

Licitación N°83390313

ASISTENCIA TÉCNICA PARA DESARROLLO DE ANTECEDENTES PARA FOMENTO DE SEGUNDO USO Y RECICLAJE DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD

INFORME FINAL



14 ABRIL 2022

Resumen ejecutivo

El presente documento incluye los resultados finales de la Licitación “Asistencia técnica para el desarrollo de antecedentes para fomento de segundo uso y reciclaje de baterías de electromovilidad”. Específicamente los resultados de la Tarea 2 “Análisis técnico de opciones de segundo uso de baterías de electromovilidad y de su reciclaje”, las actividades de la tarea 3 “Caracterización del mercado nacional de baterías de electromovilidad y proyección de importaciones, uso y generación de residuos de estas baterías”, Tarea 4 “Análisis de experiencia comparada en segunda vida y reciclaje de baterías”, Tarea 5 “Identificar barreras y oportunidades para segundo uso y reciclaje de baterías de electromovilidad fuera de uso”, y la Tarea 6 “Identificar oportunidades de negocio para el fomento de segundo uso y el reciclaje de baterías de electromovilidad”.

Los principales resultados de la caracterización técnica de las baterías muestran que la tendencia en el mercado de vehículos eléctricos (VE) en Chile, utilizan en su mayor parte (91%) baterías de ion litio (LiBs) como fuente de energía. En un menor porcentaje (9%) existen vehículos híbridos (VH) que utilizan baterías de níquel hidrurometálico (Ni-MH). Los VE utilizan módulos o paquetes que están constituidos por varias celdas del tipo prismáticas que permiten su instalación en la parte baja del chasis del vehículo.

Dentro de las alternativas de reciclaje de Baterías Fuera de Uso (BFU) en Chile son limitadas, lo que dificulta identificar un proceso de valorización a corto plazo para las BFU de electromovilidad. Existe una empresa, Ecominería, que procesa baterías de ion litio de dispositivos electrónicos obteniendo como materias primas secundarias cobalto y cobre que pueden ser utilizados en otras industrias. Actualmente debido a la escasa capacidad instalada del reciclaje de baterías, algunas baterías son enviadas a rellenos de seguridad para su inertización, el resto aún no se conoce su trazabilidad. Dentro de los procesos encontrados para el reciclaje de baterías a nivel mundial y que podrían realizarse en Chile, se encuentran la pirometalurgia, hidrometalurgia y el reciclaje directo. De estos procesos, los principales residuos que pueden ser valorizados en la misma industria de la electromovilidad o en otra industria de manufactura son el cobalto, el níquel, el grafito y el cobre.

Una alternativa al reciclaje es el uso de las baterías fuera de uso como baterías de segunda vida, lo que implica utilizar las baterías que llegan a un 70-80% de estado de carga en otras aplicaciones que no requieren tanta exigencia. Dentro de las aplicaciones que se han detectado, están aquellas que pueden utilizar baterías como fuente de almacenamiento adicional y evitar la sobrecarga de la red eléctrica evitando posibles cortes de luz. Por ejemplo, como respaldo en sistemas off-grid y On-grid híbridos de paneles solares, donde el sistema requiere una fuente adicional de energía en momentos donde el panel solar no se encuentre en su máximo rendimiento (durante la noche) o que la energía almacenada en estos dispositivos se transfiera mediante un inversor de corriente a la red eléctrica y con un sistema secundario pueda abastecer los equipos básicos de una vivienda. Otra aplicación interesante es la utilización de las baterías en estaciones de carga de vehículos eléctricos, evitando la sobrecarga del empalme al momento de conectar una flota de buses en una estación de carga. Por último, está la micromovilidad, aprovechando las celdas individuales de las baterías fuera de uso, se podrían electrificar bicicletas y scooter convencionales para la descongestión de calles en las grandes ciudades.

El tamaño del mercado global de LiBs se valoró en USD 53,6 mil millones en 2020 según estudio de Grand View Research y se espera que tenga una tasa anual compuesta de crecimiento del 19,0% entre el 2020 y el 2028. Este crecimiento está dado principalmente por la demanda de (LiBs) para vehículos eléctricos y almacenamiento en red de alta densidad energética y peso ligero. El incremento de los VE y la disminución en el precio de las LiBs ampliará el tamaño del mercado.

A partir de la segunda mitad del año 2020, seis compañías asiáticas suministraron el 87% de las baterías de vehículos eléctricos de pasajeros. CATL representa el 26% del mercado mundial de baterías y prácticamente con la misma participación de mercado se encuentra LG Energy Solution y con 17% sigue Panasonic. Estos actores desarrollan modelos de negocios basados en joint ventures, fusiones y adquisiciones, que les permiten incrementar su presencia en el mercado de LiBs. Adicionalmente, aumentan su rentabilidad y participación a través de una fuerte inversión en I+D.

El mercado del reciclaje y reutilización de baterías para el año 2040, se estima a nivel mundial en 7,8 millones de toneladas cada año de baterías de vehículos eléctricos que deberán ser reemplazadas. El mercado mundial para el reciclaje de baterías bordeará los USD \$31 mil millones por año. Este se centrará en cobalto, cobre y níquel. En la actualidad el litio generalmente no se recupera a gran escala y tampoco el grafito. En términos de la proyección de energía de baterías en desuso, se ha estimado que, bajo un escenario moderado, será de 20,3 GWh para el año 2050.

En términos de la situación regulatoria a nivel internacional, la gestión de las baterías para su recolección y disposición está principalmente guiado por los sistemas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), lo que en Chile también está en desarrollo por medio de la Ley 20.920, Ley Marco para la Gestión de Residuos,

Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. Se realizó un análisis de los sistemas REP en la Unión Europea, en Norteamérica, considerando Canadá y Estado Unidos, Corea del Sur como representante del continente asiático y de Latinoamérica, destacando Colombia y Chile.

Los sistemas REP existentes, plantean soluciones que a la fecha han resultado eficientes para baterías de plomo ácido para el caso de vehículos, y para baterías portátiles o industriales, en el caso de LiBs. La problemática en torno a la gestión de BFU de VE, generada por el crecimiento de la industria de la electromovilidad, ha demostrado que los sistemas REP y sus normativas en esta área deben ser actualizadas, para regular la gestión sostenible de baterías de VE bajo los lineamientos de la economía circular.

Ha sido el crecimiento de la industria de la electromovilidad la que ha generado la necesidad de actualizar las normativas existentes. En dicho contexto, la Comisión Europea ha presentado una propuesta que aborda nuevas medidas que van enfocadas a la reutilización de baterías de VE y para su reciclaje y recuperación de materiales. Estas medidas buscan, además, definir la responsabilidad sobre la gestión de los residuos que se generen de las baterías de segundo uso.

En Norteamérica no existen sistemas REP para baterías de VE, sino que su foco es para baterías domésticas y de plomo-ácido en el caso de vehículos. Es por ello por lo que se están generando estudios para identificar el impacto de la puesta en marcha de un sistema REP en Canadá y las brechas existentes para ello. Igual situación se presenta en Latinoamérica, donde no hay sistemas REP que aborden la problemática de las baterías de EV, situación esperable debido a que el mercado de electromovilidad es aún inicial en la región. Sin embargo, Chile destaca debido a las medidas que se han generado para impulsar la electromovilidad, especialmente con la Estrategia Nacional de Electromovilidad, donde se ha comprometido que para el año 2035 el 100% de los vehículos que se vendan en el país deben ser eléctricos o híbridos. Por lo tanto, Chile tiene una oportunidad para incorporarla en el futuro decreto que se desarrollará en el contexto de la Ley 20.920 “Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje” y por la necesidad de hacer frente al volumen de baterías de EV fuera de uso que se proyecta para los próximos años.

Corea del Sur ha desarrollado un sistema de recolección y reciclaje de baterías de VE, sin embargo, posee brechas en la recopilación de datos para hacer seguimiento de los procesos. Para superar esta brecha, el año 2021 se han generado cambios en la normativa que permitirían facilitar la recogida de las baterías, su reutilización para una segunda vida y su reciclaje.

Lo anteriormente mencionado permitió identificar barreras nacionales a nivel técnico, de mercado, regulatorio y también ambiental. En dicho contexto, se individualizaron barreras asociadas al segundo uso de baterías y al reciclaje de estas. Respecto al segundo uso, las principales barreras son:

- Ni en Chile ni en Sudamérica existe capacidad instalada para realizar testeos de seguridad bajo los estándares internacionales que se utilizan en este mercado, lo que impacta en la generación de modelos de negocios en torno al segundo uso de las baterías fuera de uso.
- El uso de BFU provenientes de VE no es una tecnología que esté disponible de forma masiva en el mercado, sino que más bien corresponde a tecnologías que se encuentran en proyectos de investigación o a nivel de servicios en startups muy escasas en el mundo.
- No existe consenso en que se pueda por el momento alcanzar un precio competitivo de venta de las baterías usadas respecto el precio de una batería nueva. Lo anterior bajo la consideración de lo que significa asumir costos de desmantelamiento desde el auto eléctrico, nuevos testeos de seguridad, transporte hasta el nuevo lugar de reutilización, entre otros.
- Desde el punto de vista regulatorio para BFU de VE, se requiere de la actualización de los sistemas normativos, con el fin de hacer frente a demanda inminente de opciones de valorización y reciclaje de Baterías, debido a la implementación de políticas como la Estrategia Nacional de Electromovilidad, especialmente en el área del uso de baterías como fuente de almacenamiento energético. En el área de REP, la situación de Chile no difiere de la realidad internacional, debido a que actualmente los esquemas REP a nivel global se encuentran en proceso de actualización debido al crecimiento del parque de VE y por consecuencia de la disposición de sus baterías.

En temas de reciclaje, las barreras identificadas son principalmente técnicas y están asociadas a:

- Capacidad técnica disponible en el país, para el reciclaje de baterías, principalmente en la recuperación de materiales, como níquel, cobalto, grafito, etc.
- Etiquetado de baterías, para conocer la composición química de las baterías, dato relevante para la tecnología a emplear el proceso y para proyectar las tasas de recuperación.

La cadena de valor y gestión de LiBs abarca desde la industria primaria (ej. minerales y materias primas) hasta procesos de innovación de alta tecnología (ej. Pirometalurgia, hidrometalurgia, gestión de datos, algoritmos, entre muchos otros). Los alcances de la electromovilidad son estructurales comprendiendo cambios en regulaciones, normativas y procesos de gestión de información y conocimiento desde la academia, sector privado y público¹. A nivel global, no existe duda que esta transformación representa evidentes oportunidades a nivel económico en el corto, mediano y largo plazo.

La experiencia internacional en modelos de negocios a nivel privado señala que se requiere una fuerte inversión en capital financiero y departamentos de I + D consolidados. A nivel público – privado se establecen vinculaciones entre instituciones de gobierno, universidades y empresas. Los modelos de negocios observados a nivel internacional tienen las siguientes cualidades:

- a) Una propuesta de valor orientada hacia la economía circular, gestionando los ciclos cerrados y abiertos, generando integraciones verticales en la cadena de valor, en especial en reciclaje, y alianzas estratégicas con otras empresas para la generación de servicios de almacenaje de energía a distintas escalas.
- b) Identificación de socios y actores claves los cuales están orientados a un proceso de toma decisiones enfocado en políticas globales (ej. cambio climático, economía circular, gestión de cero residuos, entre otras). Esta integración de actores incluye a las principales empresas de la industria automotriz, empresas de remanufactura, reciclaje y a los centros de investigación e innovación.
- c) Definición de actividades claves para el avance a nivel de desarrollo de tecnologías, data management e identificación de requerimientos normativos para la generación de estándares a nivel de sistemas de reciclaje y segunda vida de las baterías.
- d) Diseño de modelos financieros de largo plazo que incluyen dentro de sus propuestas de valor reducir los impactos ambientales y reducir riesgos a posibles barreras en tecnologías (ej. patentes) como a nivel de mercados a nivel de precios de materias primas y cambios en la matriz energética.

Índice

RESUMEN EJECUTIVO.....	2
ÍNDICE.....	5
GLOSARIO.....	8

CAPÍTULO I Análisis técnicos de opciones de segundo uso de reciclaje de baterías de electromovilidad y de su reciclaje..... 9

1	CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LAS BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD UTILIZADAS EN CHILE.....	9
1.1	<i>Caracterización técnica de baterías según marcas y modelos de vehículos eléctricos disponibles en Chile...</i>	9
1.1.1	Tecnología de vehículos eléctricos.....	9
1.1.2	Tipologías de vehículos.....	9
1.1.3	Tipos de baterías.....	10
1.1.3.1	Baterías de ion litio (LiBs).....	10
1.1.3.2	Baterías de níquel hidruro metálico (Ni-MH).....	11
1.1.4	Capacidad de almacenamiento de energía de las baterías empleadas en electromovilidad en Chile.....	12
1.2	<i>Proyecciones de las tecnologías en electromovilidad.....</i>	13
2	ANÁLISIS TÉCNICO DE MÉTODOS Y APLICACIONES DE SEGUNDO USO DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD Y DE PROCESOS DE RECICLAJE.....	14
2.1	<i>Aplicación de BFU proveniente de electromovilidad, como batería de segunda vida.....</i>	15
2.2	<i>Valorización de baterías de electromovilidad en Chile y el mundo.....</i>	16
2.2.1	Presencia de tecnologías para valorización de BFU de electromovilidad en Chile.....	16
2.2.2	Procesos de reciclaje de BFU de electromovilidad a nivel internacional.....	17
2.3	<i>Comparación entre alternativas de tratamiento y reutilización de baterías de electromovilidad y pretratamiento.....</i>	19

CAPÍTULO II Caracterización del mercado nacional de baterías de electromovilidad y proyección de importaciones 20

3	CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO NACIONAL DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD.....	20
3.1	<i>Descripción del tamaño del mercado nacional, su proyección en volumen de venta y tasa de crecimiento anual proyectada.....</i>	20
3.1.1	Antecedentes de mercado de Vehículos eléctricos.....	20
3.1.2	Mercado de electromovilidad por tipo de vehículo.....	22
3.1.2.1	Importaciones históricas de LiBs.....	22
3.1.2.2	Vehículos particulares.....	22
3.1.2.3	Taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros.....	23
3.1.2.4	Buses y microbuses.....	23
3.1.2.5	Camiones de carga.....	23
3.1.2.6	Maquinarias.....	24
3.1.3	Baterías de ion Litio.....	24
3.1.3.1	Tipos de baterías de ion litio ¿en el mercado mundial.....	24
3.1.3.2	Desarrollo regional.....	25
3.1.3.3	Reciclaje y segundo uso.....	25
4	PROYECCIÓN DE IMPORTACIONES DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD Y OTRAS APLICACIONES HASTA EL AÑO 2050.....	25
4.1	<i>Factores para la electromovilidad.....</i>	25
4.1.1	Metas de electromovilidad del Ministerio de Energía.....	25
4.1.2	Metas climáticas de mitigación del Ministerio del Medio Ambiente.....	26
4.1.3	Proyecciones en la penetración de la electromovilidad.....	26
4.1.4	Proyecciones de rendimiento de baterías.....	27
4.2	<i>Método de proyección de importación de baterías.....</i>	28
4.2.1	Metodología de la proyección.....	28
4.2.1.1	Metodología de proyección de vehículos particulares.....	29
4.2.1.2	Metodología de proyección para taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros.....	30
4.2.1.3	Metodología de la proyección de buses y microbuses.....	31
4.2.1.4	Metodología de la proyección de camiones de carga.....	32
4.2.1.5	Metodología de la proyección de maquinarias.....	33
4.2.2	Proyección de importaciones de baterías para electromovilidad.....	34
4.2.2.1	Resultados escenario conservador.....	34
4.2.2.2	Resultados escenario moderado.....	35
4.2.2.3	Resultados escenario optimista.....	35
5	PROYECCIÓN DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD Y RESPALDO DESCARTADAS AL AÑO 2050.....	35
5.1	<i>Proyecciones.....</i>	36
5.1.1	Vehículos particulares.....	36

5.1.2	Taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros	36
5.1.3	Buses y microbuses	37
5.1.4	Camiones.....	37
5.1.5	Maquinarias	37
5.2	Resultados.....	38
5.2.1	Resultados escenario conservador.....	38
5.2.2	Resultados escenario moderado	38
5.2.3	Resultados escenario optimista	38
5.2.4	Recomendaciones	39
CAPÍTULO III Análisis de experiencia comparada en segunda vida y reciclaje de baterías.....		40
6	REGULACIÓN DE APLICACIONES DE SEGUNDA VIDA Y RECICLAJE DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD EN CONTEXTO REP	40
6.1	<i>Unión Europea</i>	40
6.2	<i>Norte-américa</i>	41
6.3	<i>Corea</i>	42
6.4	<i>Latinoamérica</i>	42
7	ALTERNATIVAS DE SEGUNDA VIDA Y RECICLAJE DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD IMPLEMENTADAS A NIVEL INTERNACIONAL	43
7.1	<i>Baterías de segunda vida</i>	43
7.2	<i>Reciclaje de baterías de electromovilidad</i>	46
7.3	<i>Desafíos del proceso de reciclaje de baterías de electromovilidad a nivel mundial</i>	47
7.4	<i>Aspectos regulatorios del mercado eléctrico para baterías de segundo uso</i>	48
CAPÍTULO IV Identificación de barreras y oportunidades para segundo uso y reciclaje de baterías de electromovilidad fuera de uso		49
8	IDENTIFICACIÓN DE REGULACIONES Y NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE A LA IMPORTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD	49
9	BARRERAS Y OPORTUNIDADES REGULATORIAS, TÉCNICAS Y DE MERCADO.....	52
9.1	<i>A nivel técnico</i>	52
9.1.1	Barreras.....	52
9.1.2	Oportunidades	52
9.2	<i>A nivel de mercado</i>	53
9.2.1	Barreras.....	53
9.2.2	Oportunidades	53
9.3	<i>A nivel legal y de política pública</i>	54
9.3.1	Barreras.....	54
9.3.2	Oportunidades	54
9.4	<i>A nivel ambiental</i>	54
9.4.1	Barreras.....	54
9.4.2	Oportunidades	54
10	PROCESO DE ENTREVISTAS CON LOS PRINCIPALES ACTORES INVOLUCRADOS.....	54
CAPÍTULO V Identificar oportunidades de negocio para el fomento de segundo uso y el reciclaje de baterías de electromovilidad		56
11	OPORTUNIDADES DE NEGOCIO IDENTIFICADAS	56
11.1	<i>Reciclaje de baterías Ion- Litio (electromovilidad) “Tendencias en el desarrollo de modelos de negocio”...</i>	58
11.1.1	Tendencias de Modelos de Negocios.....	58
11.2	<i>Segundo Uso de Baterías Ion- Li (electromovilidad) “Tendencias en el desarrollo de modelos de negocio”</i>	61
11.2.1	Tendencias de Modelos de Negocios.....	62
11.3	<i>Propuesta inicial para el desarrollo de modelos de negocios</i>	65
CAPÍTULO VI Conclusiones y observaciones del consultor		67
12	CONCLUSIONES	67
13	OBSERVACIONES DEL CONSULTOR	68
ANEXOS		70
ANEXO I. DETALLE DE MODELOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PRESENTES EN MERCADO NACIONAL Y LAS CARACTERÍSTICAS DE SUS BATERÍAS. 70		
<i>AI.I Modelos de vehículos eléctricos y sus baterías</i>		70
<i>AI.II Modelos de vehículos híbridos y sus baterías⁽¹⁰⁾</i>		71
14	ANEXO II. TIPOS DE BATERÍAS Y SU FUNCIONAMIENTO.....	73
<i>AI.II.I Baterías electroquímicas</i>		73
<i>AI.II.II Vehículo Micro-Híbrido</i>		75

ANEXO III. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLAVES EN EL MERCADO.....	76
<i>AIII.I Factores políticos</i>	76
<i>AIII.II Factores económicos</i>	77
AIII.II.I Regulaciones de servicios complementarios.....	77
AIII.II.II Incentivos financieros	77
AIII.II.III Subsidios en permiso de circulación	77
AIII.II.IV Impuestos	78
AIII.III Factores sociales	78
AIII.III.I Descripción de los compradores de EV	78
AIII.III.II Barreras de información para la adopción tecnológica.....	79
AIII.III.III Necesidades de capital humano.....	79
AIII.II.IV Otras barreras.....	80
<i>AIII.IV Factores tecnológicos</i>	80
<i>AIII.V Factores ecológicos</i>	80
<i>AIII.VI Factores legales</i>	81
ANEXO IV. REGRESIONES	83
ANEXO V. POLÍTICAS PÚBLICAS Y REGLAMENTACIÓN	85
ANEXO VI. CARACTERIZACIÓN DE MERCADOS CORRELACIONADOS CON EL DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD Y SU IMPACTO EN EL CRECIMIENTO DEL MISMO	87
<i>AVI.I Desmantelamiento, desarmadura y reciclaje de automóviles</i>	87
<i>AVI.II Reciclaje de Baterías de plomo-ácido</i>	87
<i>AVI.III Mercado de materias primas para las LiB</i>	88
<i>AVI.IV Retro-fit</i>	90
<i>AVI.V LiBs para productos electrónicos de consumo</i>	91
<i>AVI.VI LiBs en micro movilidad</i>	91
<i>AVI.VII Hidrógeno</i>	92
ANEXO VII. ALTERNATIVAS DE SEGUNDA VIDA Y RECICLAJE DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD IMPLEMENTADOS A NIVEL INTERNACIONAL	93

Glosario

- **Baterías LiB:** Baterías de ion litio.
- **Baterías Ni MH:** Baterías de Níquel hidrurometálico.
- **Batería fuera de uso (BFU):** batería que ha llegado al final de su ciclo de vida.
- **Electromovilidad:** Hace referencia al uso de vehículos eléctricos, siendo entendido como aquellos que hacen uso de combustibles y/o energía alternativa impulsado por uno o más motores eléctricos.
- **ESS (Sigla en inglés):** Sistema de almacenamiento de energía.
- **Gases de efecto invernadero (GEI):** los gases atmosféricos responsables de provocar el calentamiento global y el cambio climático. Los principales gases de efecto invernadero son el Dióxido de Carbono (CO₂), el Metano (CH₄) y el Óxido Nitroso (N₂O). Los gases de efecto invernadero menos frecuentes, pero también muy potentes, son los Hidrofluorocarbonos (HFC), los Perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de Azufre (SF₆).
- **Ley REP:** La Ley N° 20.920, Ley marco para la gestión de residuos, la Responsabilidad Extendida al Productor y fomento al reciclaje, es el nuevo marco legal en materia de residuos y de fomento al reciclaje. Esta Ley tiene por objeto disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.¹
- **Micromovilidad:** se refiere a una variedad de vehículos ligeros como scooters, por ejemplo, que operan, por lo general, a velocidades por debajo de los 25 km/h y son ideales para viajes de hasta 10 km. Incluye una variedad importante de vehículos, siempre que no sobrepasen los 500 kilogramos.
- **Reciclaje:** Empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo, incluyendo el Coprocesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética²
- **SOC (State of charge, en inglés):** Indicador que muestra la capacidad disponible en función de la capacidad nominal de la batería.
- **SOH (State of health, en inglés):** El estado de salud es un indicador de la capacidad máxima de carga de una batería bajo condiciones de carga y descarga nominales. Generalmente dicho indicador se compara respecto a la capacidad máxima de la misma batería cuando está nueva, bajo condiciones de carga y descarga nominales. Es por esto, que generalmente el estado de salud se expresa como un porcentaje.
- **Valorización:** Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y, o el poder calorífico de los mismos. La valorización comprende la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización energética³.
- **Vehículo eléctrico (VE):** un vehículo con motor eléctrico que se alimenta mediante baterías (cargadas a través de conexión a la red eléctrica), directamente de hidrógeno o mediante corriente continua⁴
- **Vehículo híbrido (VH):** contiene un motor de combustión interna y un motor eléctrico con un banco de baterías. En contraste a un vehículo híbrido enchufable, no brinda la capacidad de conexión a una fuente externa para cargar las baterías. Sin embargo, las baterías se cargan mediante el motor de combustión interna o un sistema de frenado regenerativo.⁵
- **Vehículo híbrido enchufable (PHEV):** contiene un motor de combustión interna y un motor eléctrico con un banco de baterías. Brinda la capacidad de conexión a una fuente externa para cargar las baterías.⁶

¹ <https://economiecircular.mma.gob.cl/ley-rep/>

² Ley REP, Ley Núm. 20.920 Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje. Ministerio de Medio Ambiente.

