido a un proceso electroquímico de conversión energética, donde el *Hidrógeno* se oxida en la celda de combustible liberando electricidad, calor y vapor de agua. Cabe destacar que esta tecnología, de igual manera, requiere de un banco de batería auxiliar que ayude con el trabajo de la entrega de energía. La energía eléctrica se puede obtener con *Oxígeno*, extraído desde el aire del ambiente, e hidrógeno desde el tanque de almacenamiento del vehículo. Estos gases se encuentran separados por una membrana sólida que permite el intercambio de protones pero no permite el paso de los iones del hidrógeno, los cuales deben circular por una capa catalizadora, generando así una corriente eléctrica que alimenta al motor eléctrico. En la Figura 2.11 se puede apreciar un diagrama de la celda de combustible del tipo Membrana de Intercambio Protónica (PEM, por sus siglas en inglés), tipo de celda utilizada en los vehículos.

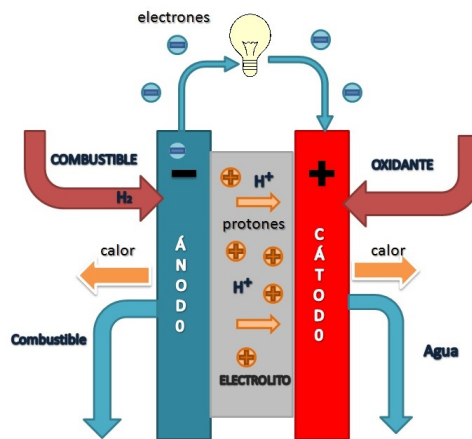


Figura 2.11: Diagrama de Celda de combustible, tipo PEM. Fuente:https://es.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible#/media/Archivo:PEM_fu_el_cell_diagram.jpg.

También se tiene el caso de la tecnología de **condensadores**, los cuales al aplicarles una tensión eléctrica, el condensador se puede “cargar” hasta el nivel de tensión aplicado. Una vez que se desconecta la fuente de tensión, el voltaje del condensador se mantiene hasta que se cierre el circuito con una resistencia y se produzca la descarga a través de ella. Un condensador está constituido por dos placas metálicas o conductoras separadas por un elemento dieléctrico que aísla eléctricamente a las placas. Al ser conectado a una fuente externa de voltaje, circula

corriente eléctrica generando que una placa se cargue positivamente y otra negativamente. En la Figura 2.12 se puede apreciar un diagrama de un condensador.

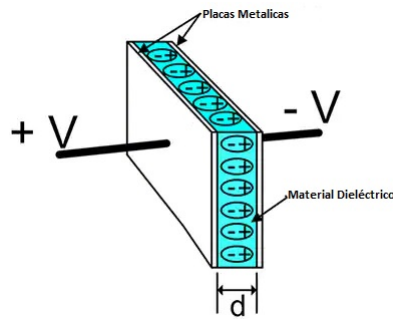


Figura 2.12: Diagrama de Condensador. Fuente:<https://www.digikey.com/es/articulos/fundamentals-understand-the-characteristics-of-capacitor-types>.

Los condensadores destacan debido a que son capaces de ser cargados y descargados de forma casi instantánea, de manera consecutiva y sin sufrir degradación, permitiendo la entrega de potencias elevadas por cortos períodos de tiempo, pero su baja densidad energética no le permite almacenar grandes cantidades de energía, por lo que son mejores sistemas de almacenamiento de potencia que de energía. Para tratar de suplir esta falencia existen los **Supercondensadores o Supercaps** que aumentan la densidad energética mediante una mejor construcción de estos, donde se busca aumentar la superficie de las placas metálicas en el mínimo volumen posible. A pesar de esto, los supercondensadores no superan a las baterías de Ion-Litio en la densidad energética.

Si se realiza una comparativa en densidad energéticas: las celdas de combustible de hidrógeno son las que presenta la mayor densidad de las 3, seguidas de las baterías y luego, con una baja densidad los Condensadores. En cambio, para la entrega de potencia en tiempo cortos: Los condensadores son los más rápidos, seguidos de las baterías y finalmente las celdas de combustible[8]. Lo anterior se puede apreciar en las Figuras 2.13 y 2.14, respectivamente.

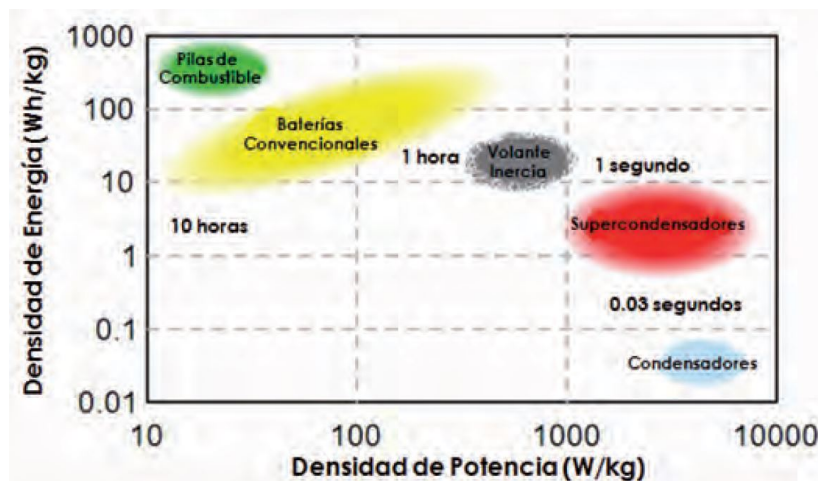


Figura 2.13: Plano de Rogone: Densidad de energía vs densidad de potencia[8].

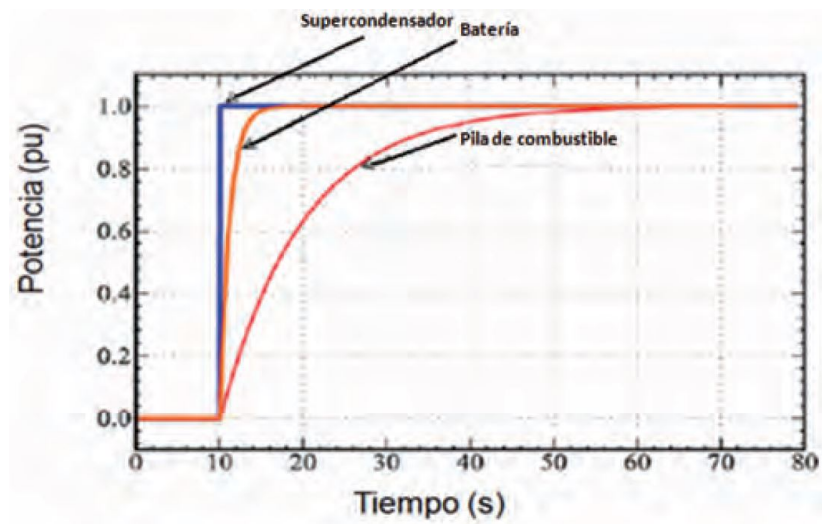


Figura 2.14: Tiempo de respuesta[8].

Capítulo 3

Antecedentes

3.1. Mercado de EV en Chile y casos Internacionales

Los datos de las ventas de vehículos de combustión interna y motor eléctrico (ver anexo A.1), se recopilan de la página oficial de la **Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC)**. Se puede encontrar las ventas totales anuales segregada en vehículos ligeros y camiones del período comprendido entre 1990 a 2009. Para el período desde el año 2010 hasta el presente, se encuentran las ventas de vehículos ligeros, buses y camiones detallado mes a mes. En el caso de los vehículos con motor eléctrico, se tienen las ventas mensuales desde 2012 hasta el presente de los 3 tipos de vehículos eléctricos ligeros (Híbrido, Puro y Enchufable). Para los buses y camiones eléctricos las ventas mensuales se tienen para 2021 y 2020, respectivamente[23][24][25][26][27][28][29].

Para los vehículos de combustión interna, se tiene vehículos ligeros, buses y camiones. Los datos de ventas de los vehículos ligeros corresponden desde 1994 hasta octubre de 2022. La variación promedio de la venta de año a año corresponde a 6,7% y las ventas durante el 2022 son de 361.137. El caso de los buses las ventas están registradas desde 2009; su variación promedio anual es de 4,13% y durante 2022 se han registrados 2.111 transacciones. Por último, en los camiones, su período abarca de 1997 hasta octubre de 2022. La variación anual corresponde a 4,31% y sus ventas en el presente año son de 13.496.

Por otra parte, para los vehículos de motor eléctrico, también se tiene las ventas mensuales de vehículos ligeros los cuales se encuentran segregados en Vehículo Eléctrico Híbrido, Vehículo Eléctrico Puro y Vehículo Eléctrico Enchufable. Para el caso del Híbrido su período de ventas abarca desde 2012 hasta octubre 2022. Su variación promedio anual es de 33,63% y se han realizado 1.892 venta en el transcurso del año 2022. Para el Eléctrico Puro, el registro de ventas comienza en 2012 hasta 2022, su variación promedio de año a año es de 116,23% y se ha realizado 1.079 ventas en 2022. Para los Enchufables, su período corresponde a 2013 a octubre de 2022. La variación anual promedio es 152,66% y las ventas de 2022 son 393. En el caso de los camiones con motor eléctrico, su período abarcó solo desde 2021; su variación del año 2021 a 2022 es de 123,81% y se han vendido 47 unidades en lo que ha transcurrido en el 2022. Finalmente, los buses con motor eléctricos tienen un período de ventas desde 2020 hasta octubre de 2022. La variación promedio de los 3 años es de 103,03% y se han vendido 204 en 2022.

Con respecto al caso internacional, el detalle de ventas históricas de vehículos eléctricos desde el año 2011 hasta septiembre de 2021 de Noruega, Países Bajos y Estados Unidos (ver anexo A.2). El caso del mercado noruego es de los mejores mercados a nivel mundial, pues su parque automotriz tiene casi un 80 % de vehículos eléctricos para 2022. Para el caso de los Países Bajos se tiene una penetración del 15 % de vehículos eléctricos, siendo esta una de las más altas en Europa y del mundo. Por último, se tiene el mercado de Estados Unidos que si bien no es el caso de un país con alta penetración, es un mercado donde se encuentra la segunda mayor cantidad de vehículos eléctricos solo por detrás de China.

En Chile en 2023, se tiene más de 90 modelos de vehículos eléctricos de 30 marcas diferentes. En estos, se pueden encontrar modelos Sedán, Hatchback, SUV, Comercial, entre otros. En las Tablas 3.1 y 3.2 y se puede apreciar los modelos BEV en la primera y los modelos HEV y PHEV en la segunda.

Tabla 3.1: Modelos BEV en el Mercado de Chile.

Marca	Modelo	Categoría	Marca	Modelo	Categoría	Marca	Modelo	Categoría
Audi	E-tron GT	Sedán	DS	DS3 Crossback	SUV	Maxus	EV90	camioneta
Audi	E-tron	SUV	Ford	E-Transit	Comercial	MG	Marvel R	SUV
BMW	i3 120Ah	Hatchback	Geely	Geometry C	Sedán	MG	ZS EV	SUV
BMW	i4	Sedán	Hyundai	Ioniq AE	Sedán	Mini	Cooper SE	Hatchback
BMW	iX3	SUV	Hyundai	Kona OS EV	Sedán	Nissan	Leaf	Sedán
BYD	D1	Sedán	JAC	e - S2 TA	SUV	Nissan	X-Trail e-Power	Camioneta
BYD	M3	VAN	Jaguar	I-PACe EV400	SUV	Peugeot	e-2008	SUV
BYD	T3	Comercial	JMC	Touring EV	Comercial	Peugeot	Partner	Comercial
BYD	Tang EV	SUV	JMC	Vigus EV	Camioneta	Peugeot	Tepee	Comercial
BYD	Dolphin	Hatchback	Kia	EV6 EV GT	SUV	Porsche	Taycan	Sedán
BYD	e5	Sedán	Kia	Niro EV	SUV	Renault	Kangoo ZE	Comercial
BYD	Yuan	SUV	Kia	Soul SK3 EV	Sedán	Renault	Zoe Neo T/A	Hatchback
BYD	Han	Sedán	Maple	30x	SUV	Volvo	C40 Recharge	SUV
Chevrolet	Bolt EV	Hatchback	Maxus	e Deliver 3	Comercial	Volvo	XC40 Recharge	SUV
Citroën	Berlingo	Comercial	Maxus	e Deliver 9	Comercial	Volvo	EX90	SUV
DFLM	S50EV	Sedán	Maxus	EG50 AT EV	SUV	Volvo	EX30	SUV
DFSK	EC35 Cargo Van	Comercial	Maxus	Euniq 5	SUV	Volvo	XC 40 P8	SUV
DFSK	Seres E3	SUV	Maxus	Euniq 6	SUV	ZNA	Voltera Rich 6 EV	Camioneta
Dongfeng	e-City mt 3.5	Camión	Maxus	EV30	Comercial	ZNA	Rich 6 EV	Camioneta
Dongfeng	e-Lite CV3	Comercial	Maxus	EV80	Comercial			

Tabla 3.2: Modelos HEV y PHEV en el Mercado de Chile. * Modelos HEV

Marca	Modelo	Categoría	Marca	Modelo	Categoría	Marca	Modelo	Categoría
Hyundai	Kona OS HEV*	Sedán	Ferrari	SF90 Spider	Sport	Peugeot	3008 1.6 Hybrid	SUV
Hyundai	Tucson NX4 HEV*	SUV	Ferrari	SF90 Stradale	Sport	Porsche	918 Spyder	Sport
Kia	Niro*	SUV	Land Rover	Range Rover	SUV	Porsche	Cayenne E-Hybrid	SUV
BMW	330e LCI	Sedán	M. Benz	C 350e	Sedán	Porsche	Panamera 4 E- Hybrid	Sedán
BMW	530e	Sedán	M. Benz	C 300e	Sedán	Volvo	S60	Sedán
BMW	745e	Sedán	M. Benz	E 350e	Sedán	Volvo	S60 Recharge	Sedán
BMW	i8	Sport	M. Benz	GLC 300e	SUV	Volvo	S90 T8	Sedán
BMW	X3	SUV	M. Benz	GLC 350e	SUV	Volvo	XC 60 Recharge	SUV
BMW	X5	SUV	M. Benz	GLE 500e	SUV	Volvo	XC40 Recharge	SUV
BYD	Song	SUV	Mini	Countryman Cooper SE	Sedán	Volvo	XC90 Recharge	SUV
DS	DS7 Crossback	SUV	Mitsubishi	Outlander PHEV	SUV	Volvo	XC 60 T8	SUV

3.2. Legislación

La mayoría de los países interesados en el recambio de vehículos eléctricos tiene un marco normativo que busca la promoción y desarrollo de la electromovilidad. Este marco normativo está asociado a temas ambientales, energéticos y de recuperación económica. Por ejemplo, Estados Unidos, tiene leyes como *American Recovery and Reinvestment Act of 2009* que buscan asignar recursos para el desarrollo de la electromovilidad, ayudando tanto a los consumidores como fabricantes. También, es interesante lo que ocurre con el estado de California, el cual cuenta con mucha normativa que ayuda a los vehículos eléctricos en post de ayudar a evitar la contaminación del aire. Tiene un programa denominado **Zero Emission Vehicle (ZEV)** que pide a los fabricantes que cumplan con un mínimo de producción y venta de vehículos y camiones eléctricos dentro del estado.

Por otra parte, el caso de Alemania tiene la **Ley de Electromovilidad** vigente de 2015. Se dirige al fomentar la electromovilidad y durará hasta 2030. Otro caso, es Suiza, que no posee una industria automovilística propia como es el caso de Chile, tiene algunas leyes que incentivan la electromovilidad. Por ejemplo, la ley **Normativa sobre emisiones de CO₂ para los vehículos nuevos** que obliga a los importadores a reducir las emisiones de CO₂ de los automóviles.

Uno de los aspectos más relevantes para una tecnología como la electromovilidad que aún no madura, es la estandarización, permitiendo mejorar la interoperabilidad y reducir los costos de producción. Además, para el consumidor le asegura poder realizar comparaciones con respecto a seguridad y/o calidad de los productos. Un punto importante cuando se trata de promover la electromovilidad es el establecimiento de estándares tecnológicos, sobre todo en lo que respecta a la **estructura de carga**, dado que su estandarización permite mayor posibilidad de compra de vehículos eléctricos.