³ Ley REP, Ley Núm. 20.920 Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje. Ministerio de Medio Ambiente.

⁴ <https://www.electromov.cl/2020/07/03/glosario-los-principales-conceptos-de-la-onu-para-la-electromovilidad/>

⁵ <https://www.electromov.cl/2020/07/03/glosario-los-principales-conceptos-de-la-onu-para-la-electromovilidad/>

⁶ <https://www.electromov.cl/2020/07/03/glosario-los-principales-conceptos-de-la-onu-para-la-electromovilidad/>

CAPÍTULO I

ANÁLISIS TÉCNICOS DE OPCIONES DE SEGUNDO USO DE RECICLAJE DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD Y DE SU RECICLAJE

1 Caracterización técnica de las baterías de electromovilidad utilizadas en Chile

1.1 Caracterización técnica de baterías según marcas y modelos de vehículos eléctricos disponibles en Chile

La caracterización técnica ha sido desarrollada a nivel de tipologías de vehículos, según los modelos existentes de diferentes marcas, los cuales cuentan con baterías de variadas características técnicas dentro del mercado nacional.

1.1.1 Tecnología de vehículos eléctricos

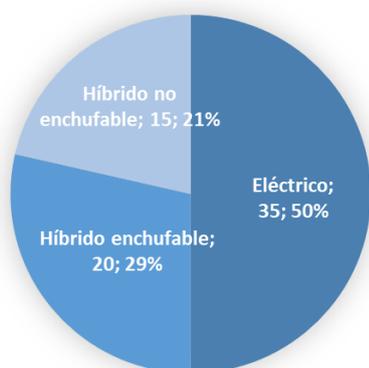


Figura 1. Tecnología de vehículos para mercado de electromovilidad en Chile, según modelos disponibles.

La plataforma de electromovilidad del gobierno de Chile, entrega un listado detallado de la oferta de vehículos eléctricos (VE) e híbridos (VH) disponible en el territorio nacional. Dentro de este listado se destacan vehículos livianos, de transporte de pasajeros y de carga. Además, se han incorporado vehículos que recientemente han sido importados, tanto para el uso particular como de transporte público. En la Figura 1, se muestra un resumen de la información recopilada, incluyendo vehículos livianos, de transporte de pasajeros (buses y taxis) y de carga. El detalle de los diferentes modelos de la flota de vehículos eléctricos en Chile se encuentra en el Anexo I.

La Figura 1^{7,8,9}, muestra que mitad de los modelos disponibles en el mercado (35 modelos) corresponde a vehículos 100% eléctricos. La otra mitad, corresponde a vehículos híbridos, que se subdividen en enchufables (15 modelos) y no enchufables (20 modelos). La principal diferencia entre estos dos tipos de vehículos híbridos es que los primeros tienen mayor autonomía debido a que la carga externa les permite trabajar durante periodos de tiempos más largo. Es importante destacar que las baterías de los vehículos híbridos no enchufables se cargan a medida que el motor de combustión está trabajando.

1.1.2 Tipologías de vehículos

De un total de 35 modelos de vehículos eléctricos importados, el mayor porcentaje corresponden al tipo liviano, tal como se observa en la Figura 2. Sin embargo, las ventas de los vehículos actualmente están centradas en transporte de pasajeros, debido principalmente a la presencia de este tipo de vehículo en el transporte público mayor (buses) y de pasajeros menores (taxis). Esto está directamente influenciado por los subsidios a la adquisición entregados (p. ej. Agencia de Sostenibilidad Energética) y licitaciones para el transporte de pasajeros en Chile aumentando las ventas nacionales de estos tipos de vehículos para este sector. Por otra parte, se ha encontrado que, de los 35 modelos de vehículos híbridos importados, el 100% son del tipo liviano. A partir de las entrevistas realizadas a la Agencia de Sostenibilidad Energética y ANAC, el recambio o tratamiento de las baterías fuera de uso de los vehículos eléctricos debería estar a cargo de las marcas fabricantes de los vehículos. Hasta ahora el recambio de aquellas celdas que han sufrido algún desperfecto, se envían directamente a la fábrica de origen para su servicio técnico.

⁷ Datos Plataforma Electromovilidad el Ministerio de Energía

⁸ Fuente VE No enchufables: <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2021/10/09-ANAC-Informe-vehiculos-cero-y-bajas-emisiones-Septiembre-2021.pdf>

⁹ Fuente VE enchufables: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/catalogo>

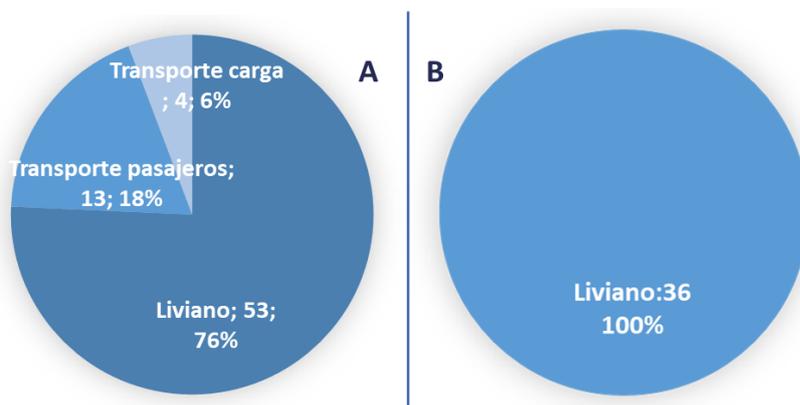


Figura 2. Tipo de vehículos (modelos) importados. A) Vehículos eléctricos B) Vehículos híbridos

1.1.3 Tipos de baterías

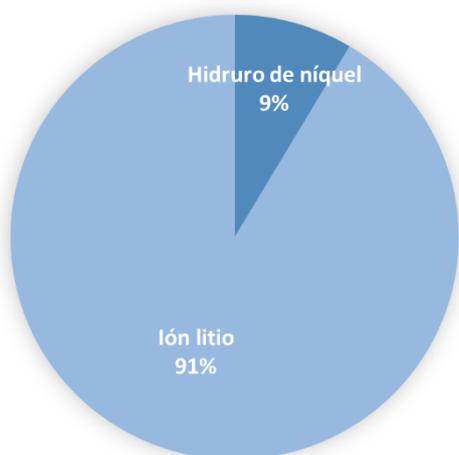


Figura 3. Tecnología de batería de vehículos eléctricos e híbridos.

Según los datos levantados, el 91% de las baterías utilizadas por la oferta de automóviles presentes en el mercado chileno son del tipo ion litio (Ver Figura 3). Estas baterías se han utilizado en dispositivos móviles de consumo en gran número desde el año 1991, cuando fueron comercializadas por primera vez por Sony y se utilizaron principalmente en teléfonos móviles, seguidos de los computadores portátiles.

En la electromovilidad, las baterías de ion litio juegan un papel cada vez más importante, ya que se utilizan, además, en bicicletas asistidas eléctricamente, scooters y patinetas eléctricas. Los camiones de transporte de carga y los autobuses eléctricos también están equipados con baterías de ion litio. Las ventajas de estas baterías y los sistemas derivados de las mismas con respecto a las baterías tradicionales (plomo ácido, plomo gel, alcalinas, níquel hidruro-metálico) son: más livianas, alta energía específica, alta potencia específica, alta eficiencia durante la carga y descarga, así como bajas tasas de autodescarga.

1.1.3.1 Baterías de ion litio (LiBs)

Las baterías de ion litio están conformadas por un ánodo de grafito soportado en una lámina de cobre, un cátodo, que suele ser un óxido mixto de litio soportado sobre una lámina de aluminio, un separador polimérico y un electrolito orgánico. Las baterías de vehículos eléctricos e híbridos utilizan como materiales catódicos de alta potencia como fosfato de hierro litio (LFP). Sin embargo, durante el último tiempo Samsung y CATL, proveedores de baterías para la mayoría de las marcas presentadas, han estado desarrollando nuevas tecnologías con mayores ciclos de vida utilizando como materiales catódicos óxidos mixtos de níquel-manganeso-cobalto (NMC)¹⁰. Las principales ventajas de estas baterías son su alta densidad energética, sus largos ciclos de vida, son livianas y poseen una alta eficiencia entre los ciclos de carga y descarga. Su principal desventaja es su alto costo, poca capacidad de trabajar en ambientes extremos y su tendencia a sobrecalentarse.

En la Figura 4, se muestra un diagrama general de la estructura interna de una batería de ion-litio, mostrando sus componentes principales.

¹⁰ Korthauer, R., Lithium-ion batteries: Basics and applications, Springer, 2018

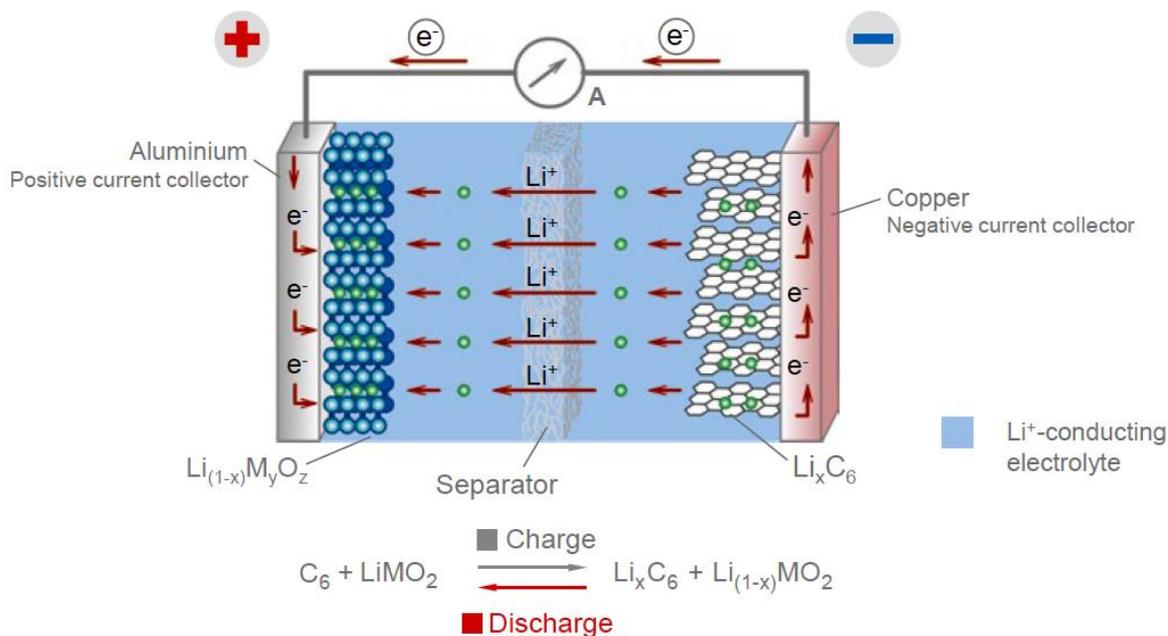


Figura 4. Diagrama general de la estructura interna de una batería de ion litio.

Estos materiales se utilizan para fabricar tres tipos de celdas características: celdas cilíndricas, prismáticas o pouch cell. Este estudio ha evidenciado que actualmente los modelos y marcas de vehículos eléctricos e híbridos presentes en Chile utilizan módulos que están compuestos por celdas del tipo prismáticas, a diferencia de Tesla, que aun ocupa pilas cilíndricas 18650. Sin embargo, la venta de este modelo actualmente no está disponible en Chile. Las ventajas de las celdas prismáticas para su uso en vehículos eléctricos son su diseño más ligero y compacto que permite ahorrar espacio en su instalación facilitando su conexión, conectando en serie y en paralelos varias celdas prismáticas creando un módulo o pack de baterías con mayor voltaje y potencia, como se muestra en la figura 16 del Anexo II.I. Su principal desventaja es que su proceso de fabricación es más complejo, a diferencia de las cilíndricas, que actualmente poseen un sistema automatizado, rápido y con un menor costo por kWh. Los packs de baterías prismáticas se encuentran generalmente en la parte inferior de los vehículos aprovechando el diseño de la batería que permite ocupar menos espacio por su forma plana. Las baterías representan el 60 % en peso de total del vehículo eléctrico, dimensionando la importancia de estos dispositivos.

En el Anexo II se presenta en detalle el funcionamiento de las baterías LiBis, electroquímica y su conformación e instalación en un vehículo eléctrico.

1.1.3.2 Baterías de níquel hidruro metálico (Ni-MH)

Además de las baterías de ion litio, se ha encontrado una menor presencia (9%) de baterías de níquel hidruro-metálico (Ni-MH). En efecto, Toyota y su marca de lujo Lexus trabajan con baterías de Ni-MH y disponen de 6 modelos en el mercado, en un universo de 70 diferentes modelos presentes en Chile. Estas marcas, solo entregan opciones híbridas y no 100 % eléctricas, principalmente, porque tienen una densidad energética menor y su diseño de mayor tamaño no permite ser utilizadas en un vehículo 100% eléctrico. El material activo del cátodo es un oxihidróxido de níquel, mientras que el material activo del ánodo es hidrógeno en forma de hidruro metálico. El electrolito es una disolución acuosa de hidróxido de potasio, su estructura química se muestra en el Anexo II, sección AII.X. Las ventajas de las baterías de Ni-MH es que pueden trabajar a velocidades altas de carga, poseen largos ciclos de vida y un mínimo mantenimiento debido a su configuración que permite un sellado hermético. Por otro lado, las principales desventajas se encuentran en que los costos del ánodo son altos, alcanzan bajas capacidades de almacenamiento a velocidades rápidas de carga lo que repercute en una descarga más rápida de la batería y en una menor autonomía.¹¹

La Tabla 1, muestra un resumen comparativo de las características técnicas entre baterías de ion-Litio y de Níquel hidrurometálico. Dentro de las más destacadas para la industria de electromovilidad, los diferentes tipos de baterías de ion litio poseen un mayor voltaje de celda (~3,8 V) que las de Ni-MH (~1,2 V), por lo tanto, tienen mayores potencias y capacidades de almacenamiento. Las baterías de Ni-MH al tener potencias menores, se están destinando para abastecer el mercado de los vehículos híbridos, los cuales poseen menor autonomía con el motor eléctrico. Además, las baterías de ion litio son más livianas y esta característica las hace sobresalir debido

¹¹ D. Linden, T.B. Reddy, Handbook of batteries, Mcgraw-Hill, 1995).

a su mayor versatilidad de diseño en los vehículos eléctricos. Un aspecto importante para destacar es la eficiencia de carga de ambos tipos de baterías. Las baterías de ion litio poseen una menor eficiencia en un modo de carga rápida de los dispositivos, sobre todo para los vehículos particulares livianos que requieren menores tiempos de carga. A pesar de lo anterior, el tiempo de descarga de las baterías de ion litio es más prolongado que las de Ni-MH, por lo tanto, su vida útil se encuentra en promedio de 5-8 años, muy por encima de los 2-3 años de las Ni-MH.

Tabla 1. Comparación técnica entre baterías de ion-Litio y de Níquel hidrurometálico¹²

	Unidad de medida	Ion-Li	Ni-MH
Voltaje de celda	Volts	2,4-3,8	1,2
Energía específica	Wh/kg	55-110	100-300
Densidad de energía	Wh/l	160-420	125-600
Densidad de potencia	W/kg	100-500	500-5000
Máxima descarga (C) ¹³	Velocidad (C)	15 C	80 C
Eficiencia de carga	%	70-90	>95
Temperatura de trabajo	°C	-20-65	-30-70
Ciclos de vida	Números de ciclos	500-1000	>2000

1.1.4 Capacidad de almacenamiento de energía de las baterías empleadas en electromovilidad en Chile

Desde el punto de vista de la capacidad de almacenamiento de energía de las baterías, la tendencia es que los VE puros tengan mayores capacidades de los sistemas de baterías, ya que esto está relacionado con la autonomía del vehículo; mientras mayor capacidad, mayor autonomía. Un caso particular para analizar, son los vehículos de transporte de pasajeros, que necesitan mayores capacidades debido al mayor tamaño de los buses y furgonetas. Por ejemplo, el bus King Long XMQ6127 es el VE con baterías de mayor capacidad vendido en Chile, 374,65 kWh, que le entrega una autonomía de 215 km de recorrido¹⁴.

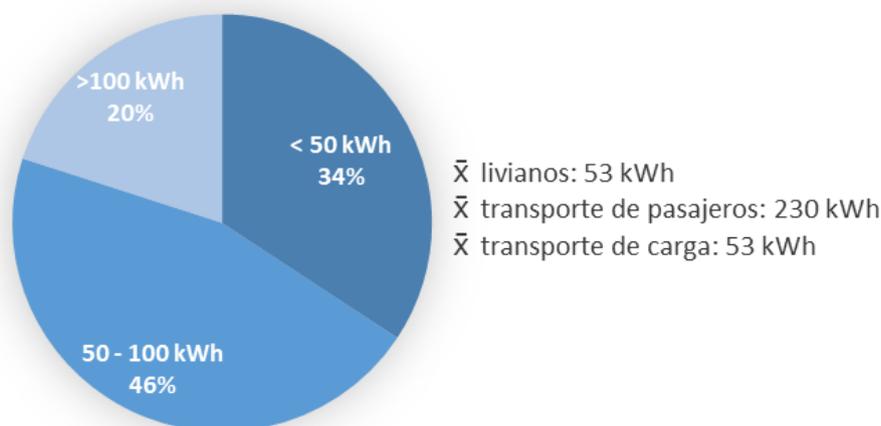


Figura 5. Capacidad de almacenamiento de energía de baterías en vehículos eléctricos por modelos presentes en el mercado nacional.

Por otro lado, vehículos híbridos enchufables como no enchufables, poseen baterías con menores capacidades de almacenamiento de energía, esto se debe a que están conectadas a un sistema adicional de combustión, por lo tanto, la autonomía en el modo eléctrico es menor. Una disminución sustancial presenta los vehículos híbridos no enchufables, que poseen un promedio de 1,2 kWh de capacidad de almacenamiento en las baterías, como se explicó anteriormente, estas solo se cargan con el sistema de combustión, por lo tanto, su autonomía de recorrido en el modo eléctrico es mucho menor utilizando el motor de combustión por periodos más largos.

En este estudio, se han dejado de lado los vehículos denominados microhíbridos, ya que no se consideran parte de la flota de electromovilidad debido a que sus baterías presentan capacidades de almacenamiento muy bajas

¹² Johnson Matthey Battery Systems

¹³ 1 Coulomb = 1 A por Segundo.

¹⁴ <http://administracionytransportes.cl/2020/05/16/king-long-xmq-6127-red-santiago>

que solo apoyan el sistema eléctrico del vehículo. La diferencia con los vehículos híbridos es que el vehículo microhíbrido no puede moverse de forma autónoma con el motor eléctrico y necesita en todo momento que el motor de combustión interna intervenga. Cabe destacar, que la tecnología que utilizan estos vehículos como sistema de almacenamiento, también son baterías de ion litio y deben estudiarse de manera paralela a lo que pasará con las baterías de respaldo de los vehículos convencionales de combustión interna. En el Anexo II.I, se puede apreciar un vehículo Peugeot 308 micro híbrido, posee un sistema de batería que se reduce a un solo dispositivo de 12 V y 70 Ah.

La Figura 6 muestra la diferencia de la capacidad de almacenamiento de energía de las baterías para vehículos híbridos enchufables y no enchufables.

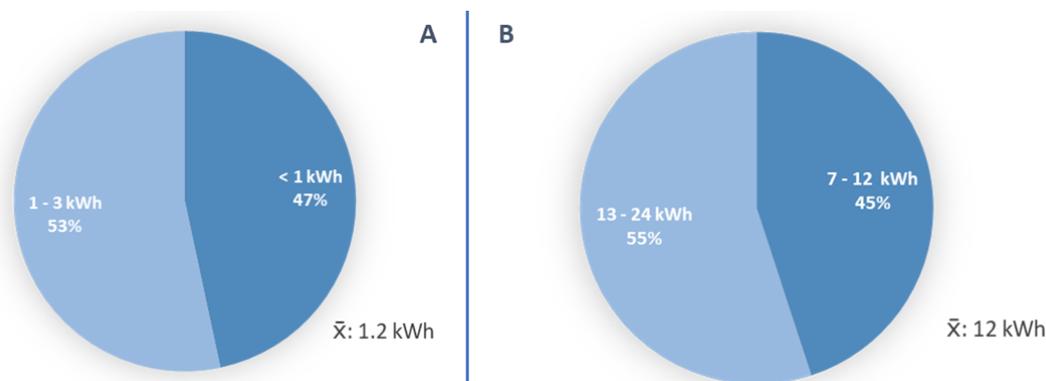


Figura 6. Capacidad de almacenamiento de energía de baterías en vehículos híbridos no enchufables (A) y enchufables (B)

1.2 Proyecciones de las tecnologías en electromovilidad

Durante los próximos años se espera que la principal tecnología utilizada en electromovilidad sean las baterías de ion litio. Sin embargo, existen desarrollos en esta área que proyectan la utilización de otras tecnologías para mejorar los ciclos de vida, degradación de las baterías y la autonomía de los autos eléctricos. Bajo este contexto, las baterías de estado sólido han atraído bastante atención principalmente por su mayores densidades energéticas y ciclos de vida largos. Las baterías de estado sólido básicamente funcionan con el mismo principio de una de iones de litio, sin embargo, como se ha descrito, las baterías de ion litio convencionales poseen un electrolito que se encuentra en estado líquido. En el caso de esta nueva generación de baterías, el electrolito será sólido, permitiendo utilizar un ánodo de metal alcalino que aumenta la densidad de energía de la batería, en otras palabras, aumenta la cantidad de energía por gramo de material disminuyendo así el tamaño de los dispositivos. Además, previene la formación de dendritas, las cuales crecen en el ánodo de las baterías de litio convencionales, por la reacción del electrolito líquido orgánico con el litio provocando cortocircuitos y posibles accidentes incendiarios. El cátodo por su parte, continuarán utilizándose óxidos mixtos a base de Li (LiCoO_2 , Níquel-Cobalto-Aluminio) y fosfatos (LiFePO_4). Todo lo anterior, permite que contenga tres veces más energía que una batería convencional, tener más ciclos de carga, admitir carga rápida y que no sean propensas a incendiarse. Toyota ha informado que se encuentran trabajando en dicha tecnología, pero mantienen en secreto que sólido investigan¹⁵.

Finalmente, hay que mencionar que existen algunas alternativas de Retrofit en Chile, es decir, el reacondicionamiento de vehículos a gasolina o diésel en tecnologías eléctricas. Las baterías utilizadas para esta conversión son de acuerdo con la demanda de energía del auto, sin embargo, se repiten tecnologías en torno a litio (fosfato de hierro litio) ya que entregan mayores potencias y autonomía. A pesar del gran impacto positivo que lleva la conversión de autos, no ha sido una ruta muy explorada principalmente por las altas regulaciones técnicas en torno a la mecánica del auto y el costo de la reconversión. Además, las certificaciones mediante revisión técnica actualmente prohíben este tipo de conversiones. En entrevista con el departamento 3CV, se indica que se espera que, durante los próximos años, se avance con actualizar la normativa y entregar una alternativa a la compra de vehículos eléctricos nuevos con la reconversión de vehículos diésel a eléctricos

¹⁵ M. H. Braga, N. S. Grundish, A. J. Murchison and J. B. Goodenough, Energy and Environmental Science, Alternative strategy for a safe rechargeable battery, 2017

2 Análisis técnico de métodos y aplicaciones de segundo uso de baterías de electromovilidad y de procesos de reciclaje

Uno de los objetivos para garantizar que el sector de las baterías de electromovilidad se constituya en el futuro como un ejemplo de sostenibilidad, es el desarrollo del segundo uso y reciclaje de las baterías fuera de uso (BFU). Según un estudio de Greenpeace¹⁶, a nivel mundial casi 13 millones de toneladas de baterías provenientes de autos eléctricos llegarán al final de su vida útil entre 2021 y 2030.

Lo anterior indica un enorme impacto ambiental como consecuencia de la cantidad de materiales desechados y la enorme demanda de materiales vírgenes que se deberán extraer para suplir la demanda proyectada de baterías. Según las descripciones de los fabricantes y la literatura existente, una vez que las baterías para vehículos eléctricos alcanzan una máxima carga que representa el 70-80% de la capacidad nominal, se considera que su función como baterías de primera vida para vehículos eléctricos ha llegado al final, la razón principal es que este tipo de baterías reducirán el kilometraje de recorrido y la velocidad de los vehículos.

El porcentaje de capacidad residual representa el SOH (State of Health) de la batería. Se estima que esta degradación ocurre después de 5-8 años de uso o equivalente a 160 mil km de viaje. Sin embargo, las baterías de vehículos eléctricos retiradas, incluso con un SOH más bajo, podrían reutilizarse en otras aplicaciones, como por ejemplo estaciones de respaldo residenciales¹⁷.

Desde el punto de vista de la economía circular, la jerarquía en el manejo de residuos resulta relevante para establecer los siguientes aspectos:

- Prevención de la generación del residuo, apuntando al buen cuidado de la batería durante su vida útil y mantención.
- Reuso de la batería según alternativas viables a nivel técnico, económico y regulatorio. Como por ejemplo a nivel internacional se usan en otros vehículos o como fuente de almacenamiento energético en hogares.
- Valorización de las partes y materiales que conforman una batería, como por ejemplo minerales que son recuperables.
- Eliminación de material residual que bajo las tecnologías actuales no posee alternativas de valorización. Por ejemplo, el electrolito orgánico.

La Figura 7 resume de manera general, como abordar el tratamiento de las baterías fuera de uso¹⁸. El proceso se inicia con la minería extractiva de los materiales activos y su refinamiento para la producción de electrodos. Luego, estos electrodos son utilizados en la manufactura de baterías para ser usadas en electromovilidad. Una vez que las baterías alcanzan su máximo de vida útil, o bien, son reemplazadas en una actualización del vehículo, pueden ser tratadas de dos formas:

- 1) Segundo uso en otras aplicaciones de almacenamiento o
- 2) Reciclajes de sus componentes.

Estas dos alternativas dependerán principalmente del estado en que se encuentran las baterías. En el caso del reciclaje, los materiales recuperados pueden volver a ser insertados en el refinamiento de los materiales, en la producción de electrodos o en la manufactura de baterías, aportando así en la economía circular de la industria de la electromovilidad, y en el peor de los casos, las baterías deben ser desechadas con alguna empresa autorizada.

¹⁶ <https://www.greenpeace.org/eastasia/press/6175/greenpeace-report-troubleshoots-chinas-electric-vehicles-boom-highlights-critical-supply-risks-for-lithium-ion-batteries/>

¹⁷ M. Hussein y col, Alexandria Engineering Journal (2021) 60, 4517–4536).

¹⁸ <https://cicenergigune.com/es/blog/reciclaje-baterias-industria-europa>.

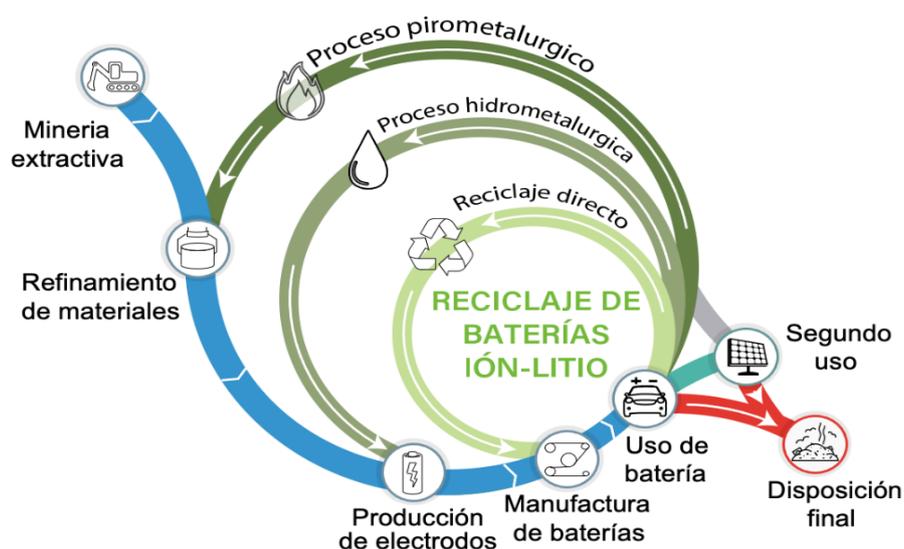


Figura 7. Esquema general del proceso de reciclaje de las baterías de electromovilidad. Adaptado desde publicación de CiC Energigune (España)

En marco de la Ley de responsabilidad extendida del productor (Ley REP), en los próximos años debiesen integrarse las pilas de uso doméstico y baterías en este proceso regulatorio. Las baterías en general se consideran residuos peligrosos debido a sus propiedades explosivas y corrosivas y, en ocasiones, a su contenido de sustancias químicas tóxicas, como por ejemplo el cadmio en el caso de las baterías de níquel-cadmio, que cada vez se utilizan menos. A nivel general existen tres formas para el manejo de las baterías fuera de uso:

- **Baterías de segunda vida:** reacondicionamiento de las baterías de autos eléctricos como alternativa de almacenamiento de energía para otras aplicaciones, p. ej. Almacenamiento estacionario, micromovilidad, estaciones de carga de autos eléctricos, etc.
- **Reciclaje:** proceso físico, químico o mecánico que permite separar los principales materiales presentes en una batería. Esta alternativa, permite recuperar materiales valiosos que pueden ser reutilizados y/o reciclados, promoviendo la economía circular.
- **Disposición final:** las baterías fuera de uso que no son valorizadas, es decir, ni recicladas ni utilizadas como de segundo uso, son llevadas a relleno de seguridad.
- **Exportación:** Posible exportación de baterías para su reciclaje o uso de segunda vida fuera del país. Para ello se debe evaluar el marco legal que rige a las baterías actualmente.

2.1 Aplicación de BFU proveniente de electromovilidad, como batería de segunda vida

La principal alternativa para extender la vida útil de las BFU provenientes de la industria de la electromovilidad es la reutilización de estos dispositivos entregándoles una segunda vida, para ser utilizadas en esta área, las baterías deben pasar por diferentes etapas y procesos. Estos dependen del nivel de desmantelamiento del módulo del auto y se recomienda que la batería esté totalmente descargada para una manipulación segura.

Algunos estudios han evaluado que el costo de las baterías de segunda vida podría ser la mitad del precio de las baterías nuevas (132 USD por kWh¹⁹) y proporcionar potencialmente importantes oportunidades financieras para particulares y empresas que, en definitiva, ayudarán a reducir su costo en los vehículos eléctricos. Adicionalmente, podrían crearse nuevas empresas que se encarguen del proceso de reacondicionamiento de las baterías desechadas²⁰. En este sentido, el mercado de las baterías en aplicaciones estacionarias también podría beneficiarse de soluciones más baratas para su almacenamiento electroquímico de energía. Con la reutilización de baterías fuera de uso, se podría cubrir este segmento aportando en el desarrollo de alternativas sustentables en el almacenamiento de energía.

El uso de baterías de segunda vida tiene un impacto positivo desde el punto de vista medioambiental, evitando la generación de residuos y ampliando el ciclo de vida de la batería. Además, la menor demanda de nuevas baterías

¹⁹ https://www.greencarreports.com/news/1134307_report-ev-battery-costs-might-rise-in-2022

²⁰ J. Dulout and L. F. L. Villa, "Working towards greener golf carts – A study on the second life of lead-acid batteries," 2019 Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 2019, pp. 1-5,).

reducirá la necesidad de materias primas, el proceso de extracción de materiales perjudiciales para el medio ambiente, el agua para la extracción, las emisiones de CO₂ y la electricidad para la fabricación de las celdas. En cuanto a la implementación, las normas y la automatización acelerarán su industrialización, lo que contribuirá positivamente en términos de seguridad y costos.

Uno de los problemas encontrados es que las baterías se presentan en diferentes formas, junto con diferentes voltajes y químicas. Esto supone un desafío para el proceso de reacondicionamiento y puede requerir una mayor evaluación. Por tanto, puede aumentar los costos del reacondicionamiento, debido a la incorporación de un proceso extra que permita estandarizar su uso como baterías de segunda vida. Además de eso, el desafío crítico es extender el ciclo de vida de estas baterías en 5-10 años más de los 8-10 años de las baterías de primera vida, logrando entregar una vida útil total de hasta 20 años a estos dispositivos. En ese sentido, un aliado es la medición precisa del estado de carga y deterioro, ya que los modelos predictivos avanzados pueden dar información precisa sobre la vida útil restante de las celdas para una aplicación de baterías de segundo uso. Dentro de las aplicaciones más importantes para las baterías de segundo uso se encuentran:

- I. **Aplicaciones Off-Grid:** son aquellos sistemas donde no existe una red eléctrica de energía debido a estar en un lugar remoto o lejos de grandes urbes. A través de un punto de generación, p. ej. paneles solares, se almacenan los excedentes en baterías, cuya energía pueden ser utilizada en horas donde el panel solar no está en funcionamiento (durante la noche). Esta aplicación generalmente se usa en sectores rurales.
- II. **Aplicaciones On-Grid:** en este sistema se utilizan tanto baterías como la red eléctrica. Las baterías son el núcleo central del sistema y el punto de generación de energía, p.ej. paneles solares, transfieren la energía a estos dispositivos, que, a su vez, mediante un inversor de corriente permite conectar con la red eléctrica y con un sistema secundario para abastecer los equipos básicos de una vivienda. Con esto, ante cualquier desabastecimiento de energía de la red, el usuario cuenta con un sistema de baterías de respaldo. Esta aplicación generalmente se usa en sectores residenciales.
- III. **Aplicaciones en electromovilidad:** las baterías de segundo uso también se pueden utilizar para la construcción de estaciones de carga. Existen proyectos donde se reutilizan baterías de segunda vida para no sobrecargar la capacidad de la red eléctrica durante los largos ciclos de carga de autobuses eléctricos y/o vehículos menores. Durante el día, se aprovecha la red eléctrica para cargar las baterías y durante la noche se utilizan las baterías para cargar los vehículos eléctricos. Con esto el empalme no estaría en su máxima capacidad, descongestionando la red y logrando cargar la totalidad de la flota que podría estar en el terminal de carga. En entrevistas con Metbus, actualmente las estaciones no cargan la totalidad de la potencia de la flota debido a que podría superar su capacidad máxima del empalme o la potencia contratada en el empalme. Es por esto, que existen turnos para la carga de los buses. Una estación de baterías de respaldo lograría descongestionar la estación y además podría usarse durante horas punta del sistema eléctrico nacional²¹, disminuyendo el costo de la electricidad durante este horario. Además, existe la posibilidad que se utilicen módulos que no alcanzaron su 80% de estado de carga y que han tenido que ser cambiados debido a una actualización del vehículo por un aumento en la autonomía o por necesidades del mercado, en la fabricación de nuevos automóviles eléctricos. Actualmente, esta aplicación está directamente ligada a la marca del vehículo.
- IV. **Micromovilidad:** una interesante aplicación de las baterías de segunda vida es la micromovilidad. Un aporte a la descongestión de las grandes ciudades es el uso de bicicletas y scooters eléctricos. Sin embargo, aún el costo de estos vehículos es alto y una opción es convertir las bicicletas y scooters convencionales en eléctricos. Para este propósito, se podrían utilizar las celdas prismáticas individuales que constituyen los módulos, que por lo general tienen un voltaje nominal de 3,7 V. Un BMW i3 por ejemplo, posee 8 módulos de baterías, que cada una contiene 12 celdas prismáticas. En total, se cuentan con 96 potenciales celdas para electrificar bicicletas y/o scooters.

2.2 Valorización de baterías de electromovilidad en Chile y el mundo

2.2.1 Presencia de tecnologías para valorización de BFU de electromovilidad en Chile

Actualmente en Chile existen una empresa y una Startup que se dedican al reciclaje de baterías de ion litio, principal tecnología utilizada en los vehículos eléctricos. Debido a que la electromovilidad es muy reciente, no existen empresas dedicadas a esta área en particular. A continuación, se detallan las empresas dedicadas al reciclaje de baterías de ion litio:

²¹ Establecida en el decreto señalado en el artículo 151° del Decreto con Fuerza de Ley N° 4/20.018, de 2006, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que fija texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto con Fuerza de Ley N° 1, de Minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos, en materia de energía eléctrica.

- a) **Ecominería**²²: Empresa nacional ubicada en Santiago dedicada al reciclaje de baterías de ion litio presentes, principalmente, en dispositivos electrónicos (laptop, teléfonos móviles, Tablet, etc.). El proceso consta de una etapa inicial de clasificación de las baterías para luego congelarlas con la finalidad de disminuir el estado de carga y evitar posibles incendios por alto voltaje. Luego las baterías pasan por una trituradora y un proceso de lixiviación, que permite extraer de forma selectiva el cobalto y el cobre presente en los dispositivos. Si bien solo procesan baterías de dispositivos móviles, será inevitable la transición hacia el reciclaje de módulos de baterías de ion litio fuera de uso de electromovilidad, entregándoles un potencial importante en esta área. Actualmente poseen una capacidad de 10 toneladas mensuales de procesamiento, sin embargo, la oferta de baterías no alcanza las 3 toneladas mensuales.
- b) **Relitia**²³: Startup de base científico-tecnológica de la región de Valparaíso. Se dedican a la valorización de baterías de ion litio proveniente de dispositivos electrónicos. Su proceso es del tipo hidrometalúrgico y permite separar el plástico y aluminio de la carcasa, el cobre del ánodo, el grafito, el separador polimérico y los compuestos de litio presentes en el cátodo. La principal característica de esta Startup es que proyectan utilizar los materiales recuperados en la fabricación de nuevas baterías enfocadas en micromovilidad. Durante este tiempo han estado tratando de escalar el proceso y buscando recursos para lograr este objetivo, por lo tanto, su capacidad de procesamiento es muy baja.

De lo anterior, se concluye que existe una brecha a nivel de tecnologías y en consecuencia de capacidad instalada para el reciclaje de baterías de ion litio en Chile. A pesar de que los dispositivos electrónicos utilizan esta tecnología, los procesos de reciclaje no han sido explorados a grandes escalas, afectando directamente en la acumulación de estos residuos en rellenos sanitarios o en lugares no autorizados.

Respecto de empresas autorizadas que manejan baterías fuera de uso, está la empresa Hidronor, que está a cargo del relleno de seguridad, por ejemplo, inertizar las pilas domiciliarias y las baterías de plomo ácido provenientes de vehículos convencionales, son tratados por la empresa **Recimat**²⁴, la cual está ubicada en Calama y realizan el tratamiento de las baterías recuperando el plástico y el plomo, además, neutralizan de manera segura el ácido presente en la batería. Esta empresa, no poseen capacidad para el tratamiento de baterías de ion litio o Ni-MH, por lo tanto, a futuro no podría considerarse como una planta que pueda reciclar baterías de electromovilidad.

Por último, hay que mencionar que también es posible un modelo de negocio que incluya la exportación de las BFU de electromovilidad a países donde la tecnología se encuentre madura. Sin embargo, en este estudio no fue posible identificar presencia de esta opción en Chile, por lo tanto, no se abordaron en detalle estos antecedentes.

2.2.2 Procesos de reciclaje de BFU de electromovilidad a nivel internacional

A pesar de que en Chile no existen los procesos de reciclaje en específico para baterías de electromovilidad, se ha realizado una búsqueda complementaria de los tipos de procesos que existen a nivel mundial para este propósito. Harper y col (Nature, Vol 575, 7 November 2019), publicaron una revisión sobre el reciclaje de baterías de autos eléctricos. Dentro de los procesos más destacados a nivel técnico, se encuentran la pirometalurgia, hidrometalurgia y reciclaje directo:

- a) **Pirometalurgia**: Esta técnica se basa en el tratamiento a altas temperaturas (alrededor de 1500 °C) para fundir las baterías y quemar, con ello, todos los compuestos a base de carbono. De esta manera, los metales valiosos incluidos en la batería terminan en una aleación resultante (que, según la composición de la batería, puede ser más o menos rica en cobalto, níquel o manganeso), que pueden ser recuperados, posteriormente, de forma individual a través de su disolución mediante procesos hidrometalúrgicos. Además, esta alternativa reduce las fases de manipulación y pretratamiento previas de las baterías usadas. Esto, unido a la facilidad para controlar durante el proceso el riesgo de fuego y explosión, hacen de esta vía una de las opciones más seguras para su puesta en marcha. Sin embargo, el propio hecho de que se emplee el calor como base del proceso supone la mayor desventaja de estas soluciones. Y es que, debido a ello, se hace muy difícil recuperar muchos de los componentes de la batería, como el electrolito, el grafito, el acero, el aluminio o el litio, al perderse todos ellos en forma de escoria u gas de desecho. Además, la recuperación individual de otros componentes como los metales existentes puede depender del uso de técnicas de hidrometalurgia, lo que en muchas ocasiones puede suponer que se opte solo por esta vía en su ciclo completo. Más aún, teniendo en cuenta, que la ruta hidrometalúrgica presenta un menor impacto atmosférico que la pirometalúrgica, ya que en este último caso existe un alto

²² No posee página web.

²³ <https://relitia.cl>

²⁴ <https://recimat.cl>

volumen de emisiones atmosféricas precisamente por el empleo de altas temperaturas como eje del proceso.

- b) **Hidrometalurgia:** esta ruta es considerada la mejor opción de escalamiento y con mejores perspectivas a futuro para el reciclaje de baterías de ion litio. Las técnicas hidrometalúrgicas juegan con la solubilidad en ácido de los elementos presentes en los materiales activos (orgánicos o inorgánicos) para llevar a cabo la recuperación de dichos materiales por disolución. Se trata de un proceso con varias etapas, entre las que destacan el pretratamiento (con el que garantizar la segura manipulación de las baterías) la lixiviación, con la que se logra la recuperación de los materiales activos; la purificación, que permite la eliminación de sustancias acompañantes que limiten la calidad necesaria del producto buscado; y finalmente la obtención de los precursores de material activo para fabricar nuevas baterías. La gran ventaja de esta técnica es la alta recuperación de numerosos componentes que permite rescatar, incluso, el grafito del ánodo. Además, todo ello con una calidad suficiente para poder ser reutilizados de nuevo por la industria de las baterías fomentando la economía circular. Además, el hecho de que no produzca emisiones de gases tóxicos durante su puesta en marcha, la convierten en una de las opciones más atractivas para el desarrollo de la industria.
- c) **Reciclaje directo:** el fundamento de este proceso busca reciclar la batería dejando intacta la estructura cristalina del material activo del cátodo. Así, a través del reciclaje directo se pretende restaurar las propiedades iniciales y la capacidad electroquímica de los materiales catódicos sin descomponerse en elementos sustitutos, que pueden reutilizarse directamente para la fabricación de nuevas baterías. Para ello, se están analizando diferentes procesos mecánicos, térmicos, químicos y electroquímicos que permitan lograr “revivir” la batería durante el proceso de reciclaje.