3.2.1. Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley 20.920)

En Chile también se tiene varias leyes que abarcan la electromovilidad. Pero más interesante, es lo que ocurre en el año 2016, donde se publica la ley 20.920, “ESTABLECER UN MARCO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, LA RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR Y FOMENTO AL RECICLAJE”, donde se busca principalmente evitar la generación excesiva de residuos peligrosos junto a fomentar la reutilización o reciclaje. Para esto se genera la **Responsabilidad Extendida del Productor** y otros instrumentos que permiten gestionar residuos, con la finalidad de proteger al medio ambiente y a las personas. Se hace mención que “Todo residuo potencialmente valorizable deberá ser destinado a tal fin evitando su eliminación.”

Con respecto a la Responsabilidad Extendida del Productor, esta hace referencia a una forma especial para gestionar los residuos, donde los productores de productos como: Aceites lubricantes, Aparatos eléctricos y electrónicos, Baterías, Envases y embalajes, Neumáticos y Pilas, son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de los productos prioritarios que comercialicen en el país.

3.2.2. Incentivos

Para poder reflejar mejor los marcos legislativos, se explicarán que son y los efectos de los incentivos sobre la venta de vehículos eléctricos realizados por países como Alemania, Noruega, Holanda, Suecia, China, Estados Unidos y Suiza que concentran la mayoría de las ventas mundiales de vehículos eléctricos. Primero, se debe destacar que se tiene *Incentivos Directo* e *Incentivos Indirectos*. Los incentivos directos son aquellos que entregan beneficios por la compra del vehículo eléctrico, en cambio, el incentivo indirecto es aquel que incita a la compra del vehículo eléctrico por beneficios que se obtiene por el uso del producto. En las Tablas 3.3 y 3.4 se puede apreciar un resumen de los diferentes países, indicando el año que comienza el período de implemento de los incentivos directos e indirectos, respectivamente.

Tabla 3.3: Incentivo Directo, casos internacionales.

Incentivo	EE.UU.	Suiza	Noruega	Alemania	Holanda	Suecia	China
Exención libre de impuesto de compra		2007	1990				
Exención del VAT			2001				
Disminución en el impuesto de circulación			1996				
Exención de peajes			1997				
Reduc. de imp. de vehículo de empresas			2000	2013	2006	2012	
Acceso libre en transbordadores estatales			2009				
Subsidios en la compra de EV	2009	2017		2016		2006	2010
Exención del impuesto de circulación		2011				2009	
Reducción en el impuesto de matrícula					2006		
Disminución en el permiso de circulación					2006		
Inversiones deducibles de impuestos					2013		
Exención de impuestos sobre el EV	2011			2011			
Reducción en el precio de la electricidad				2017			
Descuentos en seguros		~2012					

Se puede notar que el incentivo directo más utilizado por países en la tabla 3.3 corresponde al **Subsidio en la compra**. El primer país en adoptarlo fue Suecia en 2006, en EE. UU. en 2009 a nivel federal, en de China en 2010, en Alemania en 2016 y posteriormente Suiza en 2017 a nivel regional dentro del país.

Otro incentivo directo a destacar por ser bastante utilizado por estos países, corresponde a la **Reducción o Exención de impuestos**. En 2001 Noruega implementa la Exención del 25 % del VAT que permite que el precio de venta de los Vehículos Eléctricos sea mucho menor que los de combustión interna a pesar del alto costo de importación, siendo una de las principales razones del éxito en noruega de la compra de vehículos eléctricos. La segunda razón del éxito en Noruega de los EV corresponde a la Exención del impuesto de compra [30].

La reducción o exención de impuesto para el resto de los países como Alemania quienes implementaron una excepción al impuesto sobre la matriculo por 10 años, los mismo hizo Holanda. Suiza en 2001 imitó a Noruega con la exención del impuesto a la compra. De manera similar se implementó la disminución del impuesto a vehículos eléctricos de empresas, en caso de Noruega en el 2000, siendo imitados por Suecia en 2012 y Alemania en 2013.

Tabla 3.4: Incentivo Indirecto, casos internacionales.

Incentivo	EE.UU.	Suiza	Noruega	Alemania	China
Estacionamientos gratuitos			1999	2015	
Acceso a vías exclusivas y de autobuses			2003	2015	
Financiamiento público para infra. de carga		2015	2009	2017	
Estacionamientos reservados para EV		2015		2015	
Financiamiento público para I+D	2015			2011	
Sin restricciones en las ciudades					2013
Clean city program	1993				
Apoyo a plataformas de E-Car Sharing		2014			

Un incentivo indirecto popularmente utilizado internacionalmente es **Estacionamiento Gratuitos y/o Exclusivos para EV**, aplicado por Noruega, Alemania y Suiza. Otro incentivo utilizado recurrentemente es el **Uso de Vías Exclusivas y/o de carriles de Buses**, aplicado en Noruega, Alemania y en estados de EE. UU. como Arizona y California.

Con respecto al financiamiento en Noruega, Alemania y Suiza entregan financiamiento público para el desarrollo de infraestructura de carga. de igual forma, Alemania y EE. UU. a nivel federal entregan financiamiento para el desarrollo e investigación.

Los incentivos tienen un efecto en las ventas de vehículos eléctricos, con la intención de aumentar su penetración en el parque vehicular con el paso del tiempo. En el mercado de Alemania se realizan incentivos como por ejemplo, la reducción de impuestos para flotas empresariales en 2013, la cual aumenta de una penetración de 0.22 % aumento al 0.75 % para 2015. También, como se mencionó se aplica un subsidio a la compra de EV en 2016 el cual aumenta desde el 0.76 % al 1.58 % en 2017. Esto se puede apreciar en la Figura 3.1

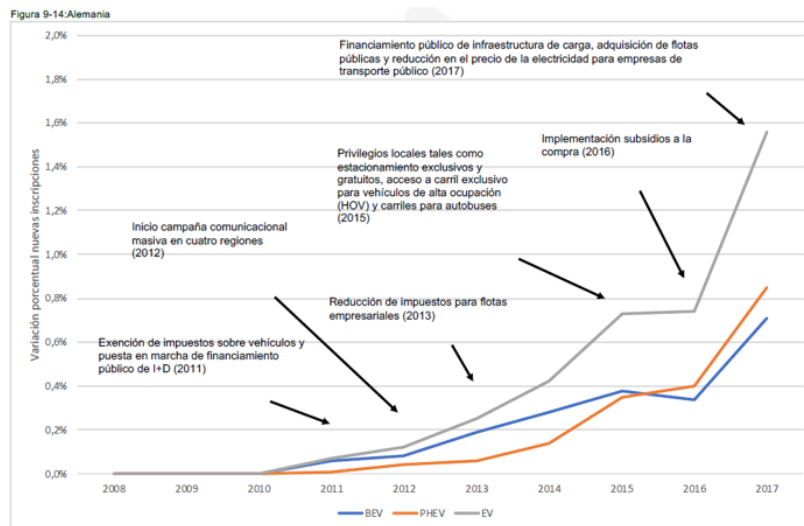


Figura 3.1: Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Alemania. Fuente: [18]

Otro mercado interesante es lo ocurrido en Holanda, el cual también se aplican diversos incentivos que aumentan el uso de vehículos eléctricos, como es el caso del incentivo que

permite que el EV y la infraestructura de carga se agregan como inversiones deducibles fiscalmente en 2013 permitiendo el aumento desde 4% al 9.8%. Además, se debe destacar que en el año 2015 para los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) se realiza una reducción significativa desde 9.8% al 2.1%, donde esta caída es debido principalmente a la gran disminución de PHEV. La evolución del mercado se puede observar en la Figura 3.2.

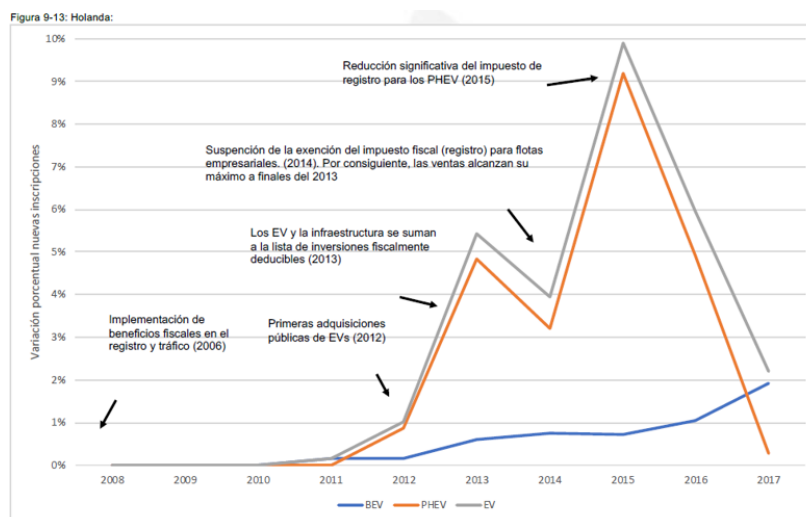


Figura 3.2: Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Holanda. Fuente: [18]

El mercado de Noruega, presenta también un alza debido a los incentivos, pero ocurre una situación curiosa en este caso, pues varios de sus incentivos se aplicaban desde más de 20 a 30 años pero no fue hasta 2010 que este mercado explotó, esta razón se puede otorgar a la consciencia por la protección del medio ambiente. El mercado para el año 2017 se encontraba con una penetración del 40%. En la Figura 3.3 se puede apreciar de mejor forma la evolución del mercado.

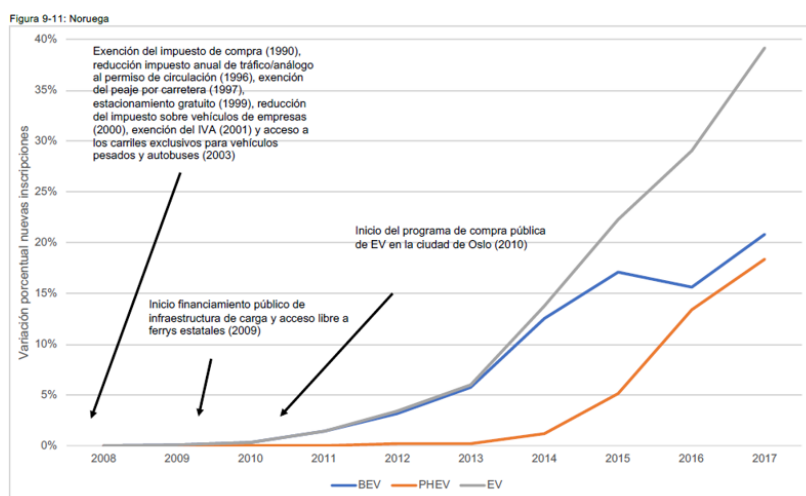


Figura 3.3: Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Noruega. Fuente: [18]

En el Anexo C se puede apreciar las gráficas con la evolución de los mercados de los países de Suecia, China, EE. UU. y Suiza.

Por último, en Noruega se realizó una encuesta a 12.000 conductores de vehículos eléctricos para conocer cuáles eran los 3 incentivos más importantes para ellos. En la Figura 3.4 se pueden apreciar los resultados, donde los 3 principales ganadores fueron Exención al VAT, Peajes gratuitos y Exención al impuesto de compra [31].

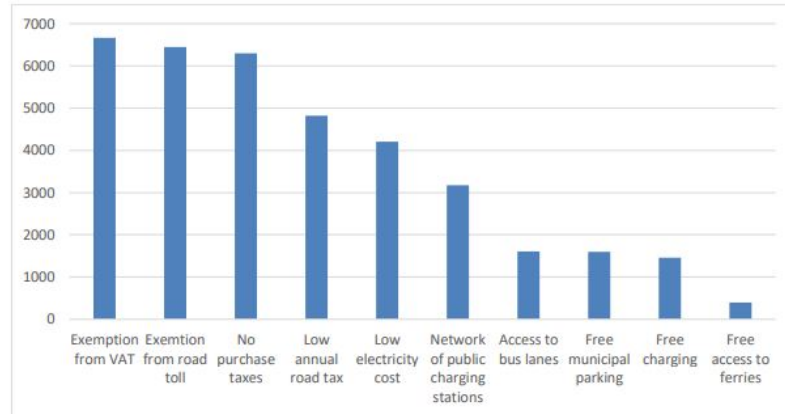


Figura 3.4: Incentivos más importantes para conductores en Noruega. Fuente: [31]

3.3. Proyección del parque de EV en Chile

Para lograr la Proyección de Vehículos Eléctricos de Chile, se trabajó con una herramienta que permite evaluar el consumo energético de todo el parque vehicular a nivel nacional proyectado hasta 2060. Sus resultados se presentan valores de diferentes energéticos: Diésel, Gasolina, Gas Licuado de Petróleo, Gas Natural Comprimado, Electricidad e Hidrógeno. En la Figura 3.5 se puede apreciar el resultado de la proyección de esta herramienta.

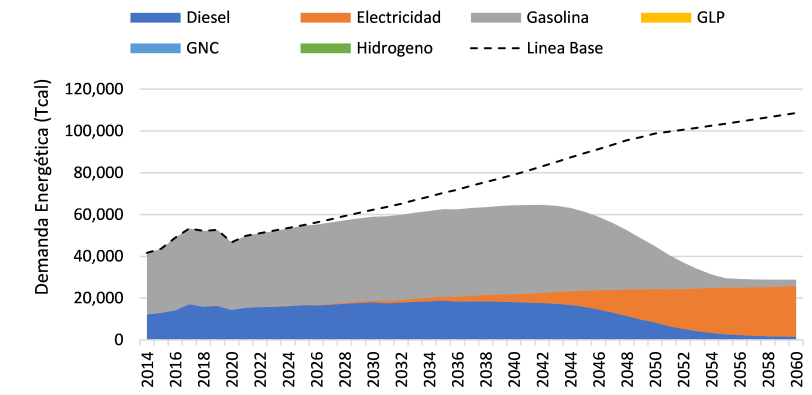


Figura 3.5: Resultado Proyección Demanda Energética de Chile.

Además, la herramienta permite evaluar la proyección en diferentes escenarios de las cate-

gorías: Vehículo Liviano de Pasajeros, Vehículos Liviano Comercial, Taxis y Buses Urbanos. Para los diferentes escenarios se considera modificaciones de la composición tecnológica de cada categoría anteriormente mencionadas. Las variaciones de composición permiten 3 escenarios para los vehículos livianos de pasajeros y comerciales. Estos son:

- **Status quo:** escenario que mantiene a lo largo de la proyección la composición constante, igual al parque vehicular actual.
- **Base:** escenario donde la penetración de los vehículos eléctricos solo se debe a méritos de mercado y no se tiene políticas que favorezcan su compra, es decir, no se tiene la presencia de incentivos para su compra. Este es el escenario de referencia de penetración tecnológica del modelo energético del Ministerio de Energía.
- **Alta penetración EV:** escenario en el cual los vehículos eléctricos alcanzan su mayor índice de penetración del ministerio de Energía. Para alcanzar esta situación existen medidas por parte del gobierno. Por ejemplo: Prohibición de la venta de Vehículos de combustión interna, aplicar Incentivos de compra, estándares de rendimiento exigentes que fomente la electromovilidad, entre otros.

En el caso de transporte publico correspondiente a Taxis y Buses Urbanos se tiene 2 escenarios. Estos son:

- **Base:** al igual que el escenario **Status quo** para las categorías anteriores, se mantiene constante la composición tecnológica durante la proyección, manteniendo el caso actual. Siendo este el escenario de referencia de penetración tecnológica del modelo energético del Ministerio de Energía.
- **Alta penetración EV:** escenario que corresponde a la penetración tecnológica más favorable para los vehículos eléctricos del ministerio de energía. Se consideran que se alcanzan las metas establecidas por la Estrategia de Electromovilidad.

La metodología que se empleó en la herramienta para estimar la demanda de energía es mediante el modelo de **pasajero-kilometro (PKM)**, de esta forma, el consumo energético viene en función de la distancia total recorrida por pasajeros y el tipo de vehículos que utilizan para desplazarse. La proyección de la demanda regional de PKM fueron proyectadas mediante econometrías, realizado en el estudio [32]. Donde las principales variables utilizadas son el PIB nacional, el PIB regional y el precio medio regional de la gasolina en canales minoristas.