De estos tres procesos descritos, los principales elementos que pueden ser valorizados en la misma industria de las baterías para la manufactura de nuevos dispositivos o en otro tipo de manufactura (por ejemplo, en la minería del cobalto o del cobre) son:

- Cobalto
- Níquel
- Cobre
- Grafito

Con la finalidad de visualizar el contenido de los diferentes elementos presentes en una batería, la Tabla 2 muestra la composición porcentual en diferentes tecnologías utilizadas en el mercado de los vehículos eléctricos.

Teniendo en cuenta que el peso de las baterías viene dado por la capacidad de almacenamiento, los modelos de vehículos livianos con packs de baterías entre los 6 y 12,5 kWh rondan los 100 a 150 kg. Mientras que aquellos vehículos con capacidades entre 60 a 100 kWh tienen un peso de baterías de 380 a 550 kg. Para el caso de vehículos de transporte de pasajeros, las baterías podrían llegar a pesar hasta los 1000 kg considerando una capacidad de 200 kWh. Considerando este escenario, la tasa de recuperación de cobalto por vehículo liviano, considerando solo baterías NMC (111), iría entre los 20 – 110 kg de cobalto y hasta 200 kg de cobalto por vehículos de transporte de pasajeros. Es importante destacar, que esta tasa de recuperación es variable, tomando en cuenta que las tecnologías de las baterías en los distintos modelos de vehículos no son homogéneas.

Tabla 2: Composición porcentual de los principales elementos que pueden ser revalorizados para diferentes tecnologías de batería de ion litio.²⁵

Elemento	NMC (111)	NMC (622)	NMC (811)	LCO	NCA	LMO	LFP
Cobalto	20,21 %	12,07 %	6,02 %	60,21 %	9,20 %	-	-
Níquel	20,12 %	36,07 %	74,93 %	-	48,87 %	-	-
Cobre	16,4 %	16,8 %	15,7 %	16,1 %	16,9 %	15,7 %	14,5 %
Grafito	19,0 %	20,7 %	20,6 %	18,5 %	22,0 %	13,8 %	16,6 %

NMC: Níquel-Manganes-Cobalto; LCO: Óxido de cobalto litio; NCA: Níquel-Cobalto-Aluminio; LMO: Óxido de manganeso litio; LFP: Fosfato de hierro litio.

²⁵ Fuente: Gaines, L., Richa, K. & Spangenberg, J. Key issues for Li-ion battery recycling. MRS Energy & Sustainability 5, 12 (2018). <https://doi.org/10.1557/mre.2018.13>

2.3 Comparación entre alternativas de tratamiento y reutilización de baterías de electromovilidad y pretratamiento

	Reciclaje de baterías	Baterías de segunda vida
Alternativas	<p>Alternativas existentes conforme tecnologías disponibles en las empresas identificadas a nivel nacional:</p> <ol style="list-style-type: none"> Recuperación y reutilización de metales. Extracción de cobalto y cobre mediante tratamiento de baterías de dispositivos electrónicos. Recuperación de materiales y metales para uso en micromovilidad. Reciclaje directo para restaurar la capacidad electroquímica y volver a usarla en la fabricación de una nueva batería. 	<ol style="list-style-type: none"> Aplicaciones Off-Grid como almacenamiento de energía donde no existe red eléctrica. Aplicaciones On-Grid híbridas, como fuente de almacenamiento en sistemas híbridos con la red eléctrica. Aplicaciones en electromovilidad: usando baterías para construcción de estaciones de carga o para abastecimiento durante la noche. Micromovilidad, empleando celdas prismáticas individuales en vehículos como scooters.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Permite recuperar materiales valiosos Permite hacerse cargo de volúmenes importantes Permite obtener materiales con grado baterías para una nueva línea de procesos Para el reciclaje directo: <ul style="list-style-type: none"> Bajo costo energético Se puede reciclar cualquier tipo de batería Se pueden reciclar otros desechos de fabricación (Plásticos, metales, carcasa, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Extensión de la vida útil en 5-10 años de las baterías fuera de uso Son menos costosas Permite su aplicación en sistemas de energías renovables (solar, eólica, etc.) y micromovilidad. Promueve el “Zero waste” Se alinea con los principios de la economía circular.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> Procesos no escalados en Chile. En el caso de la pirometalurgia, emite gases tóxicos En el caso de la hidrometalurgia, se generan aguas residuales Necesitan pretratamientos Procesos caros de escalar Para reciclaje directo: <ul style="list-style-type: none"> Baja calidad de los subproductos Necesita un pretratamiento mecánico No se ha verificado a nivel industrial 	<ul style="list-style-type: none"> Alta variabilidad de tecnologías Restricciones técnicas con respecto a baterías nuevas Su reacondicionamiento requiere capacidades técnicas adicionales Los clientes esperan que estas baterías tengan el mismo desempeño que unas nuevas

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO NACIONAL DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD Y PROYECCIÓN DE IMPORTACIONES

3 Caracterización del mercado nacional de baterías de electromovilidad

La caracterización del mercado nacional de baterías de electromovilidad consiste en un estudio que incluye baterías utilizadas en flotas eléctricas de transporte público, vehículos livianos de electromovilidad, baterías para uso en respaldo eléctrico y otros.

3.1 Descripción del tamaño del mercado nacional, su proyección en volumen de venta y tasa de crecimiento anual proyectada

3.1.1 Antecedentes de mercado de Vehículos eléctricos

Las políticas públicas de los últimos años han permitido el crecimiento del mercado de vehículos eléctricos al hacerlos atractivos para los clientes disminuyendo sus riesgos y alentando a los productores a desarrollarlos a gran escala.

Es probable, según Grand View Research²⁶, que Europa observe un crecimiento notable debido al aumento de la producción de vehículos eléctricos. Europa ha sido uno de los principales productores de automóviles históricamente. La presencia de productores automotrices clave, como Audi, BMW, Volvo, Jaguar, Fiat, Volkswagen, Aston Martin, Ferrari, Mercedes Benz, Porsche y Lamborghini, en la región, supone según el mismo estudio, un impulso en el crecimiento de la industria automotriz europea, lo que, a su vez, impactará positivamente la demanda de baterías. Sin embargo, el mercado mundial actualmente está liderado por Tesla con el 17% de las ventas (82% de las cuales correspondieron al Tesla Model 3, el auto eléctrico más vendido a nivel mundial), seguido de BYD con un 10%. El resto está altamente disgregado entre varias empresas, gran parte de ellas de procedencia china.

Durante 2018 y 2019, a fin de entrar de lleno en el mercado de autos eléctricos, prácticamente todos los fabricantes automotrices de Asia y Occidente anunciaron que contarían con al menos un modelo de automóvil eléctrico, sea híbrido o completo, entre los años 2020 y 2025. Sin ir más lejos, las dos mayores empresas, Volkswagen Group y Toyota Motor, comprometieron inversiones multimillonarias en Investigación y Desarrollo en sistemas eléctricos automotrices, acordaron contratos de compra de baterías con fabricantes asiáticos, así como nuevos modelos de conexión eléctrica a salir al mercado dentro de los próximos cinco años (Roskill, 2019).

El mercado mundial actualmente está liderado por Tesla con el 17% de las ventas (82% de las cuales correspondieron al Tesla Model 3, el auto eléctrico más vendido a nivel mundial), seguido de BYD con un 10%. El resto está altamente disgregado entre varias empresas, gran parte de ellas de procedencia china.

A nivel nacional, de acuerdo con cifras entregadas por ANAC A.G. en octubre de 2021 se comercializaron 238 unidades de vehículos livianos y medianos de cero y bajas emisiones en los que se consideran: Híbrido a gasolina enchufable (PHEV), 100% eléctricos (VE) e Híbrido gasolina (HEV) con 41, 50 Y 147 comercializaciones respectivamente. Lo que representa un crecimiento acumulado de 257% para los PHEV, 382% para los VE y 216% para los HEV, respecto al periodo enero-octubre 2020. Así, este segmento suma 2081 nuevas comercializaciones en 10 meses de 2021, con un crecimiento de 242%, al compararlo con el mismo periodo (enero-octubre) del año pasado.

En cuanto al mercado de buses eléctricos, éstos acumulan 46 unidades nuevas vendidas entre enero y octubre de 2021, según cifras de ANAC A.G. Lo que se traduce en una disminución de 87,5% respecto del mismo periodo de 2020. Las ventas acumuladas alcanzan la cifra de 776 buses, según datos de AVEC. Un 48% de las ventas de buses acumuladas al año corresponde a RED (Red Metropolitana de Movilidad) y 86% pertenece a la marca BYD, 9% a ZHONGTONG y 5% a HIGER.

Por su lado, el mercado de camiones registró la comercialización de 5 unidades en el mes de octubre de 2021, con esto presentan una cifra acumulada de 17 camiones vendidos en el periodo enero-octubre 2021. JMC lidera las ventas con 88%, mientras que BYD y JAC registran 6% cada uno.

²⁶ <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/battery-market>

Con el fin de comprender el desarrollo y evolución de las ventas de vehículos eléctricos VE, es importante compararlo con la evolución de las ventas de vehículos convencionales de combustión interna. En el gráfico de la Figura 8 se observa la participación de los vehículos VE en el mercado automotriz chileno.

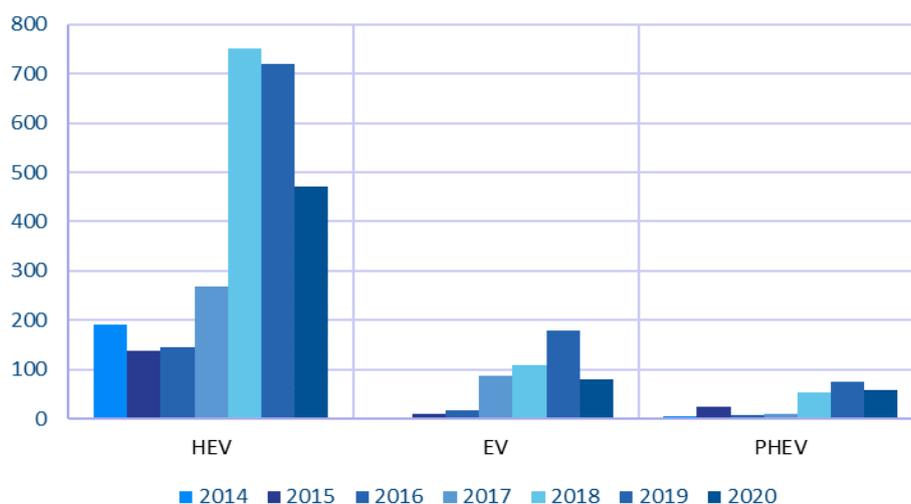


Figura 8. Parque vehicular autos eléctricos en Chile 2014 - 2020

Es posible observar, mediante el análisis del gráfico anterior que en el período 2012-2021, la participación de los vehículos eléctricos ha aumentado sostenidamente con la excepción del periodo 2015-2016 y 2019-2020, donde se presentaron disminuciones. Sin embargo, cabe destacar que tanto las ventas de vehículos convencionales como eléctricos registraron decrecimiento atribuible a la menor necesidad de movilización y por lo tanto adquisición de nuevos vehículos por las restricciones de movilidad consecuencia de la pandemia por COVID-19.

No obstante, el panorama vuelve a ser auspicioso para las ventas de vehículos de bajas y cero emisiones con la recuperación del mercado en 2021.

Tabla 3. Tasa de crecimiento anual compuesta desde 2014 a 2021.

Año	HEV	EV	PHEV
2014	192	3	6
2015	137	10	23
2016	144	18	7
2017	268	88	9
2018	752	109	54
2019	719	178	74
2020	471	80	58
2021	1488	386	207
TCAC	0,34	1,00	0,66
TCAC %	33,98	100,15	65,84

En la Tabla 3 se puede observar la tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) desde 2014 a octubre de 2021. Según el análisis realizado a las cifras presentadas en la tabla anterior, es posible concluir que las ventas de vehículos HEV, VE Y PHEV se están recuperando auspiciosamente ya que han registrado fuertes alzas respecto de 2020 que incluso han llegado a duplicar las ventas de las mismas categorías respecto de 2019. Es importante destacar que los VE han presentado una tasa de crecimiento compuesta levemente superior al 100% desde 2014.

Cabe mencionar que los vehículos adquiridos en 2014 cumplirán en 2021-2022 con la vida útil de sus baterías, que en promedio corresponde a 8 años, por lo que la necesidad de políticas respecto a su reutilización (segunda vida) o reciclaje se tornan cada año más importantes.

Además, ANAC proyecta un aumento en las ventas de vehículos livianos eléctricos y de buses eléctricos de 1.900% y 600%, respectivamente para el año 2030 (en base a 2019), lo que se traduce en 14.000 nuevos

vehículos livianos eléctricos y 2.300 buses eléctricos, lo que afecta de forma directa el aumento de baterías de desuso proyectadas.

En Chile, según cifras de ANAC en su informe de vehículos de cero y bajas emisiones de octubre de 2021, existen registros de autos eléctricos desde 2005, ésta cifra corresponde a HEV o vehículos eléctricos híbridos, sin embargo, los autos VE (100% eléctricos) ingresaron al mercado el 2011 con 6 unidades y PHEV (eléctricos enchufables) lo hicieron recién en 2014, también con 6 ejemplares. Al 2020 se sumaron 471, 80 y 58, respectivamente y el acumulado a octubre de 2021 es de 1.488, 386 y 207 en el mismo orden. Lo que representa un salto incremental de 12,2% en el caso de los híbridos gasolina, 900% de los eléctricos y 127,8% para los híbridos gasolina enchufables, comparando octubre 2020 con octubre 2021.

En los Anexos III, IV y V se adjunta información complementaria.

3.1.2 Mercado de electromovilidad por tipo de vehículo

3.1.2.1 Importaciones históricas de LiBs

Históricamente se han importado LiBs en Chile para diferentes usos, principalmente como repuesto en productos electrónicos de consumo y como baterías estacionarias. Sin embargo, no existe un mercado interno de importación de baterías para vehículos eléctricos.

En la siguiente tabla se describe la evolución de importaciones de LiBs a nivel nacional en miles de dólares y unidades²⁷. En ella se observa que el mercado ha crecido sostenidamente, con una baja en el 2020, atribuible a la situación sanitaria mundial.

Tabla 4. Evolución de importaciones de LiBs a nivel nacional en miles de dólares y unidades.

Año	Importaciones CIF en dólares	Cantidades importadas	Exportaciones
2012	1.250.306,70	54.701	5.152,60
2013	3.251.047,10	278.868	32.487,80
2014	8.386.335,80	443.289	62.901,80
2015	7.197.492,80	967.888	145.220,70
2016	9.182.576,60	1.626.756	99.139,70
2017	14.790.519,50	1.506.960	168.181,70
2018	17.796.108,20	2.298.404	358.428,50
2019	32.105.344,20	2.172.893	689.667,10
2020	22.198.095,20	2.984.138	628.469,60

Dado que las baterías aquí descritas no están asociadas únicamente a la electromovilidad, se ha considerado que la proyección de esta variable por sí sola no sería capaz de describir el comportamiento futuro del mercado. Ante esto, se ha determinado utilizar la proyección del parque vehicular como antecedente para determinar el número futuro de LiBs a ser importada.

3.1.2.2 Vehículos particulares

El parque automotriz de vehículos livianos y medianos particulares representa el 88% de los permisos de circulación que se han obtenido en el 2020, tendencia que se ha mantenido de forma similar durante los últimos 5 años.

Para realizar una posterior proyección de vehículos eléctricos se han dejado fuera de este análisis las motocicletas, vehículos sin motor y otros vehículos sin clasificar.

Tabla 5. Comportamiento histórico del parque automotriz de vehículos eléctricos y total.

Año	2016	2017	2018	2019	2020
Vehículos eléctricos particulares	182	393	562	1.143	1.147
Total del parque	4.429.119	4.648.935	4.749.426	4.952.181	4.864.171

²⁷ <https://www.aduana.cl/importaciones-por-codigo-arancelario/aduana/2018-12-14/094441.html>

De la Tabla 5 se desprende que al año 2020, sólo alrededor de un 0,023% del parque vehicular chileno correspondía a autos eléctricos.

3.1.2.3 Taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros

Los taxis, taxis colectivos y taxis de turismo se han comportado históricamente de forma irregular. Esto se explica porque el mercado se ha visto afectado por diversos cambios desde regulaciones e incentivos a cambios de tecnologías a la irrupción de plataformas de transporte alternativas como Uber, Cabify, entre otras, que han influenciado en la poca consistencia del desarrollo del parque anualmente. A esto se le suma el efecto de la pandemia en la demanda de transporte público durante el 2020. La Tabla 6 expone el comportamiento del mercado en los últimos años.

Tabla 6. Comportamiento del parque vehicular para taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros

Año	2016	2017	2018	2019	2020
Transporte de pasajeros vehículos livianos eléctricos	45	45	73	160	90
Total	181.169	182.177	150.879	157.925	144.906

En la tabla anterior se observa la irregularidad del comportamiento del mercado de taxis mencionada y además una tendencia a la baja con recuperaciones, sin embargo, es importante destacar el aumento de los vehículos eléctricos en el sector que se espera continúe gracias a los programas gubernamentales descritas en Anexo III, que incentivan el cambio de tecnología.

3.1.2.4 Buses y microbuses

El comportamiento histórico del parque vehicular de buses y microbuses a nivel nacional se ha comportado de forma estable en el tiempo. Los buses eléctricos ingresaron en el 2018 a la red y han incrementado de forma consistente. En el año 2020 el 96,9% de los buses eléctricos se concentraban en la Región Metropolitana.

La Tabla 7 muestra el comportamiento histórico del parque en cuestión.

Tabla 7. Comportamiento del parque vehicular de buses y minibuses eléctricos

Año	2016	2017	2018	2019	2020
Buses y minibuses eléctricos			129	456	773
Total	86.940	91.816	95.709	103.847	112.437

Es posible concluir que la evolución del parque de buses y minibuses presenta una tendencia al alza que se corresponde con la evolución de la participación de los vehículos eléctricos del segmento, tendencia que, impulsado por las políticas del Ministerio de Transporte de fomentar el transporte público en regiones, debería mantenerse si se cumplen los objetivos de incorporación y renovación de flota por vehículos eléctricos que ha señalado el gobierno.

3.1.2.5 Camiones de carga

El parque de camiones, que incluye camiones simples, tractocamión, tractor agrícola, otros vehículos de carga motorizados, remolques y semirremolques, fue extraído de las bases de INE²⁸, específicamente de los permisos de circulación. Lo mismo se realizó para el sub-segmento de camiones eléctricos.

En la Tabla 8 se observa el comportamiento histórico del segmento.

Tabla 8. Comportamiento del parque vehicular de camiones de carga eléctricos.

Año	2016	2017	2018	2019	2020
Camiones de carga eléctricos	49	99	116	123	135
Total	150.529	151.884	156.222	156.018	148.885

²⁸ <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion/parque-de-vehiculos>

En la Tabla 8 se observa el crecimiento de los vehículos de carga con una disminución puntual en 2020 relacionada a la paralización de algunas actividades de ciertos sectores de la industria chilena a causa de la pandemia por Covid-19, sin embargo, al observar los camiones eléctricos, éstos no presentaron disminución, al contrario, continuaron en aumento.

3.1.2.6 Maquinarias

Las maquinarias comprenden los vehículos asociados a tractocamiones y maquinaria agrícola, la que ha tenido un crecimiento sostenido y estable desde el 2007 a diciembre del 2020 según los datos de Permisos de Circulación²⁹.

En la Tabla 9 se muestra el crecimiento del parque automotriz de maquinaria, así como la maquinaria eléctrica. Cabe destacar que estos datos reflejan el inventario (stock) de maquinaria, es decir, son datos acumulados anualmente en la categoría.

Tabla 9. Comportamiento del parque vehicular de camiones de maquinaria eléctrica.

Año	2016	2017	2018	2019	2020
Maquinaria eléctrica				1	1
Total	54.228	56.861	58.717	59.014	59.088

El sector maquinarias, tal como se visualiza en la anterior tabla, está muy poco desarrollada en términos de participación de vehículos eléctricos.

3.1.3 Baterías de ion Litio

El tamaño del mercado global de baterías de iones de litio se valoró en USD 53,6 mil millones en 2020 según estudio de Grand View Research³⁰ y se espera que tenga una tasa anual compuesta de crecimiento del 19,0% entre el 2020 y el 2028. Este crecimiento está dado principalmente por la demanda de baterías ion-litio (LIB) para su uso en vehículos eléctricos y como almacenamiento complementario de la red eléctrica, dadas sus propiedades de alta densidad energética, peso ligero, mayor rapidez de carga y descarga y mayor vida útil que las baterías de plomo-ácido. El incremento de los EV y la disminución en el precio de las LIB ampliará el tamaño del mercado durante el período de pronóstico del estudio mencionado.

La clasificación en cuanto al uso de las LIB se define en 4 tipos: nivel automotriz, industrial, almacenamiento de energía y en productos electrónicos portátiles. Según Grand View Research³¹, el segmento de aplicaciones automotrices lideró el mercado en el 2019 representando el 34,3% de los ingresos totales a nivel mundial debido a la creciente demanda de VE, PHEV y HEV.

Es probable que la alta demanda de productos electrónicos de consumo impulse el segmento de aplicaciones portátiles, sin embargo, representa bajos ingresos y pequeños volúmenes por lo que no tiene una participación importante en el mercado.

Los sistemas de almacenamiento de energía (ESS por sus siglas en inglés) por sí mismos, impulsarán la demanda de LIB con un crecimiento esperado del 23,9%³² entre el 2020 y el 2028, en base al crecimiento de instalaciones fuera de la red a nivel mundial, a través de instalaciones solares fotovoltaicas fuera de la red. China, Alemania y Estados Unidos a través de sus programas gubernamentales están impulsando fuertemente este tipo de iniciativas lo que impacta en la demanda de LiBs.

3.1.3.1 Tipos de baterías de ion litio ¿en el mercado mundial

El mercado de LiBs actualmente presenta las siguientes tecnologías:

Fosfato hierro litio (LFP): Este tipo de batería representó más de USD 12 mil millones en 2020, con una participación del 22,4%. Estas baterías ofrecen una larga vida útil y una excelente seguridad para el producto. Se espera que la creciente demanda de baterías LFP en dispositivos estacionarios y portátiles, ya que necesitan altas corrientes de carga y durabilidad, impulse el mercado de baterías de iones de litio.

Óxido de litio cobalto (LCO): Segmento que representó el 32,3% a nivel global en 2020. Se utiliza en baterías medianas y pequeñas, como las de electrónicos de consumo y en vehículos eléctricos dada su alta densidad

²⁹ <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion/parque-de-vehiculos>

³⁰ <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lithium-ion-battery-market>

³¹ <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/battery-market>

³² <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lithium-ion-battery-market>

energética y densidad de compactación, aunque sus ciclos son más cortos en comparación con otros tipos de LIB y presenta problemas de seguridad. Además, dada que el cobalto es un recurso limitado se espera que sea reemplazada por otras alternativas de LIB en el futuro menos costosas³³.

Níquel manganeso cobalto (NMC): Adoptado en micro movilidad como en bicicletas eléctricas, herramientas eléctricas y trenes de propulsión eléctrica debido a su menor costo, mayor vida útil y mayor densidad de energía. Batería con una alta capacidad y potencia. Se espera que el segmento sea testigo de una CAGR del 16,2% de 2020 a 2028 en el mercado de baterías de iones de litio.

Litio y óxido de manganeso (LMO): La alta estabilidad de estas baterías a altas temperaturas también ha amplificado su demanda en todo el segmento. Según Grand View Research, el segmento de LMO representó una participación significativa en los ingresos en 2020 y se espera que tenga un crecimiento del 19,3% de 2020 a 2028 en el mercado de baterías de iones de litio.

El uso estacionario para cada una de ellas y su reciclabilidad depende de sus componentes, así como características de vida útil esperada, y escasas o abundancia de la materia prima. Para el reciclaje de cada materia prima y proyecciones de mercado Ver Anexo III.

3.1.3.2 *Desarrollo regional*

Asia Pacífico tuvo la mayor participación de mercado, con un 33,0% en 2019. Esta zona es un importante cliente de baterías debido a la producción de vehículos, así como por su desarrollo industrial. Además, India y China son los principales países productores en el segmento de electrónica de consumo debido a los bajos costos de producción y la disponibilidad de mano de obra calificada.

América del Norte tendrá un crecimiento significativo en el mercado, impulsado por la disminución en el costo de la batería de iones de litio, el aumento de la venta de productos electrónicos de consumo, la rápida adopción de vehículos eléctricos y el creciente sector de energías renovables.

3.1.3.3 *Reciclaje y segundo uso*

El mercado del reciclaje y reutilización de baterías, de acuerdo con estudios por parte de la consultora IDTechEx en 2020³⁴, para 2040 existirá a nivel mundial un total de 7,8 millones de toneladas cada año de baterías de vehículos eléctricos que deberán ser reemplazadas. Según sus estimaciones, el mercado mundial para el reciclaje de baterías bordearía los USD \$31 mil millones por año. Este potencial escenario debe ser parte de las consideraciones respecto a la preparación de capital humano que pueda reutilizar o bien reciclar baterías de vehículos eléctricos en el país, ya que representará un espacio para el desarrollo de nuevos modelos de negocios y emprendimientos asociados.

4 **Proyección de importaciones de baterías de electromovilidad y otras aplicaciones hasta el año 2050**

Esta actividad considera metas de electromovilidad nacionales, metas climáticas de mitigación, proyecciones internacionales de penetración de electromovilidad en el país, incluyendo aplicaciones de transporte público, taxis y vehículos livianos entre otros y metas de energías renovables de autoconsumo, dichos factores están descritos en el Anexo III.

4.1 **Factores para la electromovilidad**

4.1.1 **Metas de electromovilidad del Ministerio de Energía**

Dados los compromisos adoptados internacionalmente, Chile se ha fijado metas para la electromovilidad del país para el mediano y largo plazo, descritas en la Estrategia Nacional de Electromovilidad del Ministerio de Energía del 2021³⁵, que consisten en:

- El 100% de las nuevas incorporaciones al transporte público urbano sean vehículos cero emisiones al 2035
- El 100% de ventas de vehículos livianos y medianos sean cero emisiones al 2035

³³ [https://www.greenway-battery.com/news/Lithium-Cobalt-Oxide-\(LCO\)-Battery---LiCoO2-Manufacturer-86.html](https://www.greenway-battery.com/news/Lithium-Cobalt-Oxide-(LCO)-Battery---LiCoO2-Manufacturer-86.html)

³⁴ <https://www.idtechex.com/en/research-report/li-ion-battery-recycling-market-2022-2042/848>

³⁵ <https://www.energia.gob.cl/electromovilidad>

- El 100% de las ventas de vehículos para el transporte de pasajeros interurbano y transporte de carga sean cero emisiones al 2045
- Además, el 100% de las ventas de maquinaria (minera, forestal, construcción y agrícola) de más de 560 kW de potencia será cero emisiones a partir del 2035, y de más de 19 kW a partir de 2040.

4.1.2 Metas climáticas de mitigación del Ministerio del Medio Ambiente

En el contexto de las metas climáticas de mitigación, en el Objetivo 6 en el Sector Transportes “Aumentar el uso de tecnologías limpias en el transporte público urbano, transporte privado, transporte interurbano de pasajeros y transporte de carga urbano e interurbano³⁶” Describe la electromovilidad como eje importante para disminuir los GEI hacia el año 2050.

El sector transporte tiene una alta participación en la emisión de gases invernadero, dentro del cual los automóviles particulares representan la mayor proporción, por lo que en la actualidad se ha resuelto que la medida de mitigación más efectiva sería la electrificación de este parque, lo que permitiría la reducción de un 27% de las emisiones de GEI en relación con la línea base en el período 2020-2050³⁷.

La combinación de los efectos de diferentes escenarios de mitigación alcanza una reducción del 34% en las emisiones de GEI acumuladas con respecto a la línea base. Por lo que resulta imprescindible que la introducción de vehículos eléctricos de carga y buses eléctricos interurbanos se dé rápidamente, ya que en el escenario más ambicioso llegan a representar el 68% del total de GEI del sector transporte el 2050.

A propósito de lo anterior, el Acuerdo de París, del que Chile es firmante, entre otros objetivos establece la carbono neutralidad en 2050.

4.1.3 Proyecciones en la penetración de la electromovilidad

El avance progresivo de la participación de vehículos eléctricos respecto del parque de vehículos de combustión interna se visualiza en la Tabla 10, formulados en base a datos de ANAC,

Tabla 10. Participación de vehículos eléctricos respecto del parque de vehículos de combustión interna

Año	Participación HEV (%)	Participación EV (%)	Participación PHEV (%)	Participación HEV+EV+PHEV (%)
2014	6%	0%	0%	6%
2015	5%	0%	1%	6%
2016	5%	1%	0%	6%
2017	7%	2%	0%	10%
2018	18%	3%	1%	22%
2019	21%	5%	2%	28%
2020	18%	3%	2%	24%
TCAC	21%	81%	53%	26%

De acuerdo con lo señalado en la tabla anterior, se concluye que los vehículos 100% eléctricos han aumentado su participación en el parque automotriz respecto de los vehículos de combustión interna convencionales en un 81% según su tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) y que los híbridos lo han hecho en menor medida. En términos agregados han aumentado en un 26% anual.

Al respecto, la Agencia de Seguridad Energética (AgenciaSE) en su herramienta digital de proyecciones de vehículos eléctricos en Chile³⁸, prevé en su escenario más optimista que al año 2050 el 91,1% de las ventas de vehículos correspondan a vehículos eléctricos, lo que implica que al año 2035 un 67,39% de las ventas de vehículos deberán ser de vehículos eléctricos para alcanzar esa cifra. Mientras que en su escenario menos optimista proyecta un 42,26%, para lo cual al 2035 el 15,02% de las ventas de vehículos deberán ser eléctricos, por debajo por lo dispuesto en las metas del gobierno. Escenario bajo el cual no se alcanzarían las metas de electromovilidad descritas anteriormente.

³⁶ <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/>

³⁷ <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/174965/Evaluaci%C3%B3n-de-escenarios-de-mitigaci%C3%B3n-del-cambio-clim%C3%A1tico-en-Chile-con-respecto.pdf?sequence=1>

³⁸ <https://datastudio.google.com/u/0/reporting/4a522b4d-2073-49ea-8720-9fdae7904eb6/page/h8OaC>

4.1.4 Proyecciones de rendimiento de baterías

Es posible medir la vida útil de una LiB automotriz de dos maneras: la vida del ciclo o en la vida del calendario. La vida útil del ciclo corresponde al número de ciclos de carga-descarga que una LiB puede soportar antes de caer por debajo de un umbral de rendimiento específico. Por otra parte, la vida útil del calendario es la cantidad de tiempo (número de días) que se puede utilizar una batería, con una carga-descarga mínima, antes de que su capacidad disminuya de manera similar considerando un uso promedio y condiciones normales (evitando temperaturas extremas o utilización por debajo o sobre su umbral (20%-80%).

Se considera, generalmente, que una batería ha llegado al final de su vida útil cuando su capacidad máxima es del 80% de su estado original completamente cargado. No obstante, la vida útil de LiB posee niveles altos de incertidumbre que se desprenden de diferentes factores relativos al uso adecuado de la batería. Entre factores que pueden reducir la vida útil de LiB se encuentran sobrecarga, descarga rápida o bajo el 20%, carga frecuente y altas temperaturas de funcionamiento.

En concordancia con lo anterior, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones ha incluido en sus licitaciones, donde establece, por ejemplo, que la concesión de buses con estándar RED termina al cabo de 7 años (lo que se alinea con la vida útil de las baterías de los buses) y será renovable si más del 50% de la flota es de tipo eléctrico. Además, exige que, si la batería de algún bus sobrepasa el 20% de degradación, ésta debe ser reemplazada de inmediato³⁹.

Es importante mencionar que baterías cuya capacidad haya llegado al 80% del máximo, dada la pérdida de autonomía, podrán ser reemplazadas, tanto en vehículos eléctricos⁴⁰, tanto livianos, medianos como en buses y vehículos de carga, pero pueden seguir funcionando en instalaciones estacionarias.

Se espera que una batería de ion litio tenga una vida útil de 8 años (2920 ciclos) en un vehículo eléctrico para llegar al 80% de su capacidad y 10 años (3650 ciclos) en una segunda vida útil, correspondiente a una aplicación estacionaria. Las baterías utilizadas en vehículos eléctricos, dada la intensidad de uso y sistema de refrigeración, tienen una tasa de degradación mucho más rápida en la primera vida útil. Por ejemplo, Nissan Leaf 2015 con una tasa de degradación del 4.2% anual, tendría una batería con una duración de 5 años al llegar el 80%, por lo que la vida total sería de 15 años⁴¹, plazo en el cual dejarían de ser reutilizables como baterías. Por otra parte, cuando la batería pasa a su segundo uso, se espera que el desvanecimiento de su capacidad sea lineal, pero a una tasa menor que en el periodo anterior, alcanzando una pérdida de capacidad del 15% al décimo año de su segunda vida, es decir, la batería tendría un 65% en el fin de su vida útil⁴².

Los valores de la Tabla 11 son referenciales y varían según el fabricante, condición de operación y mantenimiento de los vehículos, sistema de refrigeración (frío o aire), exposición a temperaturas extremas, frecuencia de la descarga profunda (bajo el 20%) y tipo de carga (lenta o rápida), entre otros.

Con el fin de ilustrar la vida útil de las baterías de los distintos segmentos de vehículos eléctricos, se presenta la Tabla 11 según información del Ministerio de Energía.

Tabla 11. Vida útil de las baterías de distintos segmentos de vehículos eléctricos⁴³.

	Ciclos ⁴⁴	Años	Kilómetros
Vehículos livianos y medianos	3.000	8	160.000 ⁽⁴⁵⁾ ⁽⁴⁶⁾
Buses	3.000	7	300.000
Vehículos de carga	3.000	5	200.000 ⁴⁷

³⁹ <https://movelatam.org/wp-content/uploads/2020/12/Presentacion-Sesion-4.pdf>

⁴⁰ <https://movelatam.org/wp-content/uploads/2020/12/Presentacion-Sesion-4.pdf>

⁴¹ <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/vida-util-baterias-coches-electricos-supera-vehiculos/20191216141750032117.html>

⁴² <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/169855/Evaluaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-de-la-segunda-vida-%C3%BAtil-de-bater%C3%ADas-de-ion-litio-provenientes-de-la-electromovilidad-para-la-agroindustria-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁴³ <https://energia.gob.cl/electromovilidad/img/PreguntasW3.pdf>

⁴⁴ <https://www.dtpm.cl/archivos/UCHILE%20-%20Aspectos%20a%20considerar%20en%20la%20tecnologia%20de%20buses%20electricos.pdf>

⁴⁵ <https://www.motor.es/noticias/coches-electricos-vida-util-202179382.html>

⁴⁶ <https://energia.gob.cl/electromovilidad/cultura/mantenimiento-en-vehiculos-electricos>

⁴⁷ <https://bydelectrico.com/ec/autos/>

Los datos de la tabla anterior consideran la actual tecnología, sin embargo, a medida que aumenta la eficiencia de las baterías, estos datos pueden variar, por ejemplo, BYD asegura que es posible lograr una vida útil de 500.000 kilómetros y ofrece una garantía de 8 años⁴⁸.

4.2 Método de proyección de importación de baterías

El parque automotriz en Chile se dimensiona a través de los Permisos de Circulación⁴⁹, obtenidos por vehículos durante el año calendario. En el año 2020 alcanzó un total de 5.591.145 unidades.

El parque se clasifica según el tipo de uso que tendrá el vehículo: vehículos particulares, vehículos colectivos y vehículos de carga y a su vez se divide en los diferentes tipos de vehículos que lo componen (Tabla 12).

Tabla 12. Clasificación de vehículos por tipo, para efectos del desarrollo de la proyección.

Vehículos particulares	Vehículos colectivos	Vehículos de carga
<ul style="list-style-type: none"> Automóvil, Station Wagon y Todo Terreno Furgón Minibús Camioneta Motocicleta y Similares Otros con Motor Otros sin Motor 	<ul style="list-style-type: none"> Taxi Básico Taxi Colectivo Taxi Turismo Minibús, Transporte Colectivo Bus Transporte Colectivo 	<ul style="list-style-type: none"> Camión Simple Tractocamión Tractor Agrícola Otros con Motor Remolque y Semirremolque

Para efectos del análisis de autos eléctricos y su consecuente importación de baterías, se han considerado las categorías de vehículos particulares livianos y medianos, excluyendo motocicletas y otros con motor y sin motor.

Los vehículos colectivos han sido divididos en dos categorías, dada la diferencia entre las metas asociadas a vehículos livianos públicos, y buses y minibuses del sistema público y colectivo.

Tabla 13. Participación de categorías de vehículos en el parque vehicular actual en Chile.

Tipo	2019	2020
Vehículos livianos y medianos particulares	88,4%	88,8%
Buses transporte público	1,0%	1,0%
Maquinaria	1,1%	1,1%
Transporte de carga	3,2%	3,1%
Transporte de pasajeros vehículos livianos	2,8%	2,6%
Otros	3,5%	3,4%

Por otra parte, para los vehículos de carga se ha considerado la información sobre camiones y sobre tractocamiones y tractores agrícolas, agrupándose en la categoría de maquinaria, para la cual existen metas de electromovilidad en el periodo a analizar.

En la Tabla 13 se describe la participación de cada tipo de vehículo en el parque vehicular actual en Chile.

Proporcionalmente, el parque está compuesto mayormente por vehículos particulares livianos con un 88% en promedio.

4.2.1 Metodología de la proyección

Para proyectar la demanda de baterías al 2050, y la cantidad de baterías con potenciales usos vinculados al reciclaje y/o reutilización de baterías para la electromovilidad, es necesario determinar el tamaño del parque automotriz, considerando el recambio vehicular por desgaste de los vehículos de combustión interna y su consecuente renovación con vehículos eléctricos. Además, a futuro, se renovará la batería del vehículo eléctrico (repuesto) y también el mismo vehículo según sus respectivas vidas útiles proyectadas según la intensidad del uso al que se enfrenten.

⁴⁸ <https://goelectricchile.com/wp-content/uploads/2020/05/Ficha-T%C3%A9cnica-JMC-Conquer-EV.pdf>

⁴⁹ <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion/parque-de-vehiculos>

Considerando las diferentes características que componen el parque automotriz, así como las proyecciones de penetración según tipo de vehículo, se determinará el crecimiento del parque automotriz al 2050 proyectando el recambio de vehículos de combustión interna, repuesto de baterías y las nuevas incorporaciones de autos eléctricos. Las baterías de vehículos livianos y mayores pueden variar de tamaño y composición.

Con datos de los permisos de circulación otorgadas desde el 2007 hasta el 2020, ha sido posible observar el crecimiento histórico del parque. Diferentes ecuaciones fueron probadas para describir el comportamiento histórico del parque, y considerando aquella que tenga un mayor nivel de (R2) que describa su crecimiento y a que a su vez permita proyectar el mismo parque a futuro. A partir de esto se determinó que una regresión lineal permitía ambos objetivos.

En la Tabla 14 se presenta la información histórica y la proyección del parque vehicular en Chile.

Tabla 14. Información histórica y la proyección del parque vehicular en Chile.

Año	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total	5.498.895	5.718.409	5.591.145	7.779.220	8.974.025	10.168.830	11.363.635	12.558.440	13.753.245

Ver Anexo IV Regresiones.

A partir de la información histórica, se proyecta que al 2050 el parque vehicular en Chile estará compuesto por un total de 13.753.245 vehículos, distribuidos entre vehículos de combustión interna y eléctricos, híbridos e híbridos enchufables.

En términos de proyección de baterías, se ha considerado la proyección de VE según tipo, con diferentes intensidades de uso, duración de batería y recambio, en el cual cada uno se comporta a futuro con una periodicidad constante dentro de su segmento. Además, para el análisis se han agrupado los VE, PHVE y HVE.

4.2.1.1 Metodología de proyección de vehículos particulares

Para la proyección del parque de vehículos particulares se consideró la información histórica desde el 2007 hasta el 2020 de los permisos de circulación asociados a la categoría a nivel nacional. A partir de esto se desarrollaron diferentes alternativas de regresiones, siendo la lineal⁵⁰ la que permitió describir con mayor precisión el comportamiento histórico y a su vez proyectar el parque vehicular.

A partir de esta ecuación se determinó el tamaño del parque vehicular hasta el 2050, en la Tabla 15 se presenta el crecimiento proyectado del parque cada 5 años.

Tabla 15. Tamaño del parque de vehículos particulares hasta el año 2050.

Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
VE particulares	4.060.981	4.862.399	6.288.660	7.360.825	8.432.990	9.505.155	10.577.320	11.649.485

En base a esta proyección y considerando que, según datos del INE, la población nacional al 2050 sería de 21.600.000⁵¹ personas, el indicado de proporción de autos por persona proyectado es de 1,85, lo que se condice con la situación actual en la Unión Europea.

A partir del estudio de la Agencia de Sostenibilidad Energética⁵² sobre las proyecciones de ventas de vehículos eléctricos al 2050, se han seleccionado tres escenarios: conservador, con ventas al 2050 del 42,26% de vehículos eléctricos; moderado con 69,63% de las ventas; y optimista con 91,1% de las ventas, es decir vehículos que se incorporan a la flota, en esta categoría. Estos escenarios fueron seleccionados debido a la actualización de la información con la que se realizaron correspondiente a los datos 2021, considerando proyección de venta de vehículos eléctricos en Chile.

En el escenario conservador, la meta de electromovilidad de venta de vehículos eléctricos al 2035 se cumple en sólo un 15,02%. En el escenario moderado se consideró un 33,23% de las nuevas adquisiciones de vehículos como eléctricos; y en el escenario optimista, un 67,39%. Ver Tabla 16. La información histórica disponible en el INE sobre parque automotriz eléctrico se encuentra disponible desde el 2016 segregado por uso y tipo.

⁵⁰ Regresión lineal con R² de 98,97%

⁵¹ <https://www.ine.cl/prensa/2019/09/16/para-2050-se-proyecta-una-poblaci%C3%B3n-de-21-6-millones-de-personas-en-chile>

⁵² <https://datastudio.google.com/s/ibNfJD53dic>

Tabla 16. Escenarios de proyección para vehículos eléctricos particulares.

Año	2016	2020	2025	2030	2035	2045	2050
VE escenario conservador	182	1.147	12.673	55.238	172.683	769.042	1.202.132
VE escenario moderado	182	1.147	11.738	71.822	313.552	1.507.880	2.248.981
VE escenario optimista	182	1.147	17.718	189.801	767.805	2.548.435	3.518.744
Total vehículos livianos y medianos particulares	4.254.100	4.862.399	6.288.660	7.360.825	8.432.990	10.577.320	11.649.485

Considerando esta proyección de crecimiento del parque vehicular eléctrico, una vida útil de un mínimo de 7 años para la batería. No fueron considerados los 8 años proyectados por el fabricante dado que el cliente puede cambiar su batería previo al periodo en que ya no tenga el rendimiento deseado. Por otra parte, se considera como supuesto la reposición del vehículo propia del desgaste, con una vida útil de 14 años (similar a la de los ICV)⁵³, proyectando que en ese entonces la batería se deberá recambiar por segunda vez, lo que implica que el consumidor deba evaluar económicamente si prefiere adquirir una nueva batería para extender la vida útil del vehículo, o adquirir un vehículo nuevo, sin embargo, ambos supuestos llevan a que se debe importar una nueva batería o vehículo eléctrico. En base a esto se proyectaron las importaciones de baterías a nivel nacional. Ver Tabla 17.

Tabla 17. Escenarios de proyección para importación de baterías de VE particulares.

Año	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Importación baterías VE Escenario conservador	3.943	14.646	42.254	86.847	145.511	211.195
Importación baterías VE Escenario moderado	3.879	22.580	83.798	173.264	278.631	385.958
Importación baterías VE Escenario optimista	7.031	66.174	177.460	309.536	447.990	585.617

Dados los cumplimientos de las Metas de Electromovilidad señalados anteriormente y los resultados mostrados en la tabla anterior, se concluye que, de cumplirse las metas del gobierno, el escenario optimista sería el mejor predictor de la cantidad de baterías importadas en caso de que no se cumplan en su totalidad las Metas de Electromovilidad, al año 2050, con 585.617 unidades. En caso de que se logre que el 100% de las nuevas adquisiciones de vehículos particulares al 2035 sean eléctricos, el parque contará con 1.589.727 VE y para el 2050 se importarán 779.823 baterías provenientes de la electromovilidad de uso particular.

4.2.1.2 Metodología de proyección para taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros

Dada la poca consistencia en el crecimiento de la flota, no fue posible encontrar una ecuación de regresión estadística que explicara el comportamiento de la variable analizada⁵⁴. Sin embargo, se consideró que la ratio de este tipo de vehículos por habitante a nivel nacional se mantendrá por el periodo propuesto, por ende, el parque de vehículos livianos y medianos asociados al transporte público de pasajeros crecerá un 0,9% anual, conforme lo expuesto en la Tabla 18.