El consumo energético se puede calcular mediante la Ecuación 3.1.

$$DE_{m,c,r,t,i} = \frac{D_{pkm,r,t} * PM_{m,r,t} * PC_{c,r,t}}{TO_{m,r,t}} * PT_{m,c,r,t} * IE_{m,c,r,t,i} \quad \forall m, c, r, t, i \quad (3.1)$$

Donde:

- $DE_{m,c,r,t,i}$: corresponde a la demanda de energía de cada modo m (Bus, Veh, Taxi, Moto) de cada categoría c (Livianos, Medianos) de cada región r en cada año t y para cada energético i (gasolina, diésel, . . . , hidrógeno).

- $D_{pkm,r,t}$: corresponde a la demanda por transporte urbano regional (en pkm).
- $PM_{m,r,t}$: corresponde a la partición modal regional (en % de pkm).
- $PC_{c,r,t}$: participación por categoría vehicular (exclusivo para el modo vehículo).
- $TO_{m,r,t}$: corresponde a la tasa de ocupación promedio por modo (pasajero/vehículo).
- $PT_{m,c,r,t}$: corresponde a la participación tecnológica por modo y categoría (que varía dependiendo los escenarios seleccionados)
- $IE_{m,c,r,t,i}$: corresponde a la intensidad energética por modo, categoría y energético.

Para determinar el parque vehicular total, se utilizó los términos $D_{pkm,r,t}$, $PT_{m,c,r,t}$ y $TO_{m,r,t}$ de la Ecuación 3.2. por lo que, se obtiene la cantidad de kilómetros totales recorridos por todos los vehículos:

$$VEHKM_{m,c,r,t} = \frac{D_{pkm,r,t} * PT_{m,c,r,t}}{TO_{m,r,t}} \quad \forall m, c, r, t \quad (3.2)$$

Donde:

- $VEHKM_{m,c,r,t}$: corresponde a la cantidad de kilómetros totales de todos los vehículos correspondientes al modo m , de la categoría c , en la región r y en el año t .

A continuación, es necesario determinar el número de vehículos, para esto se toman los valores del Stock de vehículos de la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas correspondiente al modo m , de la categoría c , en la región r y en el año t , donde este último parámetro solo se tiene datos desde 2014 hasta 2021, para el resto de los años se toma un valor constante igual al promedio de los valores en el período mencionado. Esto se puede expresar como $STVEH_{m,c,r,t}$.

Así, realizando la división entre los kilómetros totales de todos los vehículos ($VEHKM_{m,c,r,t}$) sobre el Stock de vehículos ($STVEH_{m,c,r,t}$) se tiene la cantidad de kilómetros que recorre solo un vehículo ($KM_{m,c,r,t}$). Luego, la cantidad de vehículos se logra dividiendo los kilómetros totales de todos los vehículos sobre los kilometro que recorre un solo vehículos. Esto se puede apreciar en la Ecuación 3.3.

$$VEH_{m,c,r,t} = \frac{VEHKM_{m,c,r,t}}{KM_{m,c,r,t}} \quad \forall m, c, r, t \quad (3.3)$$

Finalmente, el parque de vehículos eléctricos se obtiene mediante la multiplicación del parque total ($VEH_{m,c,r,t}$) y la penetración de los vehículos eléctricos según el escenario deseado ($PEV_{r,t}$). Entonces se tiene la Ecuación 3.4

$$EV_{m,c,r,t} = VEH_{m,c,r,t} * PEV_{r,t} \quad \forall m, c, r, t \quad (3.4)$$

Capítulo 4

Proyección de Baterías

4.1. Supuestos

La vida útil de las baterías de los EV puede ser de 8, 12, 16 o 20 años. Se consideró una vida útil de 8 años, la gran mayoría de fabricantes de vehículos eléctricos tiene una garantía de 8 años. Para el caso de 16 y 20 años se basa que en la actualidad las baterías al parecer tienen una vida útil más larga de lo estimado en 2012 (8 a 12 años), dado que muy pocas han sido reemplazadas, superando los 8 años de garantías propuesto por los fabricantes. La dificultad de determinar un período radica en que la mayoría de los vehículos eléctricos lleva menos de 6 años en la calle, notando que el 30% de todos los vehículos eléctricos se han vendido en 2022. Algunos fabricantes de vehículos se adentran en que las baterías pueden resistir hasta 20 años de uso[33].

También se realiza una suposición para el recambio máximo de baterías que puede realizar por vehículo. Dado que los vehículos no son eternos y se deben retirar de las calles, esto puede realizar un número limitado de recambios de baterías. Estudios demuestran que los vehículos en España alcanzan los 13 años de uso[34], pero estos no son retirados inmediatamente y circulan de 8 a 10 años más en las calles. Por lo que en total un vehículo se encuentra aproximadamente 25 años circulando. Es así, que se considera para baterías de corta vida útil (8 o 12 años) se pueden realizar 2 recambios por vehículos y en cambio para baterías de larga vida útil (16 o 20 años) solo se recambian una sola vez.

Otro supuesto realizado es la capacidad que debe tener la batería que permitió el análisis de los resultados. Para establecer una capacidad modelo para la batería se decidió tomar el tipo de vehículo que más ventas ha tenido en los últimos años y se espera que en el futuro siga en aumento, esto son los modelos **SUV**[28][29]. De esta forma, se realizó el supuesto que la capacidad para la batería es de 60[KWh]

Por último, se estableció un supuesto de que el 4% de las baterías al año fallan y son inservibles para ser reutilizadas y aplicadas en un uso de segunda vida.

4.2. Resultados

Los resultados de la cantidad de baterías que serán recambiadas anualmente está estrechamente relacionada a los posibles escenarios a ocurrir. Para la proyección de baterías estos escenarios dependieron principalmente de 2 factores.

El primero son los escenarios establecidos en la proyección del parque de vehículos eléctricos con alta y baja penetración de estos.

El segundo es la distribución porcentual de las baterías entre los años de duración de vida útil en vehículo establecidos en los supuestos, siendo una corta vida útil tener una mayor cantidad de baterías recambiadas a los 8 o 12 años y una larga vida útil tener una mayoría de baterías con recambio a los 16 o 20 año.

4.2.1. Caso Pesimista

En este escenario se establece una baja penetración de los vehículos eléctricos en el parque total de vehículos. Para este escenario se selecciona el **Caso base** para todos los modos de vehículos, es decir, *Vehículos ligero de Pasajeros*, *Vehículos ligero Comercial*, *Taxi* y *Bus Urbano*.

En esta situación corresponde al escenario de referencia del Ministerio de Energía. Este escenario no se tiene participación de incentivos para la compra o uso de la Electromovilidad, sino que estas ventas se debieron principalmente a la propia competencia en el mercado entre los vehículos eléctricos con sus homólogos como lo son los vehículos a combustión interna. En la Tabla 4.1 se puede apreciar los casos de este escenario para cada modo de vehículo.

Tabla 4.1: Escenarios de los Modos de vehículos, Escenario Pesimista.

Modo de Vehículos	Escenario
Vehículo ligero de Pasajero	Base
Vehículo ligero Comercial	Base
Taxi	Base
Bus Urbano	Base

También se definió que en mayor parte las baterías tengan larga vida útil. De esta forma, en mayor cantidad se proyectó baterías que deben ser recambiadas a los 16 y 20 años, y en menor medida para los períodos de baja vida útil. En la Tabla 4.2 se puede apreciar la distribución de las baterías.

Tabla 4.2: Distribución para vida útil de baterías, Escenario Pesimista

Vida útil	Distribución
8	25 %
12	10 %
16	50 %
20	15 %

Los resultados obtenidos se pueden segregar tanto como para regiones como por modos de vehículos. Para el caso separados por regiones en las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se puede apreciar las gráficas con los valores correspondientes en cada región y a nivel nacional. Además, en el Anexo B.1 se tiene más información de los datos para todos los años.

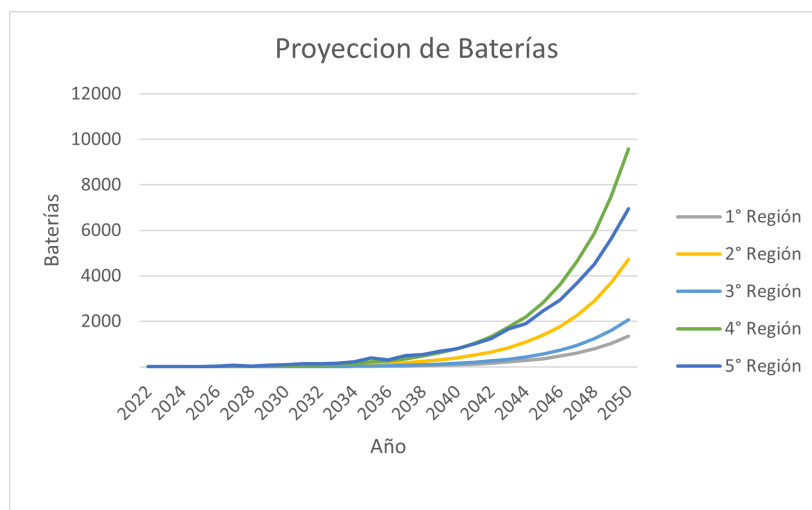


Figura 4.1: Resultado proyección baterías 1° a 5° Región, Escenario Pesimista.

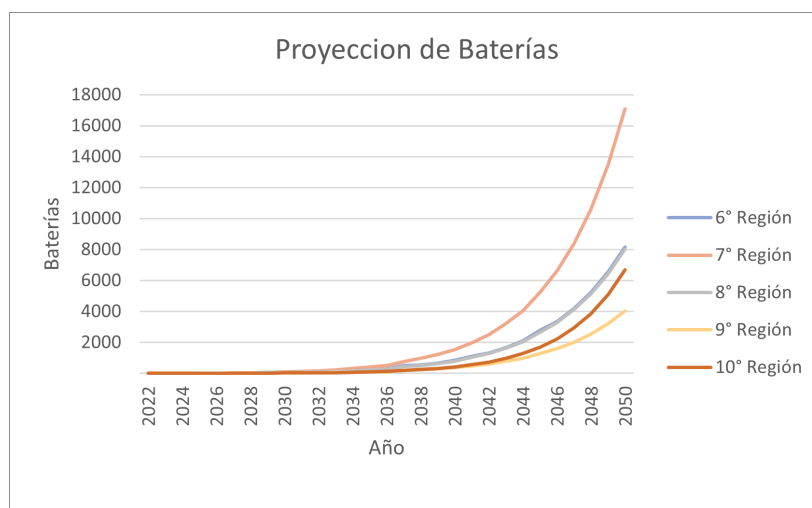


Figura 4.2: Resultado proyección baterías 6° a 10° Región, Escenario Pesimista.

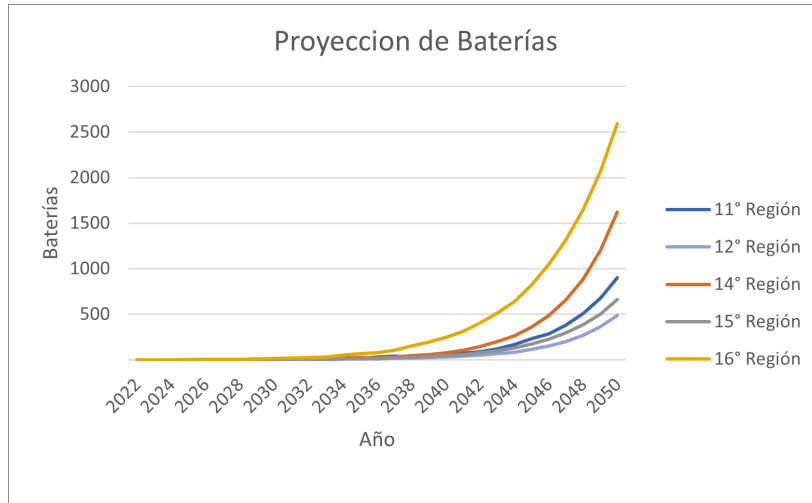


Figura 4.3: Resultado proyección baterías 11° a 16° Región, Escenario Pesimista.

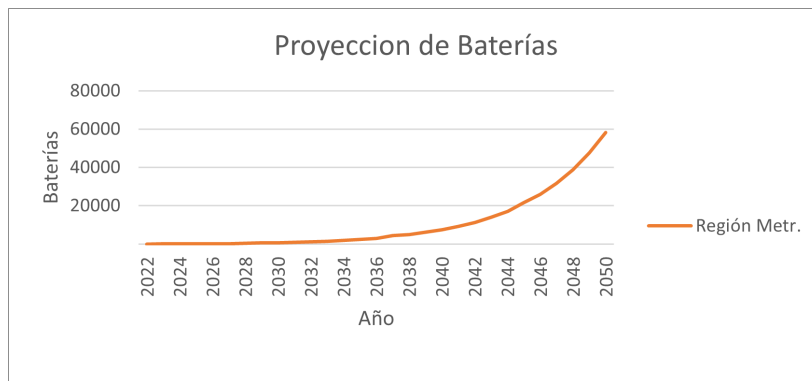


Figura 4.4: Resultado proyección baterías Región Metropolitana, Escenario Pesimista.

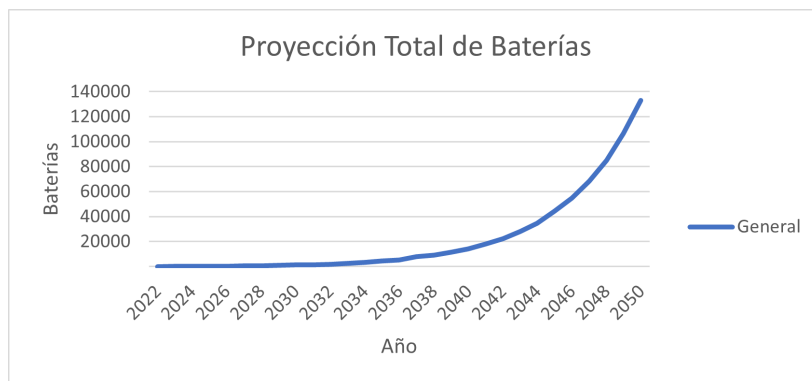


Figura 4.5: Resultado proyección baterías nivel Nacional, Escenario Pesimista.

En las Figuras 4.6 y 4.7 se puede apreciar los resultados segregados por los modos de vehículos: Vehículo ligero de Pasajero, Vehículo ligero Comercial, Taxi , Bus Urbano y Bus

Interurbano.

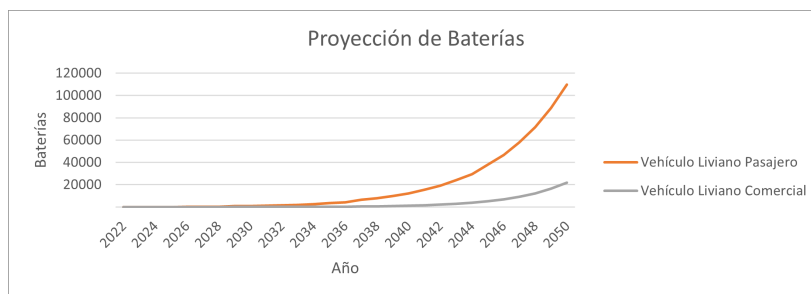


Figura 4.6: Resultado proyección baterías modo Vehículo ligero de Pasajero y Comercial, Escenario Pesimista.

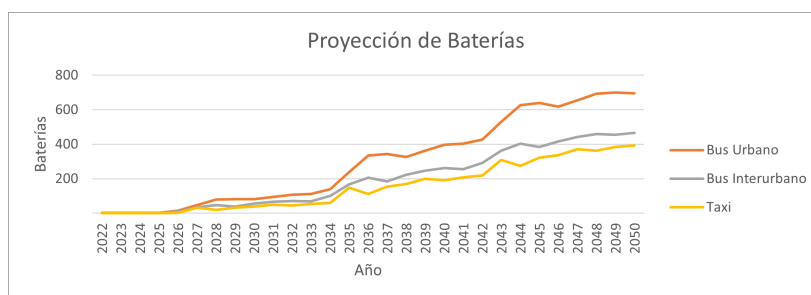


Figura 4.7: Resultado proyección baterías modo Taxi, Bus Urbano e Interurbano, Escenario Pesimista.

En las Figuras 4.8 y 4.9 se puede observar los valores para cada región y además, por modo para el año 2050, respectivamente.

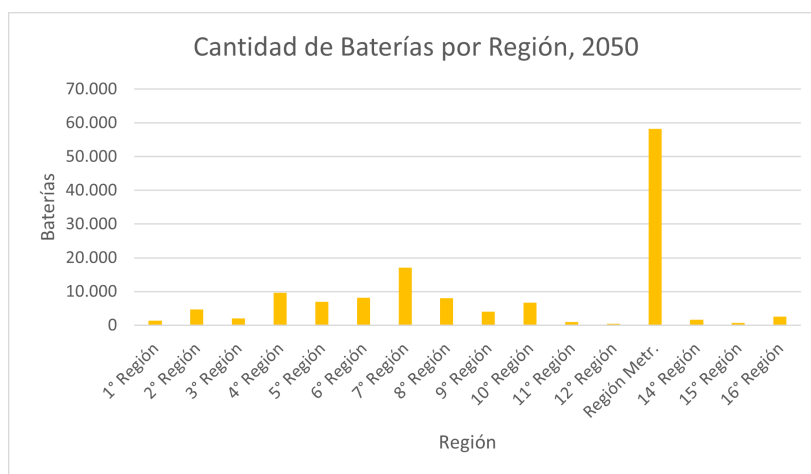


Figura 4.8: Resultado proyección baterías todas las regiones año 2050, Escenario Pesimista.

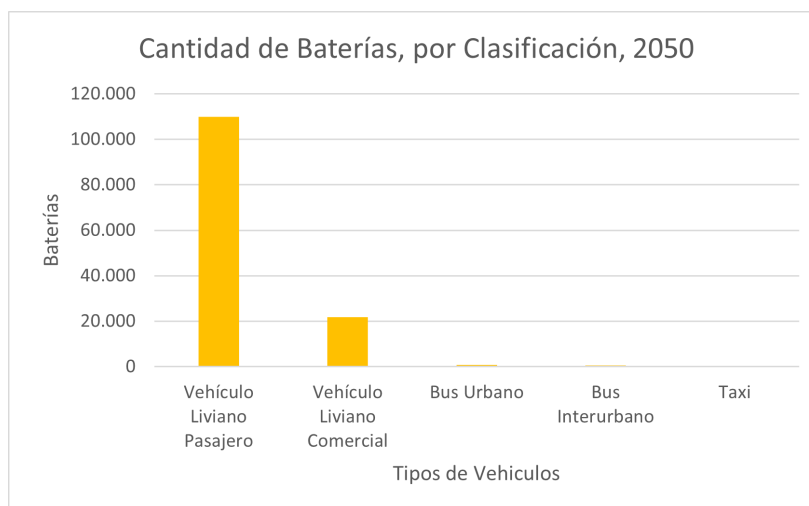


Figura 4.9: Resultado proyección baterías todos los modos año 2050, Escenario Pesimista.

4.2.2. Caso Optimista

En este escenario se establece una alta penetración de los vehículos eléctricos en el parque total de vehículos. Para este escenario se selecciona el **Alta Penetración** para todos los modos de vehículos.

En esta situación corresponde al escenario en el cual se cumplen los objetivos trazados por el Ministerio de Energía en la Estrategia Nacional de Electromovilidad. Este escenario establece que el gobierno realiza incentivos para la compra o uso de vehículos eléctricos, dando preferencia a estos por sobre otros modos de tecnologías de vehículos. En la Tabla 4.3 se puede apreciar los casos de este escenario para cada modo de vehículo.

Tabla 4.3: Escenarios de los Modos de vehículos, Escenario Optimista.

Modo de Vehículos	Escenario
Vehículo ligero de Pasajero	Alta Penetración
Vehículo ligero Comercial	Alta Penetración
Taxi	Alta Penetración
Bus Urbano	Alta Penetración

También se definió que en mayor parte las baterías tengan corta vida útil. Entonces, se consideró en mayor cantidad las baterías deben ser recambiadas a los 8 y 12 años, y en menor medida para los períodos de vida útil más larga. En la Tabla 4.4 se puede apreciar la distribución de las baterías.

Tabla 4.4: Distribución para vida útil de baterías, Escenario Optimista.

Vida útil	Distribución
8	50 %
12	15 %
16	25 %
20	10 %

Los resultados segregados por regiones y a nivel nacional se puede observar en las Figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14. Además en el Anexo B.2 se tiene las tablas con los datos correspondiente a las gráficas.

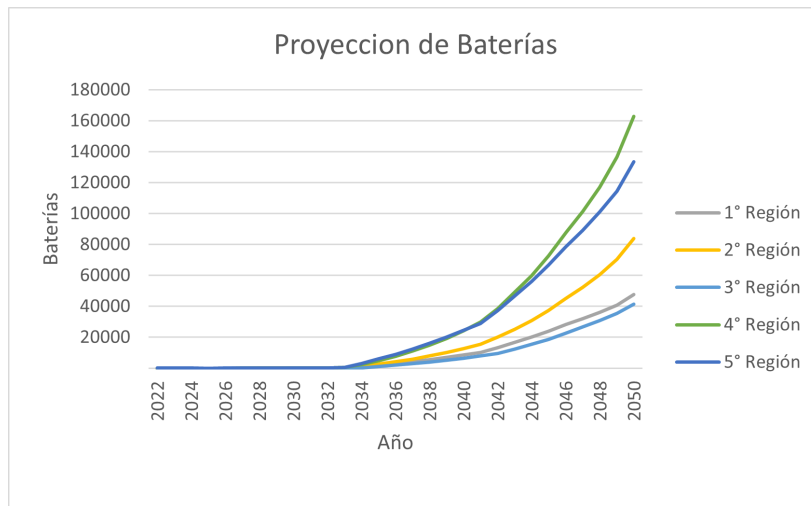


Figura 4.10: Resultado proyección baterías 1° a 5° Región, Escenario Optimista.

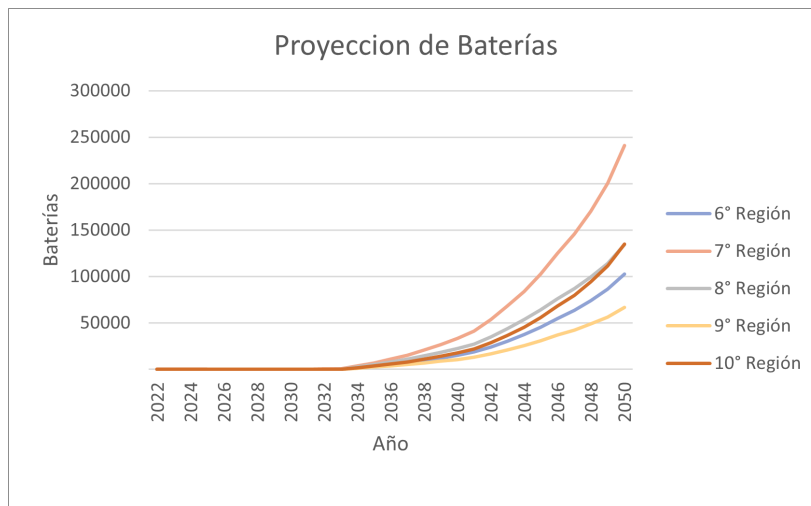


Figura 4.11: Resultado proyección baterías 6° a 10° Región, Escenario Optimista.

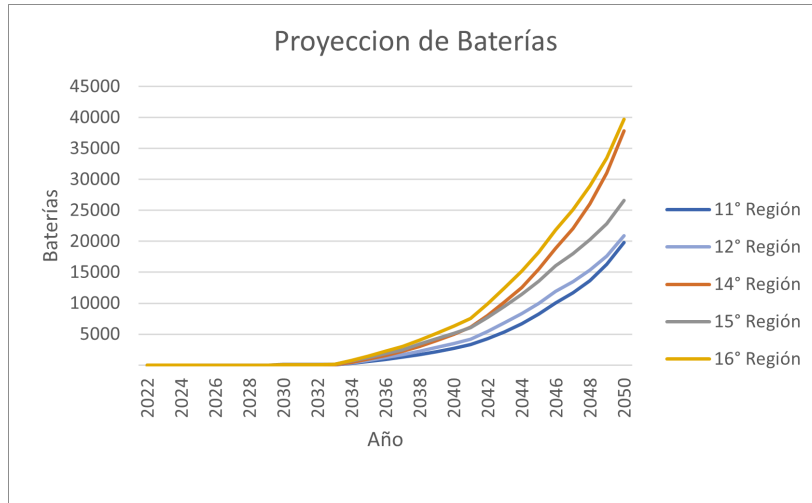


Figura 4.12: Resultado proyección baterías 11° a 16° Región, Escenario Optimista.

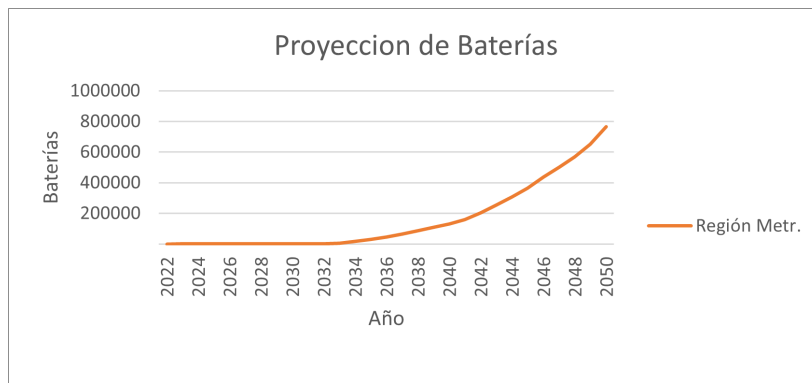


Figura 4.13: Resultado proyección baterías Región Metropolitana, Escenario Optimista.

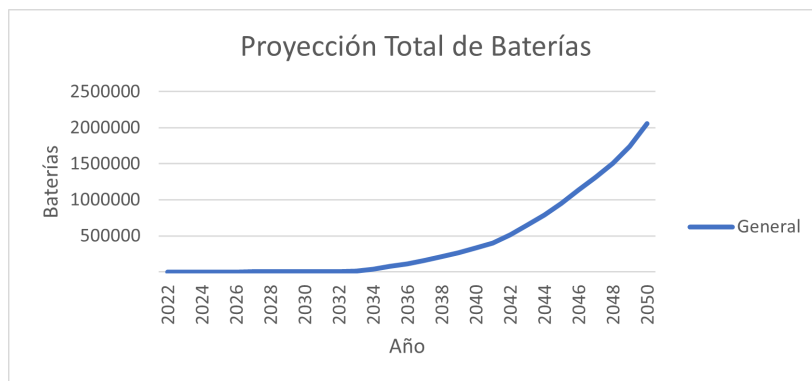


Figura 4.14: Resultado proyección baterías nivel Nacional, Escenario Optimista.

Para el caso de los resultados segregados por modos de vehículos se pueden apreciar en las Figuras 4.15 y 4.16, donde Vehículo ligero de Pasajero y Vehículo ligero Comercial se

encuentra en la primera y Taxis con Buses Urbanos e Interurbanos en la segunda.

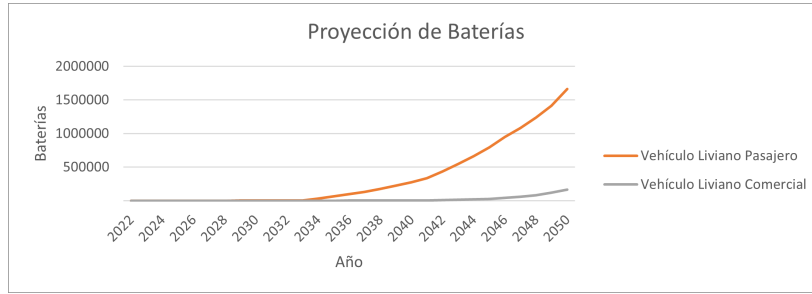


Figura 4.15: Resultado proyección baterías modo Vehículo ligero de Pasajero y Comercial, Escenario Optimista.

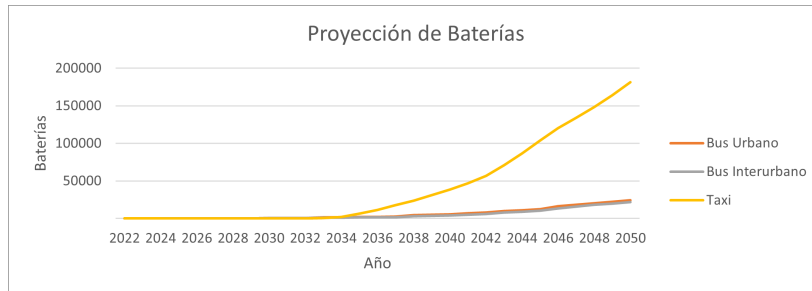


Figura 4.16: Resultado proyección baterías modo Taxi, Bus Urbano e Interurbano, Escenario Optimista.

En las Figuras 4.17 y 4.18 se puede observar los valores para cada región y cada modo para el año 2050, respectivamente.

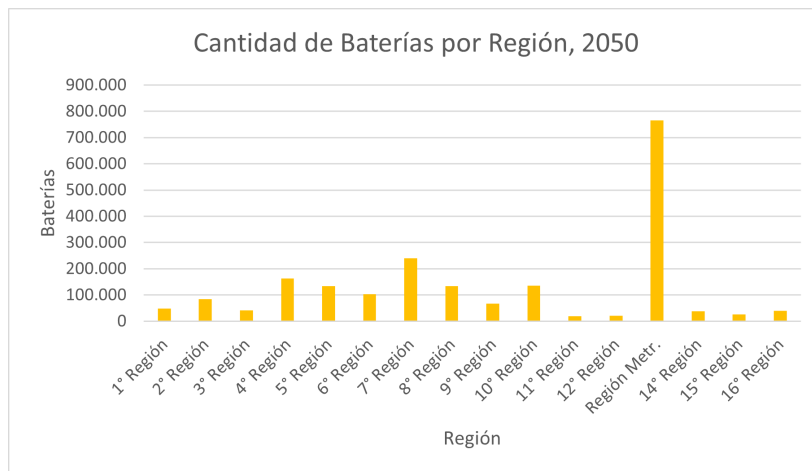


Figura 4.17: Resultado proyección baterías todas las regiones año 2050, Escenario Optimista.

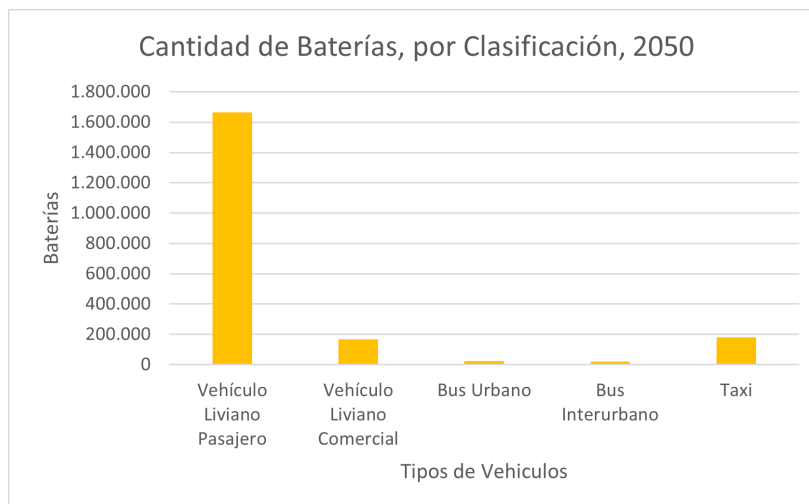


Figura 4.18: Resultado proyección baterías todos los modos año 2050, Escenario Optimista.

4.2.3. Caso Incentivos Internacionales

En este escenario se establece el crecimiento de la penetración de los vehículos eléctricos en el parque total de vehículos en base a lo ocurrido en las experiencias de incentivos internacionales mencionadas anteriormente. Para este escenario se realiza una proyección tanto para los Vehículos Ligeros de Pasajeros y Vehículos Ligeros comerciales. De esta forma, se genera el **Escenario Incentivo** para los *Vehículos ligero de Pasajeros* y *Vehículos ligero Comercial*, que como se mencionó, el aumento de la penetración de año tras año se basa a lo ocurrido con los países antes analizados (Noruega, Holanda, Alemania, EE. UU., etc.). En el caso de los vehículos *Taxi* y *Bus Urbano*, se mantiene como *Alta Penetración*, debido que si se toma la adopción de medidas para incentivar la compra de vehículos eléctricos, entonces, tanto para Taxis y Buses se debe lograr el mayor recambio posibles de estos en posts de mantener los incentivos.

Es así, que en esta situación corresponde a un escenario basado en los Incentivos Internacionales. Si bien los casos Internacionales tienen poco más de 10 años de historia, esto permite notar que en los primeros años se tiene un crecimiento pequeño, que a medida que pasa en el tiempo va en aumento. En la Tabla 4.5 se puede apreciar los casos de este escenario para cada modo de vehículo.