Tabla 18. Tamaño del parque de taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros hasta el año 2050.

Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
VE Transporte colectivo liviano	104.722	97.244	101.699	106.359	111.232	116.329	121.658	127.232

⁵³ <https://www.adszone.net/e-movilidad/noticias-en-marcha/vida-util-coche-electrico/>

⁵⁴ Se utilizaron regresiones lineales, exponenciales, logarítmicas y polinómicas sin encontrar modelos que se ajusten en más de un 13% a la información histórica.

Para la proyección de vehículos eléctricos en esta categoría, se consideró el estudio Escenarios de Usos Futuros de la Electricidad del 2017⁵⁵, desarrollado por Generadoras de Chile, dónde se presentan dos escenarios: una primera propuesta conservadora la cual proyecta que para el año 2050 se contará con un parque de taxis eléctricos de 62.000 unidades; y una segunda propuesta con un escenario optimista en donde se contará con 90.000 unidades. Además, se contempló un escenario en donde el crecimiento está dado por el cumplimiento de las Metas de Electromovilidad en donde las nuevas incorporaciones a la flota deberán ser eléctricas a partir del 2035. Ver Tabla 19.

Tabla 19. Escenarios de proyección para taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros

Año	2016	2020	2.025	2.030	2.035	2.040	2.045	2.050
VE escenario metas	45	90	257	503	986	6.083	11.413	16.987
VE escenario conservador	45	90	344	974	2.752	7.780	21.993	62.169
VE escenario optimista	45	90	363	1.094	3.298	9.944	29.984	90.410
Total vehículos livianos y medianos particulares	104.722	97.244	101.699	106.359	111.232	116.329	121.658	127.232

Considerando esta proyección de crecimiento del parque vehicular eléctrico, una vida útil de un mínimo de 3 años para la batería y una tasa de reposición de vehículos propia del desgaste de éstos, con una vida útil de 6 años considerando los kilómetros recorridos en promedio en su vida útil, se proyectaron las importaciones de baterías a nivel nacional y se muestran los resultados en la Tabla 20.

Tabla 20. Escenarios de proyección para importación de baterías de taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros

Año	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Importación baterías VE Escenario metas	57	253	441	2.381	4.569	6.737
Importación baterías VE Escenario moderado	107	490	1.278	3.487	10.044	28.288
Importación baterías VE Escenario optimista	196	510	1.421	4.156	12.726	38.257

Las diferencias observadas entre escenarios son sustanciales, donde el escenario optimista supera con creces al escenario relativo al cumplimiento de las metas, lo que claramente impacta en la proyección de la importación de baterías.

4.2.1.3 Metodología de la proyección de buses y microbuses

Con el fin de determinar el parque de buses y microbuses que habrá en el año 2050 en el país, fue necesario investigar el parque actual del segmento, por lo que se eligió como base de datos la proporcionada por INE donde están registrados los permisos de circulación de interés. Luego se observó el comportamiento histórico del parque automotriz y se determinó la ecuación que explica la variabilidad de los datos en un 92,3%, con esta información se construyó la proyección al año 2050. Luego se procedió a calcular la variación anual del parque, proyectando la cantidad de nuevos buses adquiridos y a su vez la cantidad de ejemplares que deberán ser reemplazados terminada su vida útil de 10 años.

En la Tabla 21 se presenta el crecimiento proyectado del parque de buses cada 5 años hasta el 2050, obtenidos en base a lo descrito con anterioridad en el apartado 3.1.2.4.

Tabla 21. Crecimiento proyectado del parque de buses cada 5 años hasta el 2050.

Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Buses y microbuses	86.940	103.501	125.360	141.123	156.886	172.649	188.412	204.175

⁵⁵ http://generadoras.cl/media/170822_Presentacion_Estudio_Usos_futuros_de_la_electricidad_Generadoras_de_Chile.pdf

Un procedimiento similar se utilizó para obtener las series de tiempo de los buses eléctricos, con la salvedad que se usó la tasa de crecimiento del segmento del resto del mundo de 47% (IEA)⁵⁶ hasta el año 2030 y de 20% hasta 2034, pues desde 2035 las Metas de Electromovilidad⁵⁷ definen que las nuevas adquisiciones de buses serán de cero emisiones. Además, ANAC⁵⁸ indica que sólo 4% de los buses señalados son interurbanos.

En la Tabla 22 se presenta el crecimiento proyectado de los buses eléctricos cada 5 años al 2050.

Tabla 22. Crecimiento proyectado considerando el reemplazo de buses.

Año	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Buses y microbuses	773	6.869	47.149	103.820	134.085	164.602	196.128

Ahora bien, las baterías de buses tienen una vida útil de 7 años, por lo que es necesario cambiarlas al final de ese período. Con el objetivo de definir cuántas baterías nuevas ingresarán al país con motivo de recambio, se utilizó la variación del parque eléctrico con un desfase de 7 años. Además, la flota de buses debe renovarse a lo más cada 14 años, pues así lo determinan las normas de concesión, lo que añade baterías que ingresan al país por este concepto. A propósito de lo anterior, el Ministerio de Transporte ha señalado que para 2022 se renovará un 80% de la flota, de la cual 30% debe corresponder a buses eléctricos, factor que fue añadido al cálculo de buses eléctricos que serán adquiridos.

La Tabla 23 se muestra el crecimiento proyectado de las baterías que serán importadas por concepto de recambio hasta el 2050.

Tabla 23. Proyección de crecimiento de baterías, para microbuses y buses eléctricos.

Año	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Importaciones baterías y buses eléctricos	2.523	16.569	16.999	27.410	25.870	34.502

De la tabla anterior se desprende que el aumento de baterías proyectadas a importar desde 2025 a 2050 es considerable y se condice con la expectativa de aumentar la participación de buses eléctricos en las flotas urbanas y principalmente con las exigencias del estándar RED.

4.2.1.4 Metodología de la proyección de camiones de carga

A partir de los datos del parque de camiones desde el 2007 al 2020, fue posible establecer a través de una regresión lineal simple⁵⁹, una ecuación que permitiera proyectar el crecimiento del segmento al 2050.

La proyección del crecimiento del parque de camiones del país al año 2050 se puede observar en la Tabla 24, en períodos de 5 años.

Tabla 24. Proyección de crecimiento del parque de camiones del país hasta el año 2050.

Años	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Camiones de carga	148.093	148.885	181.109	198.011	214.912	231.814	248.715	265.617

Para proyectar los camiones eléctricos que habrá al año 2050, se generaron dos escenarios, el primero basado en las Metas de Electromovilidad y el segundo en el crecimiento observado en economías con características similares en la materia.

Escenario basado en metas:

Dada la Meta de Electromovilidad establecida por el gobierno que indica que a 2045 el 100% de las nuevas adquisiciones de vehículos de carga deben ser cero emisiones, se concluyó que para lograrlo los camiones eléctricos deben crecer a una tasa del 13,75% anual y por lo tanto se utilizó tal tasa para proyectar la cantidad de camiones existentes al año 2050 en el país.

⁵⁶ <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>

⁵⁷ https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf

⁵⁸ <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2021/11/10-ANAC-Informe-vehiculos-cero-y-bajas-emisiones-October-2021.pdf>

⁵⁹ Regresión lineal con R² del 89,52%

En la Tabla 25 son presentadas las cifras proyectadas de vehículos de carga eléctricos bajo los supuestos del presente escenario.

Tabla 25. Proyección estimada con base en el escenario basado en metas.

Año	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Camiones de carga	135	257	490	932	1.776	3.382	20.283

En base a lo señalado de la tabla anterior, el crecimiento del segmento debe ser mayor al nivel actual para dar conformidad a las metas establecidas.

Escenario según economías similares:

Según cifras obtenidas de IEA⁶⁰, los camiones eléctricos crecerán a una tasa del 28%, la cual fue utilizada para proyectar cuántos camiones habrá en Chile en 2050.

De lo anterior se desprende la Tabla 26, que muestra la proyección de los vehículos de carga eléctricos que habría el 2050.

Tabla 26. Proyección de vehículos de carga bajo un escenario de economías similares.

Año	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Camiones de carga	135	464	1.594	5.476	18.816	64.652	222.143

Con los datos obtenidos anteriormente y considerando una vida útil de las baterías de camiones de 5 años, fue posible calcular la cantidad de baterías a adquirir por concepto de reemplazo de baterías. En adición se consideró el recambio de flotas de camiones que derivará en ingreso de nuevas baterías eléctricas al país por concepto de renovación de flotas.

En la Tabla 27 se muestran las cifras correspondientes a la proyección del crecimiento de la cantidad de baterías importadas para camiones de carga eléctricos (recambio de baterías y renovación de flota).

Tabla 27. Proyección de crecimiento de la cantidad de baterías importadas para camiones de carga eléctricos.

Año	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Importación baterías Escenario Metas	74	161	328	644	1.247	7.599
Importación baterías Escenario Economías similares	338	1.296	4.589	15.901	54.770	188.325

En la Tabla 27 se observa que la diferencia entre escenarios es sustancial, lo que se explica principalmente porque bajo el escenario de economías similares, se encuentra el efecto de países asiáticos con mayores índices de crecimiento en el sector.

4.2.1.5 Metodología de la proyección de maquinarias

Para proyectar el parque vehicular de maquinarias al 2050, se utilizó la información histórica y se consideró una proyección lineal en base a la regresión realizada desde el 2007⁶¹.

En la Tabla 28 se muestra la proyección del parque de maquinarias.

Tabla 28. Proyección del parque de maquinarias eléctricas.

Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Parque maquinarias proyectado	53.260	59.088	76.369	87.683	98.996	110.310	121.623	132.937

Dadas las proyecciones de crecimiento se calcularon las nuevas adquisiciones al parque vehicular. A su vez, para determinar la cantidad de vehículos eléctricos, se consideraron las Metas de Electromovilidad que establecen que

⁶⁰ <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>

⁶¹ Ecuación seleccionada con R² del 96,36%

el 100% de las ventas de maquinaria (minera, forestal, construcción y agrícola) de más de 560 kW de potencia será cero emisiones a partir del 2035. Ante esto se consideraron que las nuevas adquisiciones de flota serán eléctricas y que, durante los próximos 15 años, el parque crecerá a una tasa del 41,8% anual para alcanzar esta meta (Tabla 29).

Tabla 29. Proyección del crecimiento de importaciones de maquinarias eléctricas hasta el 2050.

Año	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Maquinarias eléctricas	1	192	1.296	7.623	18.936	30.250	41.563

Considerando esta proyección de crecimiento del parque vehicular eléctrico, una vida útil de un mínimo de 5 años para la batería y una tasa de reposición de vehículos propia del desgaste de éstos, con una vida útil de 10 años considerando los kilómetros recorridos en promedio en su vida útil, se proyectaron las importaciones de baterías a nivel nacional (Tabla 30).

Tabla 30. Proyección de importaciones de baterías a nivel nacional, para maquinaria eléctrica.

Año	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Importaciones baterías y maquinaria eléctrica	137	857	4.981	7.247	9.510	11.773

Las proyecciones descritas en dos tablas inmediatamente anteriores representan cifras significativamente superiores a las actuales, para las que se necesitará tasas de crecimiento muy altas para conseguir las metas establecidas.

4.2.2 Proyección de importaciones de baterías para electromovilidad

A partir de las proyecciones desagregadas del parque vehicular y considerando las metas de electromovilidad, proyecciones de penetración de electromovilidad de mercados internacionales, tasas de recambio de baterías y vida útil proyectada de los vehículos según su uso, es posible proyectar la cantidad de baterías que será necesario importar a partir de tres factores principales: cantidad de vehículos que ingresan al parque en el año, cantidad de baterías que deben comprarse para renovar las de la flota y la renovación de la flota para mantenerse en el tiempo.

Dados los diferentes supuestos detrás de la proyección del desarrollo en el tiempo del parque vehicular, se han agrupado en tres escenarios: conservador, moderado y optimista en la penetración de la tecnología y cumplimiento de metas de electromovilidad. Para aquellos tipos de vehículos donde no hay escenarios diferentes, se ha mantenido la misma proyección. Para el caso en donde sólo hay dos escenarios, se ha seleccionado el conservador válido como moderado también dado el crecimiento discreto en las cantidades vendidas anualmente.

4.2.2.1 Resultados escenario conservador

En la Tabla 31 se puede visualizar cómo el recambio de baterías producto de la penetración en el mercado de los vehículos eléctricos particulares impulsa el crecimiento mayoritario de las importaciones de baterías. De la misma forma, los buses eléctricos serán una fuente tanto de baterías nuevas como de baterías en desuso.

Tabla 31. Resumen de proyección de importación de baterías, bajo en escenario conservador.

Importación baterías y vehículo eléctrico	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vehículos particulares	3.943	14.646	42.254	86.847	145.511	211.195
Taxis	57	253	441	2.381	4.569	6.737
Buses	2.523	16.569	16.999	27.410	25.870	34.502
Camiones	74	161	328	644	1.247	7.599
Maquinaria	137	857	4.981	7.247	9.510	11.773
Total	6.734	32.486	65.003	124.529	186.707	271.806

En el 2050 se espera contar con 271.806 baterías importadas bajo los supuestos previamente descritos para la construcción de este escenario.

4.2.2.2 Resultados escenario moderado

En cuanto al escenario moderado, en donde en general se proyecta una tasa de crecimiento constante y cumpliendo las Metas de Electromovilidad, se espera contar con 468.120 baterías importadas en el 2050, las que comprenden aquellas propias de las nuevas incorporaciones a la flota, las baterías de recambio y los vehículos que deben ingresar al parque como renovación de aquellos que hayan terminado su vida útil. (Ver Tabla 32).

Tabla 32. Resumen de proyección de importación de baterías, bajo en escenario moderado.

Importación baterías y vehículo eléctrico	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vehículos particulares	3.879	22.580	83.798	173.264	278.631	385.958
Taxis	107	490	1.278	3.487	10.044	28.288
Buses	2.523	16.569	16.999	27.410	25.870	34.502
Camiones	74	161	328	644	1.247	7.599
Maquinaria	137	857	4.981	7.247	9.510	11.773
Total	6.720	40.657	107.384	212.052	325.302	468.120

En el escenario moderado, en el 2045, se alcanzan valores similares de baterías importadas que en el Escenario Conservador en el 2050.

4.2.2.3 Resultados escenario optimista

El escenario optimista en general privilegió para su construcción las proyecciones internacionales de economías similares. Dado que estas proyecciones son mayores que las de las Metas de Electromovilidad con las que se generaron escenarios moderados o conservadores, se puede apreciar que el crecimiento es mucho más rápido, prácticamente duplicando en el 2050 las importaciones de baterías en el mismo año en el Escenario Moderado. En la Tabla 33 se observa el resumen de este escenario.

Tabla 33. Resumen de proyección de importación de baterías, bajo en escenario optimista.

Importación baterías y vehículo eléctrico	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vehículos particulares	7.031	66.174	177.460	309.536	447.990	585.617
Taxis	196	510	1421	4156	12.726	38.257
Buses	2.523	16.569	16.999	27.410	25.870	34.502
Camiones	338	1.296	4.589	15.901	54.770	188.325
Maquinaria	137	857	4.981	7.247	9.510	11.773
Total	10.225	85.406	205.450	364.250	550.866	858.474

En el 2050 se necesitarán 858.474 baterías, considerando aquellas que se deben importar para el recambio de vehículos eléctricos, vehículos que ingresan a la flota y vehículos necesarios para renovar aquellos que finalicen su vida útil.

5 Proyección de baterías de electromovilidad y respaldo descartadas al año 2050

En base a las proyecciones desarrolladas en el punto 4.2, es posible determinar la cantidad de packs de baterías descartadas o en calidad en desuso al año 2050, considerando e incluyendo en el análisis aquellas baterías que terminan su ciclo de vida en vehículos y las provenientes de renovación de flota dado que el vehículo eléctrico, en conjunto con su batería, han cumplido el ciclo de vida establecido.

Tal como se ha descrito con anterioridad, para proyectar tales resultados fue necesario desarrollar escenarios futuros, algunos de los cuales se considera que se ajustan mejor a la realidad del país y que representarían proyecciones con mayor nivel de confianza.

5.1 Proyecciones

5.1.1 Vehículos particulares

A partir de las proyecciones del parque automotriz de vehículos particulares, es posible determinar la cantidad de packs de baterías que saldrán del mercado una vez cumplan su vida útil para ser recambiadas, así como la cantidad de vehículos eléctricos que cumplirán su vida útil y por ende también se generará un pack de batería descartada. Para estas proyecciones se consideró que la batería se cambia cada 7 años y la vida útil del vehículo es de 14 años, es decir en su vida recibe al menos dos packs de baterías.

Además, a partir de los escenarios descritos en el punto anterior, es posible proyectar (Tabla 34) en base a cada uno de esos supuestos la cantidad de packs de baterías de forma conservadora, moderada y optimista, en donde las metas de electromovilidad no solo se cumplen, sino que son superadas dado factores que impulsen la demanda por vehículos eléctricos.

Tabla 34. Proyección de baterías de EV fuera de uso para vehículos particulares.

Año	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Baterías en desuso Escenario conservador	169	1908	10.046	28.586	66.514	120.576
Baterías en desuso Escenario moderado	169	1.673	12.542	53.096	135.197	236.434
Baterías en desuso Escenario optimista	169	2.359	32.954	129.970	256.544	390.268

El parque de vehículos particulares representa la mayor cantidad de packs de baterías fuera de uso. En base a estas proyecciones se puede esperar que en el año 2050 se descarten entre 120.576 y 390.268 packs de baterías, equivalentes a 6 GWh y 19 GWh en desuso respectivamente, considerando una capacidad promedio de 50 kWh para vehículos livianos (aparatado 1.1.4).

5.1.2 Taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros

Para el caso de los taxis, taxis de turismo, taxis colectivos y minibuses (VAN) de pasajeros, se proyectaron las baterías de descarte considerando un recambio de packs de baterías cada 3 años, supuesto dado por la garantía exigida a proveedores de este tipo de vehículos eléctricos en licitaciones públicas, como la del Programa Mi Taxi Eléctrico⁶². Esta vida útil está influenciada también por la cantidad superior de kilómetros que debe recorrer el vehículo anualmente al ser utilizado con este fin. Es posible que el vehículo tenga más de un cambio de packs de baterías en su vida útil.

La proyección de descarte de los packs de baterías (Tabla 35) tanto por recambio como por la salida del vehículo del parque se describe en la siguiente tabla, utilizando los mismos supuestos descritos en el punto anterior.

Tabla 35. Proyección de baterías de EV fuera de uso para taxis y vehículos livianos y medianos de pasajeros.

Año	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Baterías en desuso Escenario metas	25	189	317	1.343	3.484	5.603
Baterías en desuso VE Escenario moderado	43	307	762	2.027	5.917	16.622
Baterías en desuso VE Escenario optimista	124	293	768	2.186	6.787	20.349

La cantidad proyectada de packs de baterías fuera de uso va desde los 5.603 en el 2050 a los 20.349 packs, considerando una capacidad promedio de 50 kWh para vehículos livianos, se proyectan entre 280 mil kWh y 1 GWh en desuso.

⁶² <https://www.agenciase.org/concurso-para-aceleracion-de-la-electromovilidad-en-el-segmento-de-vehiculos-de-transporte-publico-menor-en-chile/>

5.1.3 Buses y microbuses

Respecto de la cantidad de packs de baterías proyectadas en desuso provenientes de buses y microbuses, se considera sólo un escenario, dado que sus incorporaciones son determinadas por el Ministerio de Transportes y sus tasas de recambio tecnológicos. Tal como fue mencionado en el punto 1.1.4 las baterías de VE de transporte de carga requieren mayor capacidad de almacenamiento de energía. En la siguiente tabla se observa las cantidades proyectadas de packs de baterías en desuso cada 5 años de este segmento.

Tabla 36. Proyección de baterías de EV fuera de uso para buses y microbuses

Buses	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Baterías en desuso	327	1.494	10.946	21.357	23.187	28.197

Por lo que la cantidad de packs de baterías de desuso proyectadas provenientes de este segmento corresponde a 28.197.

En términos de kWh, considerando una conversión promedio de que cada pack de baterías de bus representa 4,34 veces la capacidad de almacenamiento de un vehículo liviano, se traduce en la siguiente capacidad de almacenamiento de energía proveniente del desuso de las baterías de electromovilidad:

Tabla 37. Capacidad de almacenamiento de energía proveniente de packs de baterías en desuso.

Buses	2025	2030	2035	2040	2045	2050
kWh provenientes de packs de baterías en desuso	75.210	343.620	2.517.580	4.912.110	5.333.010	6.485.310

5.1.4 Camiones

En el caso de los vehículos de carga, es importante determinar el escenario que se considera que proyectaría de mejor manera la cantidad de baterías en desuso a 2050. Con este objetivo fijado, primeramente, se proyectan las baterías en desuso provenientes de ambos modelos, según metodología descrita previamente en el punto 4.2.1.4 y que, cabe recordar, incluye las baterías que quedarán en desuso producto del término de su vida útil, así como las provenientes de los mismos vehículos de carga que serán descartados terminando su vida útil, incluyendo su batería.

A continuación, se presentan las proyecciones de baterías en desuso en unidades del segmento presente al año 2050.

Tabla 38. Proyección de baterías de EV fuera de uso para camiones.

Camiones	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Baterías en desuso Escenario Metas	12	43	102	215	430	838
Baterías en desuso Escenario Economías similares	135	599	2.193	7.669	26.485	91.137

En consecuencia, es posible señalar que 838 baterías se encontrarán en desuso al año 2050 de acuerdo el Escenario de Metas, cifra menor a las 91.137 proyectadas en el escenario de Economías Similares. Considerando una capacidad de 50 kWh promedio para vehículos de carga (apartado 1.1.4), se proyectan 40 mil y 4 GWh en desuso respectivamente.

5.1.5 Maquinarias

Para la proyección de baterías fuera de uso de maquinarias se consideró el crecimiento proyectado del parque y una vida útil de 5 años para la batería.

Tabla 39. Proyección de baterías de EV fuera de uso para maquinarias.

Maquinaria	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Baterías en desuso	1	69	463	2.722	4.984	7.247

En base a esto, las LiBs en desuso provenientes de la maquinaria en el 2050 se proyecta como 7.247 unidades, si consideramos una capacidad similar a los camiones de carga (50 kWh en promedio), se proyectan 300 mil kWh en desuso.