Tabla 4.5: Escenarios de los Modos de vehículos, Escenario Pesimista.

Modo de Vehículos	Escenario
Vehículo ligero de Pasajero	Incentivo
Vehículo ligero Comercial	Incentivo
Taxi	Alta Penetración
Bus Urbano	Alta Penetración

También se definió que en mayor parte las baterías tengan corta vida útil, al igual que el

Caso Optimista. La mayor cantidad de batería se proyectó para ser recambiadas a los 8 y 12 años, y en menor medida para los períodos de larga vida útil. En la Tabla 4.4 se puede apreciar la distribución de las baterías.

Al igual que los casos anteriores, los resultados obtenidos se pueden segregar tanto como para regiones como por modos de vehículos. Las Figuras 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23 se puede apreciar las gráficas con los valores correspondientes en cada región y a nivel nacional. Además, en el Anexo B.3 se tiene más información de los datos para todos los años.

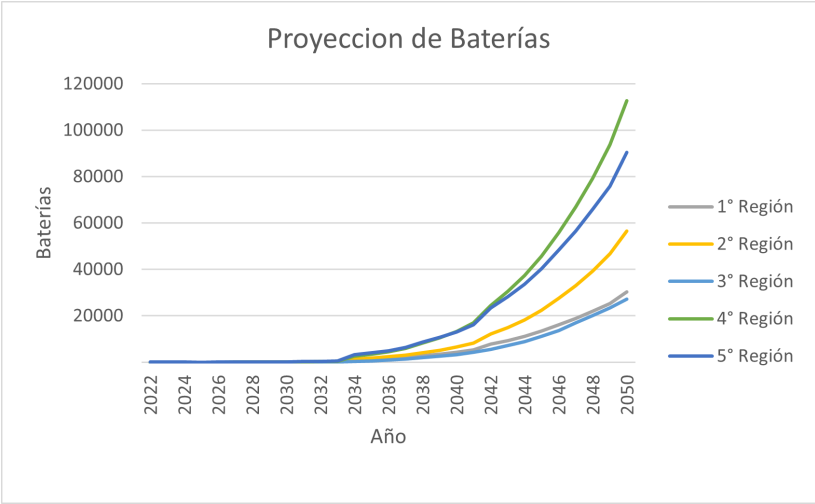


Figura 4.19: Resultado proyección baterías 1° a 5° Región, Escenario Incentivo.

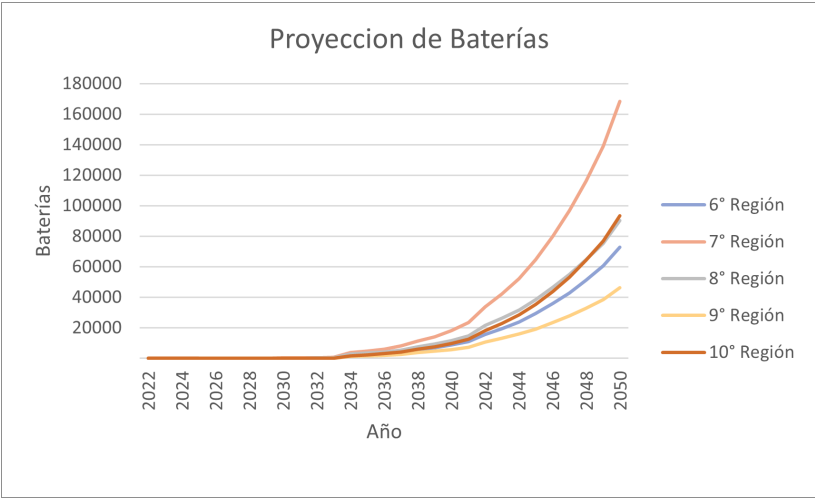


Figura 4.20: Resultado proyección baterías 6° a 10° Región, Escenario Incentivo.

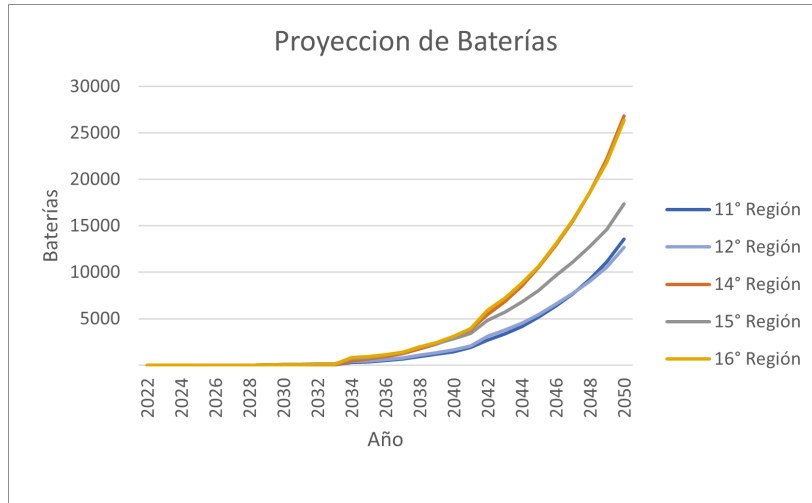


Figura 4.21: Resultado proyección baterías 11° a 16° Región, Escenario Incentivo.

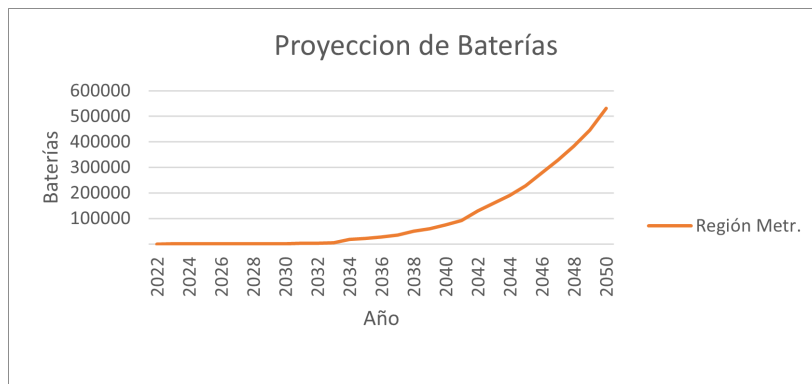


Figura 4.22: Resultado proyección baterías Región Metropolitana, Escenario Incentivo.

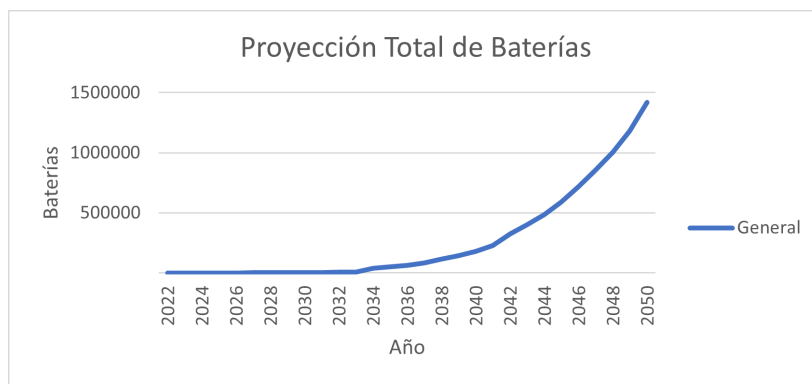


Figura 4.23: Resultado proyección baterías nivel Nacional, Escenario Incentivo.

En las Figuras 4.24 y 4.25 se tiene los resultados segregados por modos de vehículos.

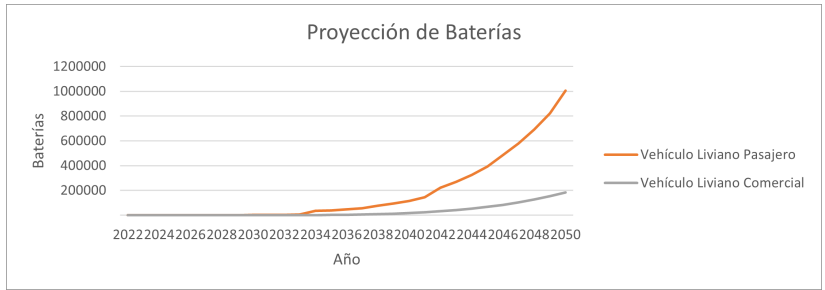


Figura 4.24: Resultado proyección baterías modo Vehículo ligero de Pasajero y Comercial, Escenario Incentivo.

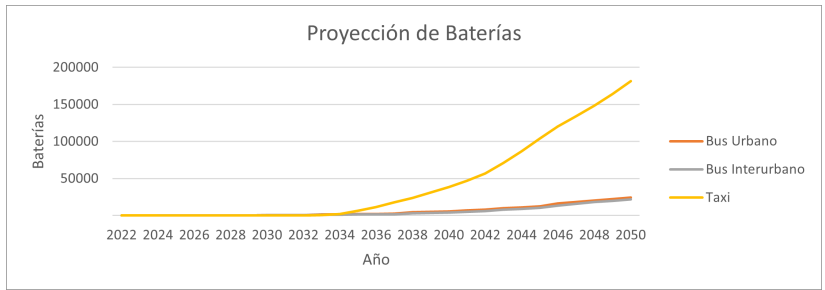


Figura 4.25: Resultado proyección baterías modo Taxi, Bus Urbano e Interurbano, Escenario Incentivo.

Los resultados para el año 2050 segregados por región y modo se pueden observar en las Figuras 4.26 y 4.27, respectivamente.

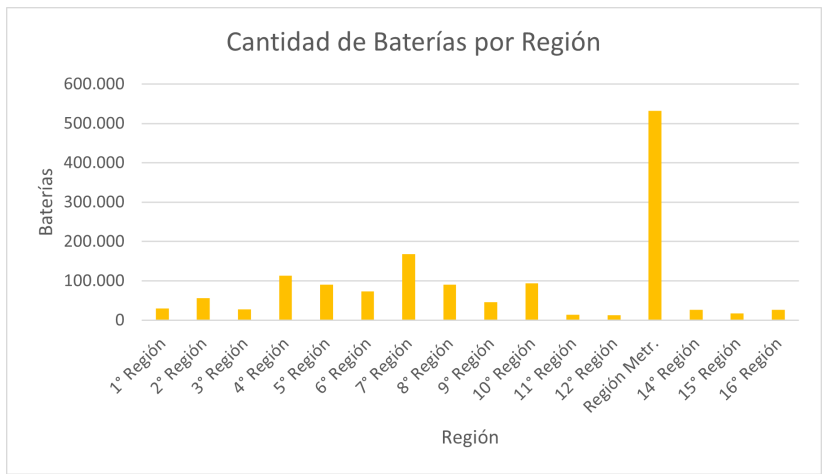


Figura 4.26: Resultado proyección baterías todas las regiones año 2050, Escenario Incentivo.

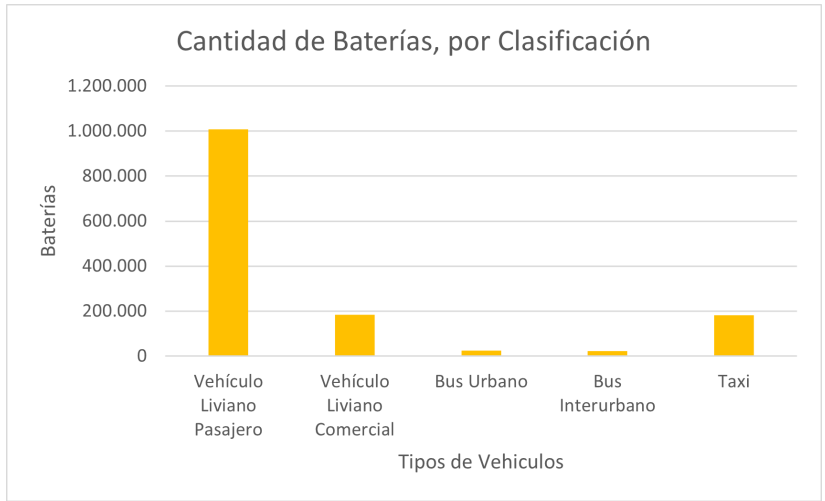


Figura 4.27: Resultado proyección baterías todos los modos año 2050, Escenario Incentivo.

Capítulo 5

Análisis de Resultados

Para el **Escenario Pesimista** se puede observar que la Región metropolitana se tuvo la mayor concentración de baterías alcanzando un valor de 60.000 baterías para 2050. Además, se puede observar de las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 que las regiones ubicadas al sur del país tienen menos baterías que sus pares de sector central y norte del país. A nivel nacional, se puede observar en la Figura 4.5 que para el año 2050 se tendrán casi 1400.000 baterías.

En la Tabla 5.1 se puede apreciar un resumen con los valores de cada región en los años 2030, 2040 y 2050.

Tabla 5.1: Resultados por región, Escenario Pesimista

Región	Unidad	2030	2040	2050
1° Región	Bat	7	94	1.341
2° Región	Bat	24	397	4.727
3° Región	Bat	8	153	2.066
4° Región	Bat	50	795	9.581
5° Región	Bat	95	800	6.947
6° Región	Bat	60	836	8.162
7° Región	Bat	109	1.527	17.090
8° Región	Bat	57	788	8.038
9° Región	Bat	24	372	4.046
10° Región	Bat	22	424	6.702
11° Región	Bat	4	55	900
12° Región	Bat	3	29	485
Región Metro.	Bat	701	7.416	58.164
14° Región	Bat	4	77	1.623
15° Región	Bat	2	43	660
16° Región	Bat	16	245	2.595
Total	Bat	1.183	14.051	133.126

Análogamente, a los resultados segregados por modo de vehículo que se pueden apreciar de las Figuras 4.6 y 4.7 que principalmente los Vehículos ligeros de Pasajeros serán quienes más aporten a la salida de baterías, seguidos por los Vehículos ligeros Comerciales y finalmente en menor medida los vehículos del transporte público. en la Figura 5.1 se representa el aporte de cada modo para el año 2050.

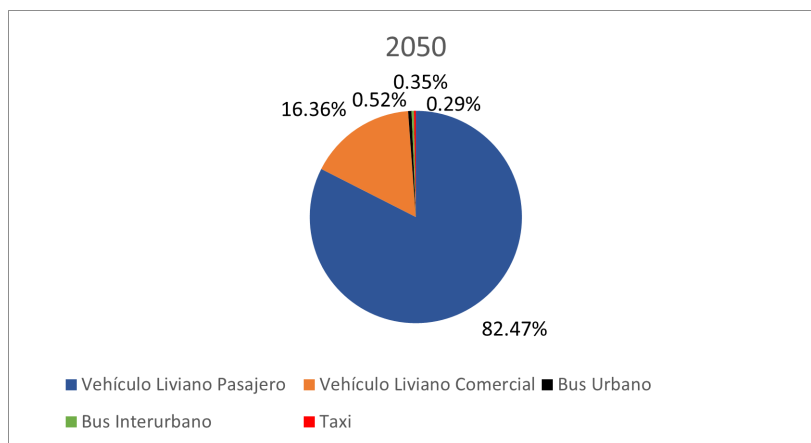


Figura 5.1: Aporte de los diferentes modos de vehículos año 2050, Escenario Pesimista.

La tabla 5.2 se presenta un resumen con los valores de los años 2030, 2040 y 2050.

Tabla 5.2: Resultados por modo de vehículo, Escenario Pesimista

Modo	Unidad	2030	2040	2050
Vehículo Liviano Pasajero	Bat	935	12.021	109.798
Vehículo Liviano Comercial	Bat	74	1.181	21.779
Bus Urbano	Bat	81	397	695
Bus Interurbano	Bat	57	261	466
Taxi	Bat	38	190	392
Total	Bat	1.185	14.050	133.129

Ahora, si se considera el supuesto donde todas las baterías tiene una capacidad de 60[KWh], se puede observar en las Tablas 5.3 y 5.4 que muestran el potencial de capacidad de almacenamiento que se puede obtener desde las baterías para los años 2030, 2040 y 2050, tanto para región como por modos, respectivamente.

Tabla 5.3: Resultados de capacidad de almacenamiento por región, Escenario Pesimista

Región	Unidad	2030	2040	2050
1° Región	KWh	420	5.643	80.487
2° Región	KWh	1.431	23.841	283.605
3° Región	KWh	492	9.171	123.942
4° Región	KWh	3.000	47.718	574.869
5° Región	KWh	5.703	47.988	416.844
6° Región	KWh	3.573	50.187	489.696
7° Región	KWh	6.510	91.614	1.025.379
8° Región	KWh	3.408	47.259	482.301
9° Región	KWh	1.455	22.320	242.736
10° Región	KWh	1.302	25.461	402.141
11° Región	KWh	222	3.321	53.997
12° Región	KWh	180	1.713	29.073
Región Metro.	KWh	42.030	444.963	3.489.867
14° Región	KWh	219	4.596	97.377
15° Región	KWh	126	2.574	39.585
16° Región	KWh	933	14.670	155.688
Total	KWh	71.004	843.039	7.987.587

Tabla 5.4: Resultados de capacidad de almacenamiento por modo de vehículo, Escenario Pesimista

Modo	Unidad	2030	2040	2050
Vehículo Liviano Pasajero	KWh	56.079	721.266	6.587.850
Vehículo Liviano Comercial	KWh	4.455	70.836	1.306.737
Bus Urbano	KWh	4.857	23.808	41.679
Bus Interurbano	KWh	3.393	15.648	27.942
Taxi	KWh	2.289	11.415	23.520
Total	KWh	71.073	842.973	7.987.728

Se puede observar que en el año 2050 se tendrá $7.988[MWh]$ de capacidad de almacenamiento que no alcanza a ser de un orden de mayor magnitud que los $1.563[MWh]$ de capacidad de almacenamiento en base baterías presupuestado para 2023 en el Sistema Eléctrico Nacional [35].

De la misma forma, para el **Escenario Optimista** se puede observar que la Región metropolitana tiene la mayor concentración de baterías con aproximadamente 800.000 baterías para 2050. También, se repite el comportamiento de las regiones ubicadas al sur del país, que tienden a tener menos baterías que sus pares de la zona central y norte del país (Figuras

4.10, 4.11 y 4.12). Por último, a nivel nacional, se puede observar en la Figura 4.14 que para el año 2050 se tendrán más de 2.000.000 de baterías.

En la Tabla 5.5 se puede apreciar los valores de cada región del país para los años 2030, 2040 y 2050.

Tabla 5.5: Resultados por región, Escenario Optimista

Región	Unidad	2030	2040	2050
1° Región	Bat	21	8.645	47.794
2° Región	Bat	80	12.622	83.974
3° Región	Bat	105	6.491	41.261
4° Región	Bat	151	24.077	162.822
5° Región	Bat	183	24.474	133.487
6° Región	Bat	148	15.237	102.836
7° Región	Bat	242	33.344	240.791
8° Región	Bat	120	22.489	134.402
9° Región	Bat	60	10.717	66.897
10° Región	Bat	50	17.745	134.875
11° Región	Bat	6	2.682	19.815
12° Región	Bat	5	3.486	20.886
Región Metro.	Bat	1.745	131.120	766.080
14° Región	Bat	8	4.933	37.846
15° Región	Bat	105	5.108	26.558
16° Región	Bat	38	6.302	39.706
Total	Bat	3.066	329.474	2.060.028

Para los resultados segregados por modo de vehículo (Figuras 4.15 y 4.16) se puede apreciar que principalmente los Vehículos ligeros de Pasajeros serán los quienes más aporten a la salida de baterías, luego en menor medida los Vehículos ligeros Comerciales y Taxis, y finalmente los Buses Urbanos e Interurbanos. en la Figura 5.2 se representa la repartición del aporte de cada modo para el año 2050.

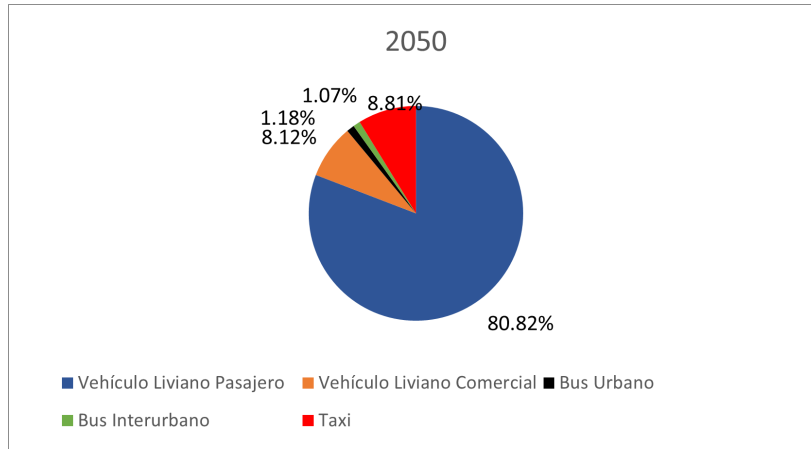


Figura 5.2: Aporte de los diferentes modos de vehículos año 2050, Escenario Optimista.

A continuación, se presenta un resumen en la tabla 5.6 sobre los valores de los distintos modos de vehículos para los años 2030, 2040 y 2050.

Tabla 5.6: Resultados por modo de vehículo, Escenario Optimista

Modo	Unidad	2030	2040	2050
Vehículo Liviano Pasajero	Bat	1.867	277.170	1.664.912
Vehículo Liviano Comercial	Bat	125	4.439	167.333
Bus Urbano	Bat	671	5.421	24.315
Bus Interurbano	Bat	401	3.993	22.081
Taxi	Bat	3	38.449	181.387
Total	Bat	3.067	329.473	2.060.027

Nuevamente, considerando el supuesto de $60[KWH]$ como capacidad nominal para todas las baterías, se tiene la capacidad de almacenamiento observado en las Tablas 5.7 y 5.8 para los años 2030, 2040 y 2050, tanto para región como por modos, respectivamente.

Tabla 5.7: Resultados de capacidad de almacenamiento por región, Escenario Optimista

Región	Unidad	2030	2040	2050
1° Región	KWh	1.230	518.673	2.867.625
2° Región	KWh	4.779	757.329	5.038.443
3° Región	KWh	6.318	389.454	2.475.651
4° Región	KWh	9.030	1.444.626	9.769.326
5° Región	KWh	11.007	1.468.428	8.009.226
6° Región	KWh	8.877	914.247	6.170.157
7° Región	KWh	14.535	2.000.661	14.447.448
8° Región	KWh	7.182	1.349.352	8.064.102
9° Región	KWh	3.570	643.041	4.013.808
10° Región	KWh	3.003	1.064.700	8.092.494
11° Región	KWh	378	160.917	1.188.921
12° Región	KWh	300	209.181	1.253.142
Región Metro.	KWh	104.670	7.867.203	45.964.827
14° Región	KWh	501	296.004	2.270.733
15° Región	KWh	6.279	306.495	1.593.456
16° Región	KWh	2.292	378.117	2.382.348
Total	KWh	183.951	19.768.428	123.601.707

Tabla 5.8: Resultados de capacidad de almacenamiento por modo de vehículo, Escenario Optimista

Región	Unidad	2030	2040	2050
Vehículo Liviano Pasajero	KWh	112.041	16.630.203	99.894.693
Vehículo Liviano Comercial	KWh	7.500	266.319	10.039.989
Bus Urbano	KWh	40.248	325.287	1.458.876
Bus Interurbano	KWh	24.072	239.592	1.324.872
Taxi	KWh	156	2.306.958	10.883.202
Total	KWh	184.017	19.768.359	123.601.632

Análogamente, si se compara con los $1.563[MWh]$ de capacidad de almacenamiento en base baterías presupuestado para 2023 en el Sistema Eléctrico Nacional, ahora se tiene $123.602[MWh]$ para 2050 siendo ahora 2 órdenes de magnitud mayor.

Finalmente, para el **Escenario Incentivo** se puede observar que se mantiene la tendencia de los escenarios anteriores, donde en la Región metropolitana se tendrán la mayor cantidad de baterías reemplazadas con poca más de 530.000 baterías para 2050. También, se puede observar en las Figuras 4.19, 4.20 y 4.21 que en las regiones de la zona sur del país el número de baterías reemplazadas es menor que en las regiones centrales y norte del país. Por último,

a nivel nacional, se puede observar en la Figura 4.23 que para el año 2050 se tendrán cerca de 1.500.000 de baterías.

En la Tabla 5.9 se puede apreciar los valores de cada región del país para los años 2030, 2040 y 2050.

Tabla 5.9: Resultados por región, Escenario Incentivo

Región	Unidad	2030	2040	2050
1° Región	Bat	21	4.297	30.295
2° Región	Bat	80	6.541	56.543
3° Región	Bat	105	3.330	27.203
4° Región	Bat	151	13.255	112.799
5° Región	Bat	183	13.052	90.358
6° Región	Bat	148	8.686	72.890
7° Región	Bat	242	18.136	168.301
8° Región	Bat	120	11.636	90.262
9° Región	Bat	60	5.816	46.247
10° Región	Bat	50	9.713	93.455
11° Región	Bat	6	1.463	13.561
12° Región	Bat	5	1.653	12.677
Región Metro.	Bat	1.745	73.884	532.353
14° Región	Bat	8	2.927	26.846
15° Región	Bat	105	2.822	17.361
16° Región	Bat	38	3.083	26.374
Total	Bat	3.066	180.293	1.417.524

Por otra parte, los resultados de las Figuras 4.24 y 4.25 correspondiente a los segregados por modo de vehículo se puede apreciar que los Vehículos ligeros de Pasajeros será el modo que más aporte a la salida de baterías, pero no tan marcado como en los escenarios anteriores. Luego en menor medida los Vehículos ligeros Comerciales y Taxis, tendrán un aporte similar y, finalmente, los Buses. En la Figura 5.3 se puede apreciar el aporte correspondiente de cada modo para el año 2050.

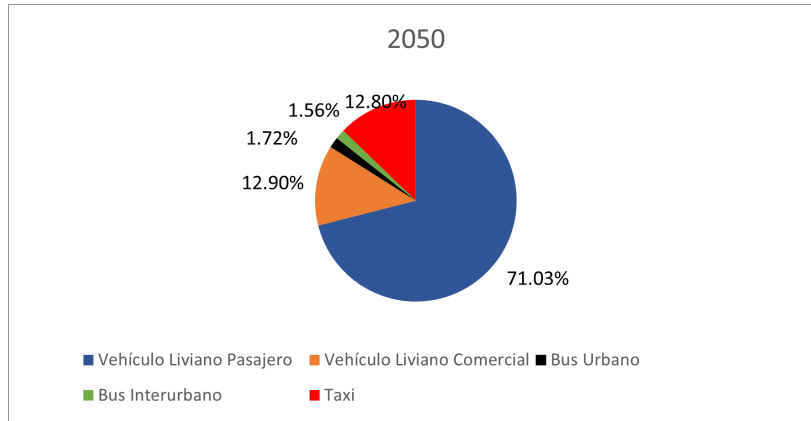


Figura 5.3: Aporte de los diferentes modos de vehículos año 2050, Escenario Incentivo.

Además, en la Tabla 5.10 se tiene los valores para los distintos modos de vehículos en el año 2030, 2040 y 2050.

Tabla 5.10: Resultados por modo de vehículo, Escenario Incentivo

Modo	Unidad	2030	2040	2050
Vehículo Liviano Pasajero	Bat	1.867	115.931	1.006.912
Vehículo Liviano Comercial	Bat	125	16.4696	182.832
Bus Urbano	Bat	671	5.421	24.315
Bus Interurbano	Bat	401	3.993	22.081
Taxi	Bat	3	38.449	181.387
Total	Bat	3.067	180.291	1.417.0526

Ahora, al igual que en los 2 escenarios anteriores si se considera que todas las baterías tienen una capacidad de $60[KWh]$, se tiene que la capacidad de almacenamiento para los años 2030, 2040 y 2050 se puede observar en las Tablas 5.11 y 5.12 para región y modos, respectivamente.

Tabla 5.11: Resultados de capacidad de almacenamiento por región, Escenario Incentivo

Región	Unidad	2030	2040	2050
1° Región	KWh	1.230	257.808	1.817.709
2° Región	KWh	4.779	392.484	3.392.589
3° Región	KWh	6.318	199.782	1.632.183
4° Región	KWh	9.030	795.303	6.767.919
5° Región	KWh	11.007	783.099	5.421.501
6° Región	KWh	8.877	521.172	4.373.397
7° Región	KWh	14.535	1.088.178	10.098.057
8° Región	KWh	7.182	698.154	5.415.711
9° Región	KWh	3.570	348.957	2.774.793
10° Región	KWh	3.003	582.762	5.607.270
11° Región	KWh	378	87.756	813.657
12° Región	KWh	300	99.198	760.602
Región Metro.	KWh	104.670	4.433.010	31.941.204
14° Región	KWh	501	175.617	1.610.748
15° Región	KWh	6.279	169.311	1.041.636
16° Región	KWh	2.292	184.965	1.582.464
Total	KWh	183.951	10.817.556	85.051.440

Tabla 5.12: Resultados de capacidad de almacenamiento por modo de vehículo, Escenario Incentivo

Región	Unidad	2030	2040	2050
Vehículo Liviano Pasajero	KWh	112.041	6.955.863	60.414.714
Vehículo Liviano Comercial	KWh	7.500	989.757	10.969.890
Bus Urbano	KWh	40.248	325.287	1.458.876
Bus Interurbano	KWh	24.072	239.592	1.324.872
Taxi	KWh	156	2.306.958	10.883.202
Total	KWh	184.017	10.817.457	85.051.554

Si se decide comparar con la capacidad de almacenamiento en base baterías presupuestado para 2023 en el Sistema Eléctrico Nacional de 1.563[MWh], con la capacidad de almacenamiento por las baterías recambiadas para 2050 correspondiente a 85.052[MWh], será más de 50 veces mayor esta última.

Capítulo 6

Conclusión y Trabajo a futuro

A modo de conclusión, se remarca que se cumple el objetivo del trabajo de Analizar diversos escenarios a futuro de recambio de batería. Se consideran 3 escenarios para este informe, 2 de ellos son posiblemente los casos extremos que puede enfrentar el país. El caso pesimista representa el desinterés de lograr el recambio de vehículos sin realizar programa de apoyo mediante incentivos y solo dejar que mediante la fuerza “Bruta” del mercado se lleven a cabo las ventas. Por otra parte, el escenario Optimista puede ser la mejor situación a futuro, pues en este escenario se alcanzan las metas establecidas por **Estrategia Nacional de Electromovilidad**.

Para el tercer escenario se presenta una situación que se basa en la evolución de la penetración de vehículos eléctricos gracias a los incentivos en el ámbito internacional. Si bien la evolución del mercado de vehículos eléctricos tiene poco más de una década de existencia, esto permite ver el crecimiento que puede tener un incentivo dentro de un mercado. Si bien estos valores pueden ser representativos para la próxima década, seguramente en los años posteriores el impacto en las ventas será mayor.

Se pudo observar la gran diferencia entre los 2 casos extremos de estudios, de tener solo 133.129 baterías y pasar a 2.060.028, permite mostrar al amplio rango de resultados que se pueden tener. Uno de los factores a considerar en este amplio rango de resultados es la importancia que tiene la venta de los vehículos eléctricos. También, notar la importancia de la implementación de incentivos tanto directos e indirectos, dado que en caso contrario no se tienen grandes cantidades de recambio de batería.

Otro aspecto importante es la evolución tecnológica de las baterías, pues la vida útil es un factor importante para determinar el recambio de estas. Este tema se debe tratar con cuidado, pues como los vehículos eléctricos aún son una tecnología que no ha madurado su cambio en los próximos años puede ser relevante.

Para trabajo a futuro, se debe seguir con la actualización de información sobre la evolución del mercado de Vehículos Eléctricos. Si se puede permitir el paso del tiempo con un mercado más estable y no con solo 12 a 15 años como período de vida. Junto a los anterior con el mismo paso de tiempo poder ver una tecnología de baterías más maduras, lo que permite tener más claro su comportamiento en su uso en los vehículos eléctricos y poder establecer

una vida útil definida por la experiencia y no solo por estudios o posibles estimaciones. Otro aspecto que se pueden considerar como trabajo a futuro es el impacto que puede tener toda la capacidad de almacenamiento en la red del Sistema nacional.