5.2 Resultados

5.2.1 Resultados escenario conservador

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente y las cantidades proyectadas de baterías en desuso obtenidas, se ha construido la siguiente tabla que detalla esta información por segmento de vehículo eléctrico.

Tabla 40. Resumen de la proyección de baterías de EV fuera de uso, para un escenario conservador, en kWh

Baterías en desuso	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vehículos particulares	8.957	101.124	532.438	1.515.058	3.525.242	6.390.528
Taxis	1.135	10.017	16.801	71.179	184.652	296.959
Buses	75.210	343.620	2.517.580	4.912.110	4.499.950	6.485.310
Camiones	636	2.279	5.406	11.395	22.790	44.410
Maquinaria	50	3.450	23.150	136.100	249.200	362.350
Total (kWh)	85.988	460.490	3.095.375	6.645.842	8.481.834	13.579.557

Es posible observar que en el presente escenario la fuente de baterías en desuso prominente es la de los vehículos particulares, seguido de lejos por los buses. En el escenario conservador se pronostica que haya 162.461 baterías en desuso al año 2050, lo que es equivalente a 13,6 GWh, por lo cual es imperativo el desarrollo de medidas de acción que permitan reintegrar las baterías descartadas de su primera vida útil, con tal de reducir el impacto ambiental de la electrificación del transporte en Chile.

5.2.2 Resultados escenario moderado

El presente escenario se caracteriza porque cumple con las metas de electromovilidad planteadas por el gobierno en mayor medida que el escenario conservador, sin embargo, la electrificación vehicular crece a una velocidad menor que economías pioneras en electromovilidad. Este escenario podría representar el valor más probable de baterías descartadas anualmente.

Tabla 41. Resumen de la proyección de baterías de EV fuera de uso, para un escenario moderado, en kWh.

Baterías en desuso	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vehículos particulares	8.957	88.139	663.772	2.814.088	7.165.441	12.531.532
Taxis	2.279	16.271	40.386	107.431	313.601	880.966
Buses	75.210	343.620	2.517.580	4.912.110	4.499.950	6.485.310
Camiones	636	2.279	5.406	11.395	22.790	44.414
Maquinaria	50	3.450	23.150	136.100	249.200	362.350
Total (kWh)	87.132	453.759	3.250.294	7.981.124	12.250.982	20.304.572

De la tabla 41 se desprende que la cantidad proyectada de baterías en desuso el año 2050 sería de 20,3 GWh, con un valor acumulado de energía en desuso de 44,3 GWh. Esto representa un incremento de 78% de baterías respecto al escenario conservador o base.

5.2.3 Resultados escenario optimista

Para la obtención de los resultados que se exponen en la siguiente tabla, se consideraron las tasas de crecimiento de los distintos segmentos de vehículos eléctricos de economías del mundo similares a la de Chile, obtenidas del estudio realizado por IEA, en las que no fueron consideradas economías tales como E.E.U.U., China, India, Brasil, Canadá y Europa.

Tabla 42. Resumen de la proyección de baterías de EV fuera de uso, para un escenario optimista, en kWh

Baterías en desuso	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vehículos particulares	8.957	125.027	1.746.562	6.888.410	13.596.832	20.684.204
Taxis	6.572	15.529	40.704	115.858	359.711	1.078.497
Buses	75.210	343.620	2.517.580	4.912.110	4.499.950	6.485.310
Camiones	7.155	31.747	116.229	406.457	1.403.705	4.830.261
Maquinaria	50	3.450	23.150	136.100	249.200	362.350
Total (kWh)	97.944	519.373	4.444.225	12.458.935	20.109.398	33.440.622

En la tabla 42 se observa un aumento de baterías en desuso el año 2050 de 85,7%, alcanzando 537.198 unidades, lo que equivale a 33,4 GWh, con 71 GWh acumuladas y que está principalmente influenciado por la presencia de baterías descartadas provenientes de vehículos particulares y camiones, a diferencia de los escenarios anteriores, donde los buses eran la segunda fuente.

5.2.4 Recomendaciones

Se recomienda, dada la significativa cantidad de baterías eléctricas en desuso proyectadas en los diferentes escenarios, que se generen políticas públicas que permitan su reutilización, segunda vida o reciclaje.

En el Figura 9, se observa la evolución de la proyección de la cantidad de baterías en desuso hasta 2050, en el escenario moderado, el cual es considerado como el que presenta una mayor aproximación de la realidad.

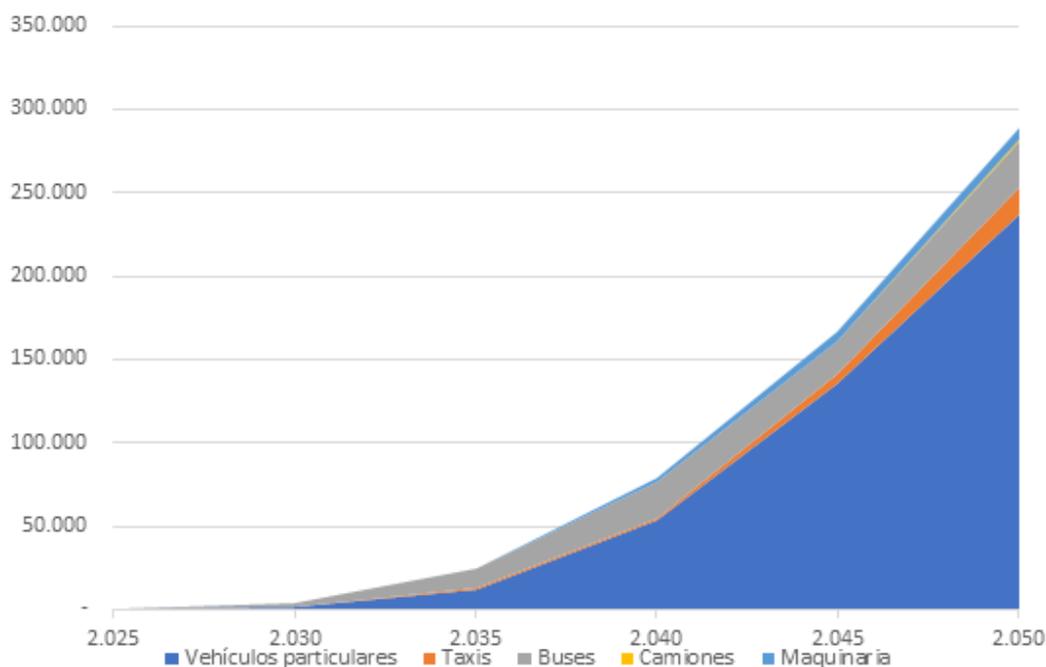


Figura 9. Evolución de la proyección de la cantidad de baterías en desuso hasta 2050. Fuente: Elaboración propia.

Este gráfico deja en manifiesto que a partir de 2035 las acciones motivadas por las Metas de Electromovilidad comienzan a mostrar sus efectos, al igual que en el año 2045 donde la pendiente de la curva que describe la proyección de baterías en desuso hasta 2050 aumenta considerablemente. Por lo que se concluye que los incentivos y medidas que se adopten, tanto para la electrificación del parque automotriz, como las que se determinen para la gestión del término de la vida útil de sus baterías son de vital importancia.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE EXPERIENCIA COMPARADA EN SEGUNDA VIDA Y RECICLAJE DE BATERÍAS

6 Regulación de aplicaciones de segunda vida y reciclaje de baterías de electromovilidad en contexto REP

El objetivo del Sistema de Responsabilidad Extendida del Productor es responsabilizar a los productores por los impactos ambientales de los residuos de los productos que han introducido en el mercado. Es parte de las políticas ambientales que cada vez más países adoptan, llegando a existir alrededor de 400 Sistemas REP en operación en el mundo, la mayoría implementado desde el año 2001 principalmente para artículos electrónicos, envases y embalajes, neumáticos, vehículos al final de su vida útil, baterías de plomo y otros productos.

Las baterías de vehículos han sido incorporadas generalmente en esquemas REP que regulan la gestión de los vehículos al fin de su vida útil (ELV, por sus siglas en inglés), bajo regulaciones que abordan principalmente baterías de ácido plomo, relegando a menor relevancia las baterías provenientes de vehículos eléctricos. Sin embargo, el crecimiento de la industria de la electromovilidad ha generado un aumento también en las baterías de LiBs, situación que está empezando a ser resuelta a base de políticas enfocadas a la reutilización, uso de segunda vida y reciclaje.

Algunas experiencias de relevancia relacionadas a la Ley REP en diferentes partes del mundo:

6.1 Unión Europea

Los diferentes esquemas REP que existen en Europa se basan en las recomendaciones e incentivos de las normas de la Comisión Europea, siendo un referente para el establecimiento de metas para el sector privado. En este contexto, La Unión Europea establece los lineamientos para la gestión de baterías por medio de la Directiva 2006/66/CE. Esta contempla principalmente baterías / pilas y acumuladores, considerando a las baterías de ion litio como “otras baterías”, con un objetivo de reciclaje del 50%, lo que significa que no existe el suficiente incentivo para que se generen los esfuerzos en el reciclaje de las baterías de LiB.⁶³ De igual manera está la Directiva 2000/53/CE que establece los lineamientos para limitar y evitar los residuos de los vehículos al final de su vida útil.

Ambas directivas abordan baterías de vehículos, también de LiB, sin embargo, los objetivos de ambas son diferentes y deben ser actualizados. Se plantea entonces, que la directiva de ELV es la que debe prevalecer y debe considerar, según menciona la Comisión Europea, una categoría para baterías diseñadas específicamente para proporcionar tracción a vehículos híbridos y eléctricos por carretera.⁶⁴

En este contexto, La Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA, por su sigla en inglés), ha manifestado la necesidad de establecer una definición para “segunda vida” para las baterías de VE, ya que actualmente se encuentra definida la responsabilidad del productor ante un producto prioritario, sin embargo, no está claro quién es el responsable ante una batería reutilizada. En la misma línea, la Comisión Europea plantea que una batería que llega al fin de su vida útil es un desecho. De ser factible su uso para el mismo propósito que fue fabricada es “reutilización”, si es posible su uso en un destino diferentes, es una segunda vida para la batería y categorizaría como “producto nuevo”.⁶⁵ Lo anterior desde el contexto REP, necesario para identificar los responsables de su recolección y posterior reciclaje. Actualmente, existe incertidumbre a nivel de Responsabilidad Extendida del Productor para baterías reutilizadas, ya que no es claro, bajo la regulación actual, quien se hace responsable, siendo hoy por hoy, el primer productor el que está a cargo.

En el año 2020 la Comisión Europea propuso un nuevo reglamento COM(2020) 798/3 que, de ser promulgado, fijaría metas de recolección y reciclaje para baterías, incluyendo las provenientes de vehículos eléctricos, además de entregar los lineamientos para la segunda vida de las baterías, estas nuevas medidas, entregarían los lineamientos para los sistemas REP de baterías en la región.

La propuesta de la Comisión Europea⁶⁶ para nueva regulación de baterías podría incluir:

⁶³ Institute for European Environmental Policy. Managing easte batteries from electric vehicles: The case of the European unión and the Republico f Korea. 2021

⁶⁴ Dawson L. Steering extended producer responsibility for electric vehicle batteries, Environmental Law Review, 2021.

⁶⁵ Dawson L. Steering extended producer responsibility for electric vehicle batteries, Environmental Law Review, 2021.

⁶⁶ COM(2020)798 final

Medidas	Medidas para un escenario medio
Segunda vida	<p>Se considera que, al finalizar su primera vida, las baterías usadas son residuos (excepto para su reutilización).</p> <p>La adaptación se considera una operación de tratamiento de residuos.</p> <p>Las baterías (de segunda vida) adaptadas se consideran productos nuevos que deben cumplir los requisitos aplicables a los productos al introducirse en el mercado.</p>
Reciclaje y recuperación de materiales	<p>Pilas y baterías de litio y Co, Ni, Li y Cu: Nivel de eficiencia de reciclado para las pilas y baterías de litio: 65 % para 2025</p> <p>Índices de valorización de materiales para Co, Ni, Li y Cu: 90 %, 90 %, 35 % y 90 % para 2025, respectivamente</p> <p>Pilas y baterías de plomo y plomo: Nivel de eficiencia de reciclado para las pilas y baterías de plomo: 75 % para 2025</p> <p>Valorización de materiales para el plomo: 90% para el 2025.</p>
REP	<p>Especificaciones claras para las obligaciones de responsabilidad ampliada del productor respecto de las baterías industriales</p> <p>Normas mínimas para los sistemas de responsabilidad ampliada del productor</p>

Tal como se observa en el extracto de la norma propuesta por la Comisión Europea, se añadiría la definición para batería de segunda vida, indicando que de ser adaptada para un uso diferente del cual fue fabricada, es considerada un producto nuevo.

Se fijan metas para el reciclaje de baterías de litio y para la valorización de sus componentes. Adicionalmente, se considera la necesidad de especificar claramente las obligaciones bajo los esquemas REP, como, por ejemplo, la responsabilidad sobre la segunda vida de las baterías cuando estas entren al mercado nuevamente.

6.2 Norte-América

Canadá

Actualmente existen siete provincias con sistemas de Responsabilidad Extendida del Productor que involucran baterías, siendo consideradas pilas, baterías recargables, no recargables y de ácido plomo de vehículos. Actualmente el país no cuenta con un sistema REP que considere baterías fuera de uso provenientes de vehículos eléctricos. Dado que la industria de la electromovilidad sigue aumentando, ya se han generado estudios que prevén la necesaria incorporación de este tipo de residuos en los sistemas REP⁶⁷.

Estados Unidos

En el año 2020 se presentó la Ley de Reciclaje de Baterías y Minerales Críticos, con el objetivo de apoyar el crecimiento de energía limpia en el país, asegurar una fuente de metales y reducir la dependencia del país a importaciones desde China. Establece mejores prácticas de recolección de baterías a nivel estatal y para su reciclaje y se espera que se desarrolle un sistema REP con foco en recolección y reciclaje de baterías. No obstante, a la fecha no está claro cuándo se podría implementar este sistema⁶⁸.

En la actualidad, la legislación de Estados Unidos no obliga a reciclar las baterías de los vehículos eléctricos ni a los productores o fabricantes de baterías a "recuperar" las baterías al final de su vida útil. No obstante, los estados han comenzado a explorar leyes de reciclaje o reutilización de baterías de vehículos eléctricos. California, por ejemplo, creó en 2018 un Grupo Asesor de Reciclaje de Baterías de Coches de Ion-Litio para proporcionar recomendaciones políticas a la legislatura, que se esperan en abril de 2022.

En resumen, la legislación norteamericana, incluyendo Canadá y Estados Unidos, no cuenta con una normativa para baterías provenientes de vehículos eléctricos, sino que su foco está en baterías domésticas y de plomo-ácido en la industria automotriz.

⁶⁷ Study of Extended Producer Responsibility for Electric vehicle Lithium-Ion Batteries in Quebec. Propulsion Quebec, 2020.

⁶⁸ Study of Extended Producer Responsibility for Electric vehicle Lithium-Ion Batteries in Quebec. Propulsion Quebec 2020

6.3 Corea del Sur

Corea adoptó políticas de Responsabilidad Extendida del productor en el año 2003, incluyendo baterías primarias de litio dentro de sus productos prioritarios, esto incentiva la creación de KBRA, la Asociación de Reciclaje de Baterías de Corea, que funciona como un sistema de gestión colectivo y que es financiado por los productores / importadores.

Para el proceso de recolección, es el gobierno local o la misma asociación de reciclaje la que se hace cargo para enviarlas posteriormente a las plantas, no obstante, el objetivo de recolección para el reciclaje ha sido menor que lo establecido, siendo en el 2018 menos del 50% de la meta del país.

Adicionalmente, el gobierno, mediante subsidios otorgados por las municipalidades, incentiva la compra de vehículos eléctricos. Una vez finalizada la vida útil de las baterías, ésta debe ser entregada al mismo municipio que entregó el subsidio y es la Asociación de Recicladores Automotrices de Corea la que se hace cargo del retiro, almacenamiento y reciclaje. Este procedimiento no es monitoreado por el gobierno, lo que genera una brecha en los datos reales de reciclaje de las baterías provenientes de EV, situación que se mantiene hasta el 2020.⁶⁹

En julio del 2021, se modificó el Decreto de Aplicación de la Ley de Circulación de Recursos de Vehículos y Equipos Eléctricos (Decreto Presidencial N°31874). Esta modificación busca que la Corporación Ambiental maneje cuatro centros de recolección de baterías de EV en Corea, que deben estar en operación el 2022. Estos centros recolectarán, almacenarán y facilitarán el reciclaje de baterías de EV, evaluando, además, la capacidad residual con la facultad de venderlas a empresas privadas.⁷⁰

Las baterías de EV fueron incorporadas a la lista de desechos de la ley de control de desechos de dicho país, estableciendo estándares que deben cumplir las empresas valorizadoras o de reciclaje de este tipo de residuos.

6.4 Latinoamérica y el Caribe

En la región, los países de Brasil, Colombia, Chile, Costa Rica y México cuentan con legislación aplicable a la Responsabilidad Extendida del productor. De ellos destaca Colombia y Chile por tener a la fecha un mayor desarrollo de avance para sus productos prioritarios, aunque está pendiente el tema de baterías.

Respecto a baterías provenientes de la industria de la electromovilidad, no existe su regulación dentro de los sistemas REP existentes. No obstante, Chile es uno de los países que ha presentado mayor avance en esta temática, principalmente debido al impulso que se le ha entregado a la electromovilidad, especialmente en la introducción de flotas de buses eléctricos en el transporte público en la Región Metropolitana. Entre las medidas que han impulsado la electromovilidad está la Estrategia Nacional de Electromovilidad, donde se genera el compromiso que al 2035 el 100% de las ventas de vehículos livianos, medianos y de transporte público (buses, taxis y colectivos), y que maquinaria de gran tamaño sean cero emisiones⁷¹.

Un incentivo y aumento del parque automotriz de vehículos híbridos y eléctricos implica la pronta e inminente necesidad de dar solución a los residuos que se generarán de las baterías que lleguen al fin de su vida útil. Es por ello que actualmente se encuentra en desarrollo, en el marco de la Ley 20.920, el decreto que establecerá las metas y obligaciones de los productores e importadores de baterías, incluyendo a baterías para electromovilidad.

Lo anterior representa una oportunidad para generar las bases en el desarrollo de un mercado que permita la segunda vida de las baterías de EV y su reciclaje. De ser así, Chile sería el primer país en Latinoamérica en incorporar dentro de su sistema REP, las consideraciones para la gestión de baterías de LiBs provenientes de vehículos eléctricos.

En resumen, los esquemas REP son los instrumentos ambientales y económicos que permitirán y facilitarán la segunda vida de las baterías provenientes de vehículos eléctricos, como también su reciclaje. Las metas que cada gobierno determine y la participación de actores de manera transversal a lo largo de la cadena de valor, productores, municipios, gobiernos, consumidores y gestores (empresas valorizadoras y de reciclaje) son la clave para:

- Un sistema de recolección eficiente.
- Incentivo de uso de baterías de segunda vida en otras aplicaciones industriales o domésticas.

⁶⁹ <https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/0c3b3b85-e3ef-4751-8f92-4ad61286150a/Managing%20waste%20batteries%20from%20EVs%20Nov%202021.pdf?v=63806966721>

⁷⁰ Envilience Asia (2021). South Korea revises to promote recycling of used electric vehicle batteries. Available at: https://envilience.com/regions/east-asia/kr/re-port_3592

⁷¹ Ministerio de Energía del Gobierno de Chile. 2021. Estrategia Nacional de Electromovilidad. Recuperado en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf.

- Aumento de la capacidad instalada para el reciclaje de baterías de EV acorde con el aumento de la electromovilidad.
- Registro y monitoreo de datos.

7 Alternativas de segunda vida y reciclaje de baterías de electromovilidad implementadas a nivel internacional

Si bien el mercado de las baterías está creciendo, la gestión del final de su vida útil se convertirá en un tema clave en el futuro cercano. Las baterías de ion litio para la electromovilidad a nivel mundial aún tienen que lograr procesos maduros de reutilización, reciclaje y recuperación de recursos. En Australia, solo el 6% de las baterías de iones de litio se recolectaron para reciclar en los últimos años⁷². Las altas tasas de adopción de vehículos eléctricos durante la última década significan, además, que una gran cantidad de baterías de tracción de los primeros lotes de vehículos eléctricos y vehículos eléctricos híbridos pronto llegarán al fin de vida, uniéndose a los otros tipos de baterías en los flujos de desechos electrónicos. Estas baterías se consideran desechadas para su primer uso, aunque, una aplicación de segunda vida puede ser relevante para algunas baterías antes de que sea necesario desecharlas. Sin embargo, la segunda vida es solo una estrategia complementaria de gestión de las baterías diseñada para implementarse antes del reciclaje. En principio, el material recuperado se puede utilizar para fabricar nuevas baterías para formar una cadena de valor de Economía Circular, donde los costos del material recuperado son más bajos que los costos de producción del material virgen. La última década ha sido testigo de un aumento significativo en los mercados de baterías y un número considerable de esfuerzos nacionales e internacionales de los sectores público y privado han documentado revisiones centradas en el reciclaje de baterías, en particular LiBs.

7.1 Baterías de segunda vida

La aplicación de las baterías de segunda vida suele tener menores requisitos técnicos que su primer uso en electromovilidad. Las aplicaciones de segunda vida incluyen bicicletas eléctricas y automóviles de baja velocidad, sistemas de almacenamientos de energía distribuidos a pequeña escala para hogares y alumbrado público, a gran escala para edificios como fuentes de energía de respaldo y para generación de energía renovable y redes para estabilizar el potencia de salida y cambiar la carga máxima para aliviar el desequilibrio de la oferta y la demanda de las cargas eléctricas, así como los dispositivos de carga portátiles en lugares donde los cargadores o incluso las tomas de corriente no están disponibles.⁷³

Dentro de la búsqueda de la experiencia internacional en estas aplicaciones, se ha diseñado un esquema que permite visualizar como están distribuidos los proyectos con sus respectivas capacidades de almacenamiento. El detalle de los proyectos se encuentra en el Anexo VII:

⁷² <https://www.sunwiz.com.au/battery-market-report-australia-2021/>

⁷³ Cell Reports Physical Science 2, 100537, August 18, 2021.



Figura 10. Proyectos a nivel mundial de baterías de segunda vida. La fuente es Cell Reports Physical Science 2, 100537, August 18, 2021. El esquema es elaboración propia para el presente informe

De estas iniciativas, se ven claramente cuatro tendencias.