Bibliografía

- [1] Plataforma de Electromovilidad, “Proyecciones de vehículos eléctricos,” 2022.
- [2] Agencia Internacional de la Energía, “Global ev outlook 2020,” 2020.
- [3] M. Monroy, “Gobierno anuncia que Chile venderá solo vehículos eléctricos en 2035,” 2021.
- [4] M. Gil Agusti, L. Zubizarreta Saenz de Zaitegui, V. Fuster Roig, and A. Quijano López, “Batteries: Current status and future trends (part 1),” *DYNA*, vol. 89, no. 6, pp. 584–589, 2014.
- [5] L. Canals, B. Amante, and L. Cremades, “Electric vehicle battery reuse: Preparing for a second life,” *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 10, no. 2, pp. 266–285, 2017.
- [6] D. Plaza, “El coche eléctrico: definición y tipos,” 2022.
- [7] C. A. Labrín Espinoza, “Desarrollo de un gemelo digital de Nissan Leaf eléctrico basado en modelos y datos operacionales,” 2021.
- [8] I. Pizarro, F. García Torres, and C. Funez Guerra, “Comparison between the two energy storage leading technologies in electric vehicles: Batteries and fuel cells,” *DYNA*, vol. 87, no. 6, pp. 663–678, 2012.
- [9] F. T. Moser Kahl, “Medición experimental del comportamiento térmico de una batería ión-litio,” 2015.
- [10] D. F. Rodríguez, “Modelado y simulación de una estación de carga de baterías para portabilidad energética en bicicletas eléctricas,” 2019.
- [11] S. Vadi, R. Bayindir, A. M. Colak, and E. Hossain, “A review on communication standards and charging topologies of V2G and V2H operation strategies,” *Energies*, vol. 12, no. 19, 2019.
- [12] Y. Miao, P. Hynan, A. von Jouanne, and A. Yokochi, “Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements,” *Energies*, vol. 12, no. 6, 2019.
- [13] A. Abdullah, A. Ahmed, Lacey Gillian, Putrus, and Ghanim, “A method of electric vehicle charging to improve battery life,” in *2015 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, pp. 1–3, 2015.
- [14] J. Potocnik, *TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY. Economic and business rationale for an accelerated transition*. The Ellen MacArthur Foundation, 1 ed., 2013.
- [15] F. Dupouy, “Metodologías para la evaluación, caracterización y reutilización de baterías de litio en formato 18650 para aplicaciones de segunda vida,” 2021.
- [16] D. Soler, L. Ubilla, G. Pudrencio, C. Vial, and A. Pérez, “Estrategia nacional de electromovilidad,” 2022.

- [17] M. Uriarte, M. Díaz, and C. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Santiago de Chile, “Irve 2050 proyección preliminar de irve al 2050,” 2021.
- [18] EBP Chile, “Electromovilidad. proyección y propuesta para avanzar,” 2018.
- [19] S. Nalley and A. LaRose, “International energy outlook 2021 (ieo2021),” 2021.
- [20] Powervault, “Powervault and renault give ev batteries a 'second-life' in smart energy deal,” 2017.
- [21] ENEL Group, “Melilla second life, recycled batteries for storage,” 2019.
- [22] V. Fuentes, “Tesla tiene un nuevo proyecto en marcha: reciclar el 92% de las baterías de sus coches eléctricos,” 2021.
- [23] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., “Informe de mercado automotor ene-dic. 2008,” 2009.
- [24] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., “Informe de mercado automotor ene-dic. 2009,” 2010.
- [25] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., “Informe de mercado automotor ene-dic. 2012,” 2013.
- [26] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., “Cierre de ventas 2016 – proyecciones de venta del sector automotriz 2017,” 2017.
- [27] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., “Informe del mercado automotor diciembre 2020,” 2020.
- [28] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., “Informe del mercado automotor octubre 2022,” 2022.
- [29] Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G., “Informe de ventas vehículos cero y bajas emisiones octubre 2022,” 2022.
- [30] P. Haugneland, E. F. Lorentzen, C. Bu, and E. Hauge, “Put a price on carbon to fund ev incentives – norwegian ev policy success,” 2017.
- [31] E. Lorentzen, P. Haugneland, C. Bu, and E. Hauge, “Charging infrastructure experiences in norway - the worlds most advanced ev market,” in *EVS30 Symposium*, (Stuttgart, Germany).
- [32] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, “Actualización metodológica del modelo de consumo energético y emisiones para el sector transporte (step) etapa ii - centro de energía fcfm, universidad de chile - 2022,” 2022.
- [33] L. Najman, “New study: How long do electric car batteries last?,” Marzo 2023.
- [34] Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC), “Informe anual 2019,” 2020.
- [35] Ministerio de Energía, “Chile duplicará su capacidad de almacenamiento de energía en baterías,” Noviembre 2021.

Anexos

Anexo A. Mercado de Vehículos Eléctricos

En la siguiente sección de anexo se encuentra la información sobre la venta de vehículos en el mercado nacional. Los tipos de Vehículos son: Vehículos Ligeros, Camiones y Buses. Tanto para Motor a Combustión como para Motor Eléctrico. En la segunda sección del anexo se encuentra las ventas de Vehículos eléctricos para 3 mercado internacionales, estos son: Estados Unidos, Noruega y Países Bajos.

A.1. Ventas Históricas de ANAC

Año	Evolución de las Ventas Mensuales (Miles de Unidades)												Var Anual	
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		Total Anual
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108.337	35.17%
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162.421	10.66%
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162.039	8.20%
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	175.475	-19.72%
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140.867	-25.87%
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	104.421	9.58%
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108.755	4.15%
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	102.516	16.99%
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148.386	4.15%
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190.639	4.15%
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	227.743	19.46%
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	239.835	5.31%
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	172.044	-28.27%
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31.800	60.00%
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.937	21.35%
2008	19.342	17.615	17.808	21.138	25.016	21.739	20.861	17.999	32.732	24.088	24.072	31.800	334.052	1.43%
2009	28.846	24.143	27.918	28.153	28.096	26.533	24.327	23.988	36.595	26.412	28.384	30.937	334.052	1.43%
2010	27.513	23.701	26.245	25.315	28.105	26.411	26.448	26.951	32.068	34.175	29.999	32.495	338.826	1.43%
2011	33.588	28.140	28.577	32.206	31.589	28.457	31.736	27.984	32.220	31.380	34.538	38.025	378.240	11.69%
2012	34.224	45.716	27.801	35.698	25.289	23.827	27.591	30.846	39.153	25.889	24.286	29.164	337.334	-10.75%
2013	35.470	45.716	27.801	35.698	25.289	23.827	27.591	30.846	39.153	25.889	24.286	29.164	337.334	-10.75%
2014	25.884	21.571	23.053	24.401	24.002	23.636	23.528	24.544	32.377	25.552	28.730	31.662	305.540	8.26%
2015	27.308	23.805	29.639	24.675	29.910	27.326	26.092	35.354	35.461	30.114	34.458	34.758	360.900	18.12%
2016	35.322	29.427	33.355	35.470	35.328	33.238	28.092	38.729	39.263	37.132	33.518	34.981	417.038	15.56%
2017	36.543	27.912	30.199	32.716	31.204	28.446	31.474	33.059	37.925	28.038	24.276	31.090	372.882	-10.95%
2018	32.004	25.028	19.056	8.971	8.661	8.971	11.464	19.037	31.197	36.243	29.486	27.462	328.835	-30.95%
2019	24.984	26.491	32.511	27.241	34.130	35.099	39.726	37.564	42.627	38.551	38.981	40.776	415.581	60.96%
2020	37.281	31.745	41.467	37.867	37.887	36.006	38.306	35.018	36.718	28.642	31.708	33.932	426.777	2.69%

Figura A.1: Ventas vehículo ligero con Motor a Combustión.

Año	Estadillo social												Total Anual	Var Anual	
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.269	-
1998	1.136	774	962	1.105	1.056	1.023	1.045	838	1.277	1.404	1.472	1.732	1.804	7.528	-26.69%
1999	1.135	1.274	1.165	1.195	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	4.557	8.99%
2000	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	4.965	8.99%
2001	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	4.965	0.0%
2002	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	4.965	-1.38%
2003	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	4.965	-1.38%
2004	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	5.563	21.36%
2005	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	8.549	53.68%
2006	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	11.045	29.20%
2007	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	13.393	21.26%
2008	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	12.734	-4.92%
2009	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	1.135	12.855	0.95%
2010	1.136	774	962	1.105	1.056	1.023	1.045	838	1.277	1.404	1.472	1.732	1.804	8.652	-32.70%
2011	1.136	1.274	1.165	1.195	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	1.196	11.722	35.65%
2012	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	1.136	12.805	9.20%
2013	1.412	1.120	1.168	1.342	1.654	1.538	1.159	1.176	1.233	1.573	1.609	1.420	1.420	16.305	41.40%
2014	1.249	851	941	1.143	993	942	1.137	865	1.686	1.538	1.044	942	942	14.753	-19.42%
2015	1.022	880	971	1.091	904	931	1.033	848	1.220	1.157	1.165	1.296	1.270	12.710	-13.85%
2016	985	853	903	866	973	825	880	723	1.174	1.074	1.000	1.130	1.115	12.819	0.86%
2017	1.103	864	1.074	1.004	1.032	1.011	891	962	1.397	1.383	1.300	1.165	1.152	11.521	-10.13%
2018	1.236	1.001	1.015	1.275	1.370	1.220	961	1.062	1.074	1.311	1.184	1.309	1.123	13.144	14.09%
2019	1.354	982	1.039	1.010	1.191	1.097	1.106	892	1.042	1.223	909	1.034	1.034	12.859	6.65%
2020	1.181	784	684	614	614	614	614	614	1.070	1.322	1.352	1.352	1.352	10.646	-17.21%
2021	1.411	1.155	1.407	1.298	1.611	1.456	1.352	1.297	1.166	1.363	1.740	1.675	1.675	13.496	24.36%
2022	1.411	1.155	1.407	1.298	1.611	1.456	1.352	1.297	1.166	1.363	1.740	1.675	1.675	13.496	-20.13%

Figura A.2: Ventas camiones con Motor a Combustión.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TotalAnual	Var Anual
2009	124	195	84	144	65	69	181	128	363	110	279	222	1.964	
2010	300	298	278	151	289	238	232	165	456	263	319	394	3.383	72.25%
2011	375	295	299	260	256	228	167	96	338	380	396	476	3.546	4.82%
2012	249	289	306	262	361	430	429	882	537	468	474	509	5.196	46.53%
2013	517	296	299	392	455	352	414	461	161	429	435	439	4.650	-10.51%
2014	273	331	346	227	211	210	180	153	322	275	278	415	3.221	-30.73%
2015	211	150	161	166	258	220	141	221	276	284	287	359	2.734	-15.12%
2016	202	134	149	137	143	183	105	83	365	305	332	319	2.457	-10.13%
2017	274	156	218	164	167	176	113	69	440	335	308	323	2.743	11.64%
2018	302	212	251	196	205	260	147	87	250	323	342	445	3.020	10.10%
2019	569	514	236	212	163	197	260	196	404	303	203	226	3.483	15.33%
2020	153	145	102	110	138	596	250	301	288	167	198	178	2.626	-24.61%
2021	156	137	161	109	160	159	89	79	290	178	206	205	1.868	-28.87%
2022	143	93	162	242	154	160	120	176	446	415	206	205	2.111	13.01%

Figura A.3: Ventas buses con Motor a Combustión.

Estadillo social **Pandemia COVID**

HEV (Vehículo Híbrido Convencional), Vehículo que combina dos fuentes de potencia, con un motor principal a combustión y una batería y motor eléctrico que sirven de apoyo en diversas situaciones.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual	Var Anual
2012	18	10	23	20	20	31	28	13	31	34	26	43	297	
2013	26	27	35	15	28	29	20	19	55	25	8	13	300	1.01%
2014	20	14	23	38	18	11	16	12	25	15	18	17	227	-24.33%
2015	11	8	15	15	9	18	19	21	19	6	13	17	171	-24.67%
2016	12	10	13	16	10	18	14	6	34	18	21	13	185	8.19%
2017	14	8	16	29	21	29	26	27	49	51	54	79	403	117.84%
2018	68	59	98	98	76	72	59	106	77	82	54	60	866	114.89%
2019	50	49	67	104	88	60	70	100	79	52	75	56	850	-1.85%
2020	57	74	481	16	10	12	19	43	61	131	144	81	696	-18.12%
2021	71	91	88	96	94	208	228	88	166	146	109	201	1,796	158.05%
2022	93	113	226	173	291	235	69	176	278	238	401	259	2,552	42.09%

Figura A.4: Ventas vehículos ligeros Eléctricos Híbridos.

Estadillo social **Pandemia COVID**

BEV (Vehículo Eléctrico): Vehículos que solo funcionan con baterías y se recargan conectándolos a la red eléctrica

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual	Var Anual	
2012	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	5	-20.00%
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	20.00%	
2014	1	0	0	0	2	0	0	1	1	2	1	0	12	200.00%	
2015	0	1	0	3	4	3	2	4	2	0	0	2	25	108.33%	
2016	0	0	2	2	3	3	0	4	2	0	0	1	17	-32.00%	
2017	3	2	4	5	27	7	0	14	6	2	2	20	100	488.24%	
2018	1	5	5	31	12	5	12	21	11	7	4	15	129	29.00%	
2019	13	15	11	36	11	5	9	17	20	40	6	33	217	68.22%	
2020	10	9	31	3	3	2	2	4	7	5	36	41	157	-27.65%	
2021	10	73	75	43	43	80	80	38	54	50	85	85	556	254.14%	
2022	53	87	43	105	155	110	192	74	83	177	87	129	1,295	132.91%	

*se realizó una podenación por los vehículos eléctricos obtenidos del año 2019 correspondiente a 217/302, para los años entre 2012 y 2017

Figura A.5: Ventas vehículos ligeros Eléctricos Puros.

Estándar social **Pandemia COVID**

PEVE (Vehículo Híbrido Enchufable), vehículo que combina un motor de combustión con un motor eléctrico y baterías de mayor capacidad, que se recargan enchufando el vehículo a la red eléctrica.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual	Var Anual	
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	100.00%
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	250.00%
2015	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	7	-28.57%
2016	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	5	640.00%
2017	1	1	1	1	2	10	2	0	2	1	4	8	37	68	83.78%
2018	3	2	2	2	2	3	7	6	6	16	7	7	68	85	25.00%
2019	10	3	5	5	8	8	3	15	11	6	3	8	85	79	-7.06%
2020	6	3	6	6	2	2	2	7	9	18	9	12	102	300	279.75%
2021	8	5	4	2	4	13	45	41	24	42	61	30	300	474	58.00%
2022	31	72	52	37	39	43	39	39	34	37	31	50	474	58.00%	

*se realizó una podenación por los vehículos híbridos enchufables obtenidos del año 2019 correspondiente a 85/302, para los años entre 2012 y 2017

Figura A.6: Ventas vehículos ligeros Eléctricos Híbridos Enchufables.

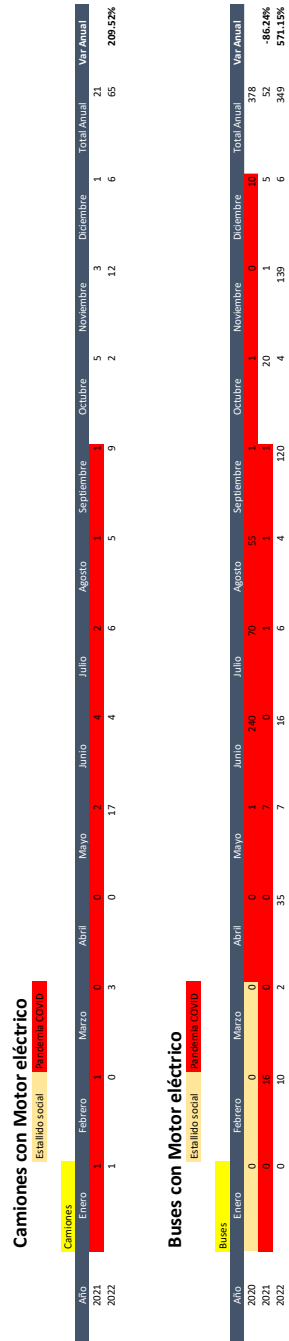


Figura A.7: Ventas camiones y buses, con Motor Eléctrico.

A.2. Mercados Internacionales

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual	Var Anual
2011	326	477	563	515	380	409	392	436	479	506	601	1.710	6.794	
2012	298	478	810	740	808	954	733	847	994	1.362	6.102	8.559	22.685	233,90%
2013	2.616	3.539	4.114	5.176	6.147	7.678	8.602	9.021	10.538	11.540	9.769	10.885	89.625	295,08%
2014	4.191	4.589	5.329	6.357	7.039	8.579	8.347	11.663	10.041	10.507	9.752	12.874	99.268	107,6%
2015	6.292	6.725	9.747	9.468	10.570	11.540	11.547	11.558	10.432	12.017	13.337	13.699	126.932	27,87%
2016	6.013	6.661	9.281	10.557	11.467	11.653	11.552	14.882	14.174	14.902	13.932	19.132	143.306	12,90%
2017	7.630	8.384	10.816	12.057	12.727	15.540	16.514	16.541	21.325	17.236	17.042	26.107	181.929	26,95%
2018	12.009	16.469	26.373	23.685	24.266	26.204	29.314	36.347	44.589	36.976	36.046	69.800	362.478	99,24%
2019	7.248	8.387	12.145	14.498	18.781	23.607	26.143	28.054	28.881	29.938	29.235	33.013	260.580	-28,13%
2020	11.047	14.197	13.315	10.710	9.539	14.676	19.462	22.235	27.247	25.981	26.550	30.831	225.280	-13,33%
2021	19.657	23.114	43.490	51.425	47.394	45.165	46.990	49.327	59.291				378.457	67,99%

Figura A.8: Ventas vehículo eléctrico de Estados Unidos.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual	Var Anual
2011	34	30	73	73	81	55	67	51	53	31	75	197	820	
2012	155	201	467	341	476	535	486	486	473	482	469	623	5.104	533,41%
2013	481	578	1.062	1.082	1.361	1.221	951	921	1.290	1.434	1.355	1.968	13.704	163,84%
2014	1.436	383	2.161	2.147	2.694	2.064	1.262	1.199	2.087	3.089	2.256	4.040	24.818	81,10%
2015	2.266	2.180	3.656	3.220	3.652	3.039	2.006	1.905	2.560	4.529	3.315	4.781	37.109	48,52%
2016	4.047	3.329	4.712	3.522	3.466	2.778	2.067	2.263	3.597	4.395	3.245	4.402	41.813	12,68%
2017	3.077	3.766	4.799	4.650	4.436	4.490	3.363	2.625	4.603	5.315	3.755	7.032	51.801	23,89%
2018	1.485	2.382	3.593	4.070	3.196	5.315	3.842	3.418	4.986	5.623	3.639	5.266	46.715	-9,82%
2019	3.389	4.525	8.120	5.738	6.782	7.354	7.784	6.078	8.037	8.391	6.965	8.631	81.194	73,81%
2020	7.724	9.609	4.111	2.439	6.782	7.354	7.784	6.078	8.037	8.391	6.965	8.631	105.991	31,77%
2021	7.754	8.927	11.862	6.888	5.069	4.893	4.725	5.477	12.139	9.863	11.676	14.926	62.394	-41,12%

Figura A.9: Ventas vehículo eléctrico de Noruega.

Año	Pandemia COVID												Total Anual	Var Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
2011	22	19	79	36	34	40	34	34	35	77	179	549	1.140	90,09%
2012	46	57	138	71	28	50	88	66	190	283	453	697	2.167	125,57%
2013	112	133	311	136	91	200	203	192	447	920	1.006	1.137	4.888	56,63%
2014	155	211	336	256	185	365	419	336	470	979	1.186	2.758	7.656	54,43%
2015	238	307	666	652	641	906	938	769	1.006	1.375	1.801	2.509	11.808	-66,08%
2016	243	205	334	279	238	303	318	337	397	416	411	483	4.004	135,94%
2017	603	602	681	737	596	1.032	1.031	894	789	730	785	987	9.447	124,24%
2018	1.424	1.312	1.525	1.173	1.173	1.799	2.357	2.057	1.634	1.698	2.340	2.692	21.184	215,89%
2019	3.534	3.647	4.168	3.304	3.310	5.785	6.039	6.037	6.844	7.205	9.304	7.141	66.918	-30,91%
2020	3.055	3.208	4.291	3.680	3.396	4.814	7.019	8.657	9.411	13.105	11.527	6.358	78.321	
2021	9.132	6.161	8.862	6.844	5.272	5.986	6.304	4.867	881				54.109	

Figura A.10: Ventas vehículo eléctrico de Países Bajos.

Anexo B. Resultados Proyección Baterías Ion-Litio

En este anexo se encuentran los resultados de tanto para el Escenario Pesimista como Optimista. Se tiene tabulados los valores para todos los años en proyección tanto para el segregado por región como por modo de vehículo.

B.1. Escenario Pesimista

Por Región

Región	Unidad	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
1ª Región	Bat	1	1	1	3	5	3	3	7	9	10	11	22	34	33	40	57	76	94	121	165	220	275	356	467	611	791	1030	1341	
2ª Región	General																													
3ª Región	Bat	1	1	1	2	3	11	16	24	30	41	53	71	93	141	185	242	308	397	509	651	854	1082	1389	1776	2262	2889	3688	4727	
4ª Región	General																													
5ª Región	Bat	3	3	1	4	15	16	15	16	15	16	18	28	38	32	65	91	119	153	196	257	332	436	563	736	952	1232	1595	2066	
6ª Región	General																													
7ª Región	Bat	12	12	13	10	25	71	35	76	95	137	138	155	212	328	315	438	626	895	1305	1926	2746	3856	5425	7572	10452	14352	19552	26552	
8ª Región	General																													
9ª Región	Bat	4	5	7	17	28	28	28	28	28	109	138	167	228	310	415	506	639	836	1102	1432	1832	2321	2933	3781	4884	6256	8000	10160	12960
10ª Región	General																													
11ª Región	Bat	1	2	2	8	9	18	10	55	73	85	139	166	229	250	437	506	639	788	1044	1292	1643	2026	2668	3288	4114	5130	6450	8038	
12ª Región	General																													
Región Mdr.	Bat	1	1	1	1	2	5	7	4	5	7	9	15	27	39	30	41	55	74	89	121	168	231	284	378	505	679	900	1168	1512
14ª Región	General																													
15ª Región	Bat	19	20	21	41	110	240	303	600	701	862	1023	1361	1774	2452	2998	4319	5030	6144	7416	9248	11293	14031	17105	21533	26005	31805	38831	47665	58164
16ª Región	General																													
General	Bat	2	3	1	2	4	5	8	17	22	21	31	44	59	77	106	149	201	263	359	488	657	886	1200	1623	2160	2850	3700	4750	
General	Bat	2	4	3	7	16	20	25	32	49	65	76	106	154	196	245	311	404	513	641	818	1046	1313	1645	2067	2595	3312	4284	5512	
General	Bat	42	44	46	71	181	414	445	986	1183	1490	1766	2373	3109	4392	5220	7748	9203	11477	14051	17859	22193	28117	34679	44483	54848	68409	85135	106741	133126

Figura B.1: Proyección de baterías por Regiones.

Por Modo

Modo	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Vehículo Liviano Pasajero	27	29	30	30	57	139	271	264	744	935	1182	1421	1978	2638	3542	4182	6420	7828	9778	12021	15376	19159	24060	29563	37852	46688	57840	71449	88860	107298
Vehículo Liviano Comercial	10	10	11	9	14	31	37	92	74	96	120	162	191	296	384	645	660	889	1181	1516	2095	2855	3809	5246	6793	9101	12170	16343	21779	
Bus Urbano	3	3	3	3	14	47	78	81	81	95	108	111	140	239	334	344	327	362	377	403	427	529	627	639	618	655	693	700	695	
Bus Interurbano	2	2	2	2	12	34	47	39	57	66	71	69	100	167	206	185	222	247	261	256	292	362	403	383	416	442	458	455	466	
Taxi					1	2	31	19	33	38	50	46	54	60	147	112	155	169	200	190	209	220	309	276	321	338	371	363	383	
General	42	44	46	71	181	413	445	987	1185	1489	1766	2374	3109	4392	5218	7750	9206	11476	14050	17860	22194	28115	34677	44482	54852	68409	85134	106741	133129	

Figura B.2: Proyección de baterías por Modo de vehículo.

B.2. Escenario Optimista

Por Región

Región	Unidad	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
1 Región	Bat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5 Región	General	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
6 Región	General	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
7 Región	General	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8 Región	General	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9 Región	General	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13 Región	General	38	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	
14 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15 Región	General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16 Región	General	83	88	91	142	354	818	881	1958	3066	3880	4894	7804	38833	74842	113218	156526	211753	268594	329474	399313	51932	648274	788862	942823	1138835	1309781	1506130	1741224	2060028	

Figura B.3: Proyección de baterías por Regiones.

Por Modo

Modo	Unidad	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Veículo Liviano Pasajero	Bat	55	58	61	113	273	535	522	1470	1857	2501	3230	4051	3300	64438	96336	132719	177684	225878	271710	324177	435516	545880	652984	758771	948245	1082605	1235523	1415942	1646412
Veículo Liviano Comercial	Bat	19	20	21	17	26	69	72	183	125	177	243	357	471	721	1027	1612	2116	3072	4439	6490	9336	13599	19654	28529	40851	58587	83670	118881	167333
Bus Urbano	Bat	5	5	5	6	28	93	156	162	671	728	791	505	1756	1953	2167	2517	4727	5044	5421	6846	8046	9905	10853	12275	16282	18384	20196	22202	24315
Bus Interurbano	Bat	5	5	5	5	23	67	93	78	401	449	500	977	1169	1337	1501	1764	3772	3600	3993	5122	6171	7742	8784	10278	13638	16005	18164	20021	22081
Taxi	Bat	1	1	1	2	5	62	38	66	3	25	130	416	2135	6393	11585	17916	23956	31000	38449	46679	56862	71047	86516	104228	120520	134201	148575	164177	181387
General	Bat	84	87	92	142	354	818	880	1959	3067	3880	4894	7805	38832	74842	113216	156528	211754	268594	329473	399313	515931	648274	788861	949282	1139836	1309782	1506128	1741223	2060027

Figura B.4: Proyección de baterías por Modo de vehículo.

B.3. Escenario Incentivo

Por Región

Región	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050								
1. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
2. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
4. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
5. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
6. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
7. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
8. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
9. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
10. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
11. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
12. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
13. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
14. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
15. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20. Región	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura B.5: Proyección de baterías por Regiones.

Por Modo

Región	Módulo	Uso	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050				
Venezuela	Bat	Uso	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58				
Caracas	Bat	Uso	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58			
Mérida	Bat	Uso	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58		
Trujillo	Bat	Uso	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58		
Barinas	Bat	Uso	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	
Cojedes	Bat	Uso	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Coronil	Bat	Uso	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58

Figura B.6: Proyección de baterías por Modo de vehículo.

Anexo C. Evolución de la Penetración Internacional de EV

En este anexo se encuentran las gráficas de Suecia, China, EE. UU. y Suiza, las cuales permiten observar la evolución de la penetración de los vehículos eléctricos en el parque vehicular total mediante el uso de incentivos en el período de 2008 al 2017.

Suecia

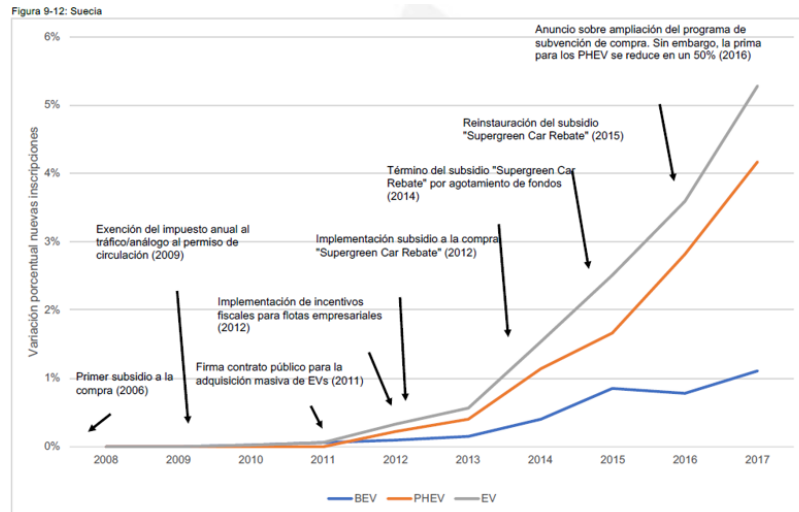


Figura C.1: Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Suecia. Fuente: [18]

China

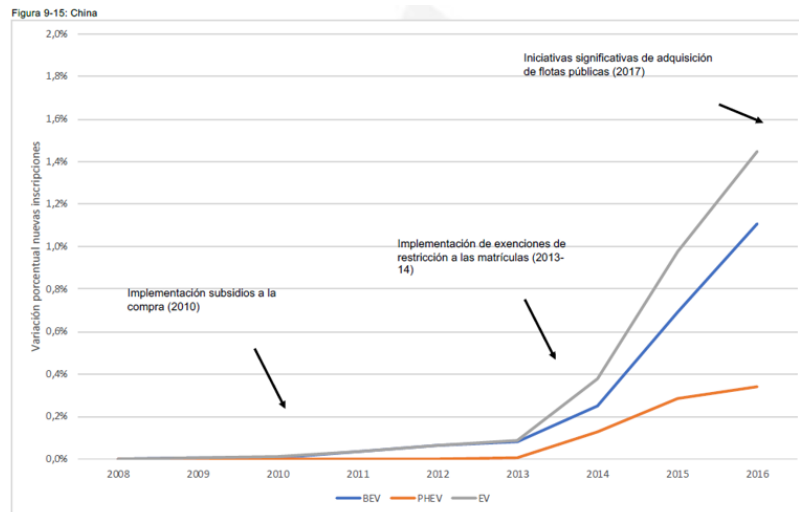


Figura C.2: Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, China. Fuente: [18]

EE. UU.

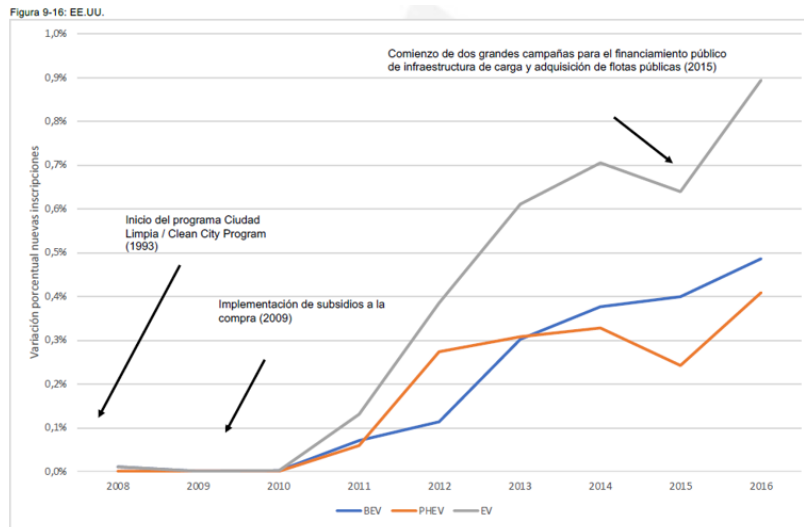


Figura C.3: Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, EE. UU. Fuente: [18]

Suiza

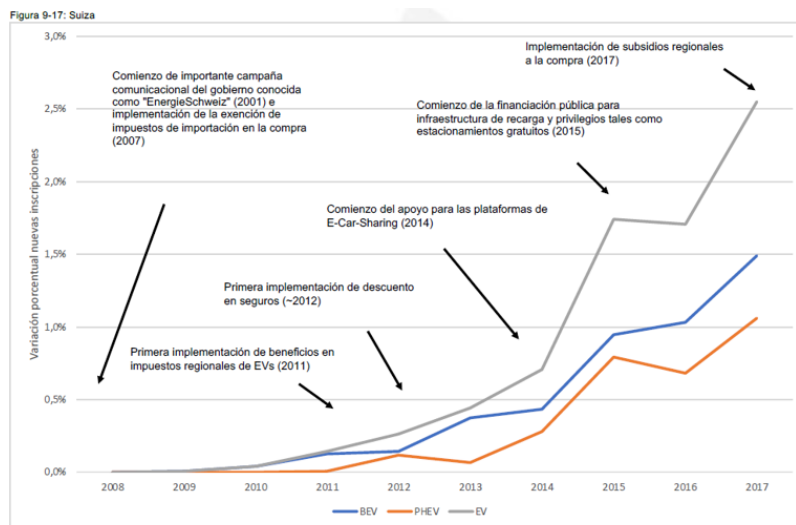


Figura C.4: Efecto de los Incentivos en la penetración de los vehículos eléctricos, Suiza. Fuente: [18]