Primero, el número de proyectos está aumentando drásticamente en los últimos 3 años conforme aumenta el volumen de vehículos eléctricos fabricados y comercializados.

Segundo, casi todos los principales fabricantes de equipos originales de la industria automotriz han lanzado o planean lanzar proyectos de aplicaciones de segunda vida, ya sea trabajando con su proveedor de baterías o empleando una empresa externa.

Tercero, las aplicaciones de sistemas de almacenamiento estacionario a gran escala, especialmente para redes, se están volviendo más populares.

Cuarto, los tipos de aplicaciones de segunda vida se están diversificando. Sin embargo, la industrialización a gran escala de las aplicaciones de baterías de segunda vida todavía se ve obstaculizada por varios cuellos de botella. Dentro de las principales limitaciones se encuentran las siguientes⁷⁴:

1. **Incertidumbre de la economía de las baterías de segunda vida:** Existe preocupación con respecto a que el costo de las baterías de segunda vida realmente sea más bajo que las baterías nuevas para que puedan ser competitivas en el mercado. La industria aún no está convencida de que estos dispositivos sean soluciones rentables a largo plazo teniendo en cuenta su menor vida útil en comparación con las nuevas baterías de ion litio. Sin embargo, debido al bajo costo del proceso que involucra el desmantelamiento, la evaluación, la implementación de un BMS (Battery Management System) y el reempaquetado, puede hacer que el precio de las baterías sea más que beneficioso. No obstante, en el futuro, la implementación de las baterías de segunda vida podría ser un desafío ya que el costo de las baterías de ion litio nuevas está disminuyendo con los años. Si el precio de las LiBs cae hasta el punto de que podría costar lo mismo que una de segunda vida, lo que se ve obstaculizado por el costo de reutilización, los clientes preferirían una batería nueva por sobre una de segundo uso, obviamente, si se pasa por alto el beneficio ambiental.
2. **Falta de automatización en el proceso de desmantelamiento de las baterías:** El proceso de desmontaje de las baterías desde el vehículo eléctrico y la posterior separación de los módulos del pack, se realiza manualmente y requiere mano de obra y una persona competente para tratar. Dicho proceso podría influir en gran medida en el precio de venta de la batería de segunda vida.
3. **Variedad de tipos y químicas de baterías de vehículos eléctricos:** Como se ha mencionado anteriormente, las baterías vienen en diferentes tipos, formas y químicas; añadiendo una nueva preocupación y desafío al uso de esta opción. En primer lugar, la evaluación del estado de salud (State of health, SOH) será diferente para los diferentes tipos y químicas, lo que hará que el proceso de evaluación se vuelva más complicado y, posiblemente, aumente el costo de la evaluación. En segundo lugar, la disponibilidad de baterías de segunda vida de tipos y químicas similares. Dado que vienen con diferentes niveles de voltaje, capacidades, químicas y tipos, encontrar baterías similares se vuelve un desafío. Esto se debe al hecho de que hacer coincidir las baterías es importante para un mejor rendimiento de la aplicación de segunda vida y una vida útil más larga.
4. **Dificultad para identificar el estado de salud (SOH, State of Health) y el resto de la vida útil (RUL, Rest of useful life) de la batería:** Otro desafío importante es la medición precisa del SOH y RUL de una batería. En ausencia de estándares para los fabricantes de vehículos eléctricos que les exija entregar esta información de forma precisa, como también la composición de los materiales de las baterías, existiría inconsistencia en la evaluación de los dispositivos. La inconsistencia en la evaluación de las baterías. desalentaría a los inversores y usuarios a comprar las baterías de segunda vida por una incertidumbre en su condición real.
5. **Ausencia de normativas políticas para la certificación de las baterías de segunda vida:** Las normativas aplicables para la certificación técnica de baterías de segunda vida son escasas. Se pueden mencionar solo dos: UL1974 y J2997 por SAE. Estas normativas están enfocadas en certificar requisitos de seguridad, estados de carga de la batería, ciclos de vida y tiempo de vida restante.
6. **Limitada información técnica sobre el primer uso de la batería:** Por último, puede que no se considere un desafío sino una oportunidad para simplificar el proceso de evaluación. Si se almacenan los datos de la primera vida útil de la batería, es más fácil estimar su SOH y RUL con mayor precisión.

⁷⁴ Alexandria Engineering Journal (2021) 60, 4517–4536)

7.2 Reciclaje de baterías de electromovilidad

Una vez que las baterías llegan al final de su vida útil, incluyendo su aplicación como baterías de segundo uso, a nivel global históricamente se han dispuesto tradicionalmente en rellenos de seguridad o se incineran para obtener valiosos componentes metálicos. Sin embargo, estas prácticas se consideran poco ecológicas. Los residuos de baterías son una fuente esencial para recuperar metales valiosos cruciales, como litio, níquel, cobalto, grafito y cobre. El crecimiento global de la demanda de minerales (Figura 10) y la necesidad de recuperación de metales de baterías reducirá la carga sobre los rellenos y las preocupaciones ambientales y de salud humana. El concepto de reciclaje de baterías en los últimos años ha ganado prominencia debido a sus bien documentados beneficios económicos y ambientales.

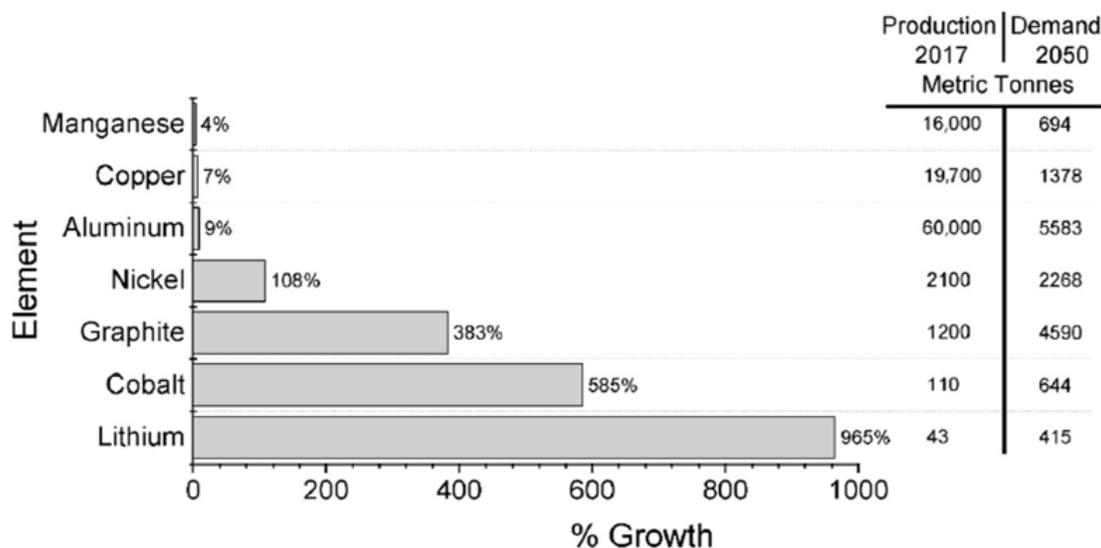


Figura 11. Crecimiento de la demanda de minerales Datos de 2017 de referencia a 2050.⁷⁵

Independientemente de los procesos de recuperación que se utilicen para el reciclaje de baterías de ion litio, los objetivos del reciclaje son los mismos: mejorar el rendimiento y la pureza, reducir el uso de materia prima o energía y reducir los residuos producidos en el proceso. Sin embargo, los procesos actuales no garantizan la rentabilidad del reciclaje de LiBs, ya que todos estos procesos se basan en la recuperación del cobalto como metal clave de interés comercial y se debe poner especial énfasis en la optimización de los procesos con la finalidad de garantizar un alto porcentaje de recuperación y pureza de este metal para su posterior venta. También es fundamental realizar avances tecnológicos destinados a reducir los costos de reciclaje. Sin el avance de la tecnología, los recicladores tienden a imponer una tarifa para aceptar LIB gastados para reciclar o dependen de subvenciones gubernamentales o regulaciones introducidas⁷⁶.

En la Tabla 42, se muestra una descripción general de las tecnologías adoptadas por los recicladores de baterías de vehículos eléctricos. Para los recicladores que utilizan un proceso pirometalúrgico, es fácil recuperar más del 90% del cobalto, níquel y cobre de las baterías; sin embargo, se pierde litio. En Asia, alrededor del 80% del reciclado de baterías se realiza mediante un proceso hidrometalúrgico que, según se afirma, tiene una tasa de recuperación de metales superior al 98%⁷⁷. El cobalto y el níquel se recuperan habitualmente en forma de sulfatos y por tanto la pureza es muy alta que permite su uso en la fabricación de baterías. El proceso hidrometalúrgico puede recuperar carbonato de litio con una pureza del 99% en peso de Li_2CO_3 que, en principio, se puede utilizar para la obtención de cátodos para nuevas baterías⁷⁸. Sin embargo, lograr compuestos de litio con grado de batería de alta pureza es aún muy desafiante y aún no se ha abordado por completo mediante el proceso pirometalúrgico mencionado anteriormente.

⁷⁵ Sovacool, B.K.; Ali, S.H.; Bazilian, M.; Radley, B.; Nemery, B.; Okatz, J.; Mulvaney, D. Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. *Science* 2020, 367, 30

⁷⁶ Gaines, L. Profitable Recycling of Low-Cobalt Lithium-Ion Batteries Will Depend on New Process Developments. *One Earth* 2019, 1, 413–415

⁷⁷ Maisch, M. Lithium-ion Recycling Rates Far Higher Than Some Statistics Suggest

⁷⁸ Zhang, J.; Hu, J.; Liu, Y.; Jing, Q.; Yang, C.; Chen, Y.; Wang, C. Sustainable and Facile Method for the Selective Recovery of Lithium from Cathode Scrap of Spent LiFePO₄ Batteries. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2019, 7, 5626–5631

Tabla 43: Principales empresas recicladoras a nivel internacional de baterías de electromovilidad.⁷⁹

Empresa	Tecnología	País
Accurec	Pirometalurgia	Alemania
Bak Battery	Pirometalurgia	China
Batrec	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	Suiza
Brunp	Pirometalurgia	China
Dowa	Pirometalurgia	Japón
Gem Recycling	Pirometalurgia	India
Kaiho Sangyo	Pirometalurgia	Japón
Inmetco	Pirometalurgia	USA
Onto Technology	Pirometalurgia	USA
Redux	Pirometalurgia	Alemania
Saft AB	Pirometalurgia	Suecia
American Manganese	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	USA
Belmont trading	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	Reino Unido
Glencore	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	Canadá
JX Nippon mining and metals	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	Japón
Neometals	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	Australia
SMCC Recycling	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	USA
Sumitomo	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	Japón
Toxco	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	USA
Umicore	Pirometalurgia-Hidrometalurgia	Bélgica
Li-Cycle Corp	Hidrometalurgia	USA
Recupyl	Hidrometalurgia	Francia
Retriev	Hidrometalurgia	Canada
SNAM	Hidrometalurgia	Francia
Akkuser OY	Reciclaje directo	Finlandia

7.3 Desafíos del proceso de reciclaje de baterías de electromovilidad a nivel mundial

1. **Aspectos técnicos:** Al abordar el gran número de baterías fuera de uso, el desmontaje automático seguro y eficiente es la tarea principal para evitar peligros potenciales en los procesos de reciclaje futuros. Al mismo tiempo, el rediseño de los módulos de baterías debería permitir el desmontaje para su reutilización o reciclaje. Por lo tanto, se necesita urgentemente un proceso de reciclaje simple para lograr una recuperación altamente eficiente de múltiples componentes. En cuanto al reciclaje de cátodos, el problema clave de la pirometalurgia es reducir el consumo de energía y evitar la contaminación de los gases de escape, los métodos hidrometalúrgicos requieren una eliminación más rápida y eficiente de impurezas para aumentar la pureza de los materiales regenerados. La recuperación de materiales de electrolitos y ánodos desde la perspectiva de la protección del medio ambiente también debe ser un foco importante de atención en el futuro.
2. **Aspectos económicos:** Los beneficios económicos de los procesos de reciclaje son fundamentales para que las empresas de reciclaje sobrevivan y se mantengan. Sobre la base de cálculos de costo-beneficio, reducir el costo y aumentar el valor de los productos son las principales formas de aumentar la eficiencia económica. Por lo tanto, son deseables productos de procesamiento simple, de bajo costo y de alto valor agregado o de alta pureza. Además, el tratamiento de la contaminación secundaria, como las aguas residuales, los gases residuales y los residuos residuales, debe incluirse en los análisis económicos.

⁷⁹ Sustain. Chem. 2021, 2, 167–205. <https://doi.org/10.3390/suschem2010011>.

3. **Aspectos medioambientales y de seguridad:** Dados los componentes complejos de las baterías recargables, los procesos de recuperación pueden ser potencialmente peligrosos y producir contaminación secundaria, como aguas residuales, gases y residuos, que deben ser prevenidos y tratados para lograr cero emisiones de contaminación secundaria. Por lo tanto, existe la necesidad de que las plantas de reciclaje de baterías fuera de uso estén equipadas con equipos de prevención de contaminación secundaria y desarrollo de medidas de control sólidas.
4. **Recopilación de datos:** Es esencial establecer una plataforma de gestión integral para la trazabilidad del reciclaje de baterías. Al recopilar información sobre el ciclo de vida completo de la batería sobre producción, ventas, uso, retiro y reciclaje, es posible monitorear cada enlace en tiempo real para cumplir con su responsabilidad de reciclaje y organizar el reciclaje de la batería. Estas enormes cantidades de datos se pueden utilizar como base para la evaluación de baterías retiradas para su uso secundario y evaluación de tecnología de reciclaje. Los gobiernos deberían formular estándares y especificaciones relevantes en el campo del reciclaje de baterías, como la trazabilidad de la información para los estándares de gestión de baterías; normas técnicas para el desmontaje, clasificación, etiquetado, almacenamiento e información de baterías.

7.4 Aspectos regulatorios del mercado eléctrico para baterías de segundo uso

El uso de baterías de segunda vida provenientes de vehículos eléctricos, para su uso en el mercado eléctrico como almacenamiento estacionario de energía, contempla una serie de requerimientos técnicos y de seguridad que deben cumplir para garantizar su uso para estos fines.

Actualmente la norma existente que regula y certifica el uso de baterías de para su segundo uso es el Standard ANSI/CAN/UL 1974 "Standard for Evaluation for Repurposing Batteries"

- **Descripción:** Esta norma cubre el proceso de clasificación y clasificación de paquetes de baterías, módulos y celdas y condensadores electroquímicos que se configuraron y utilizaron originalmente para otros fines, como la propulsión de vehículos eléctricos, y que están destinados a una aplicación de uso reutilizado, como para su uso en sistemas de almacenamiento de energía y otras aplicaciones para paquetes de baterías, módulos, celdas y condensadores electroquímicos⁸⁰.

Esta norma también cubre los requisitos específicos de la aplicación para paquetes / sistemas de baterías reutilizados y paquetes / sistemas de baterías que utilizan módulos, celdas y otros componentes reutilizados.

Esta norma no cubre el proceso para las baterías remanufacturadas, que también se conocen como baterías reacondicionadas o reconstruidas.

UL 1974 ayuda a identificar el estado de salud de una batería e introduce clasificaciones para determinar la viabilidad de su uso continuo. A través de este proceso, las baterías de "segunda vida" con rendimiento validado se pueden utilizar para sistemas de almacenamiento de energía para proporcionar una fuente de energía segura, confiable y limpia.

⁸⁰ UL 1974 : Norma UL para la evaluación de la seguridad para la reutilización de baterías (ihs.com)

CAPÍTULO IV

IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS Y OPORTUNIDADES PARA SEGUNDO USO Y RECICLAJE DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD FUERA DE USO

8 Identificación de regulaciones y normativa técnica aplicable a la importación y producción de baterías de electromovilidad

Este punto aborda identificar y describir las regulaciones y normativa técnica aplicable a la producción e importación de baterías de electromovilidad, e identificar y describir regulaciones y normativa técnica aplicable al desarrollo de opciones de segundo uso y reciclaje de baterías de electromovilidad. Adicionalmente, identificar instituciones y actores relevantes en a la normativa y regulación identificada.

Tanto para la producción como para la importación de baterías ion litio, las normas internacionales que deben ser aplicadas se encuentran centradas principalmente en la seguridad del producto y su respectivo transporte seguro. No existen normativas específicas obligatorias para la fabricación de baterías ion litio, más allá de garantizar la seguridad del producto, no obstante, se observa como práctica común para el aseguramiento de calidad del producto, la construcción de fábricas con salas limpias bajo estándares del tipo ISO 6 e ISO 7.

En cuanto a la seguridad del producto, además de ser una práctica común de la industria casi universal y de que existe fuerte demanda del mercado por la inclusión y el reconocimiento de celdas y baterías como componentes y productos finales, no existen requisitos obligatorios legales para los tests de seguridad de las baterías de ion litio. Sin embargo, debido a que la seguridad del producto es importante (imagen de marca, responsabilidad, etc.) y debido a que la aprobación de certificaciones de seguridad es un medio para garantizar que los productos sean seguros, la aplicación de estándares y testeos según normas, UL, IEC, IEEC, etc. es rutinaria y asumida por la mayoría de los proveedores y consumidores^{81,82}.

Respecto al transporte seguro de las baterías ion litio, la ONU (UN) junto con el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT) de EE. UU. define las regulaciones de envío para los EE. UU. bajo el Título 49 de CFR (Code of Federal Regulations), Secciones 100 - 185. En la Sección 173.185 se abordan particularmente las especificaciones y excepciones y embalajes para baterías de iones de litio; la sección 172.101 cubre el envío.

En conjunto, las directrices de la ONU y el DOT definen los requisitos de prueba para el embalaje y envío seguro de baterías de iones de litio y metal de litio. Los criterios de las pruebas de seguridad se definen en las "Recomendaciones sobre el transporte de mercancías peligrosas, Manual de pruebas y criterios, Parte III, Sección 38.3"⁸³.

A continuación, se entrega una lista y descripción de las normas y estándares más utilizados internacionalmente para los tests de seguridad y transporte de baterías ion litio.

⁸¹ H. Huo, Y. Xing, M. Pecht, B. J. Züger, N. Khare, and A. Vezzini, *Safety requirements for transportation of lithium batteries*, vol. 10, no. 6. 2017. doi: 10.3390/en10060793.

⁸² V. Ruiz, *Standards for the Performance and Durability Assessment of Electric Vehicle Batteries - Possible Performance Criteria for an Ecodesign Regulation*. 2018. doi: 10.2760/24743.

⁸³ T. O'Hara, "Navigating the Regulatory Maze of Lithium Battery Safety," p. 9, 2013, [Online]. Available: http://batterypoweronline.com/wp-content/uploads/2013/11/Intertek_Regulatory-Maze-WP.pdf

Tabla 44. Normas y estándares internacionales para testeo de seguridad de baterías ion litio

Norma	Descripción
UN/DOT 38.3	<p>Esta norma se centra en el aseguramiento de seguridad para el transporte de mercancías peligrosas de muchos países, y es relevante para la seguridad del transporte de todas las pilas y baterías de metal de litio y de iones de litio.</p> <p>UN / DOT 38.3 es un estándar de autocertificación, pero debido a posibles problemas de responsabilidad, la mayoría de las empresas optan por utilizar un laboratorio de pruebas de terceros.</p> <p>Esta norma es usualmente solicitada al momento de hacer envíos de baterías de ión litio de forma internacional, ya sea por vía aérea, terrestre o marítima. No contar con esta norma aprobada restringe y dificulta considerablemente las opciones de transportar este producto.</p> <p>UN 38.3 presenta una combinación de tensiones ambientales, mecánicas y eléctricas significativas, como se muestra a continuación (T1-T5):</p> <ul style="list-style-type: none"> T1 - Simulación de altitud (pilas y baterías primarias y secundarias) T2 - Prueba térmica (pilas y baterías primarias y secundarias) T3 - Vibración (pilas y baterías primarias y secundarias) T4 - Choque (pilas y baterías primarias y secundarias) T5 - Cortocircuito externo (pilas y baterías primarias y secundarias) T6 - Impacto (células primarias y secundarias) T7 - Sobrecarga (baterías secundarias) T8 - Descarga forzada (celdas primarias y secundarias) <p>Algunas pruebas son más fáciles de aprobar que otras. La prueba de altitud es la más sencilla. La prueba de vibración, en cambio, es intensa y de larga duración: 3 horas en cada uno de los tres planos cardinales. Y la secuencia T1-T5 normalmente tiene un efecto acumulativo negativo.</p>
IEC 62133 (International Electrotechnical Commission):	<p>Nombre de la norma: Baterías y celdas secundarias que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos: requisitos de seguridad para pilas secundarias selladas portátiles y para pilas fabricadas con ellas para su uso en aplicaciones portátiles.</p> <p>Es una norma requerida por muchos dispositivos finales con estándares IEC. La norma IEC 62133 es un estándar de facto para el cumplimiento internacional.</p> <p>El estándar incluye cuatro pruebas:</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.2 Tensión de caja moldeada 3.2 Cortocircuito externo 3.3 Caída libre 3.6 Sobrecarga de la batería <p>En comparación con los requisitos de UN 38.3, estas pruebas son relativamente más fáciles de pasar.</p>
UL 2054 y UL 1642. (Underwriters Laboratories)	<p>El cumplimiento de los requisitos de UL 2054 es obligatorio para varios estándares de dispositivos finales que llegan a EE. UU. Es un estándar de un alto nivel de requerimientos técnicos, que involucra aproximadamente el doble de la cantidad de pruebas que se encuentran en los requisitos de la UN o IEC:</p> <ul style="list-style-type: none"> 7 pruebas eléctricas 4 pruebas mecánicas 4 pruebas de caja de batería 1 prueba de exposición al fuego 2 pruebas ambientales <p>El hecho de que se incluyan pruebas de fallo único y operación en los escenarios más adversos, las pruebas eléctricas son las más desafiantes. La prueba de sobrecarga abusiva es la más difícil dadas las condiciones de sobretensión aplicadas al paquete de baterías. Las pruebas de carga anormal, descarga forzada y dos cortocircuitos también implican un riesgo significativo de falla.</p> <p>Para las baterías de litio, UL 2054 cambia todas las pruebas de nivel de celda de componentes a la norma UL 1642.</p>

Las entidades que se encuentran a cargo del diseño, desarrollo e implementación y estándares se describen a continuación.

Tabla 45. Entidades y sus responsabilidades para el desarrollo e implementación de normativa y estándares.

Norma	Descripción
UN/DOT	ONU (Naciones Unidas) de forma general emite recomendaciones para el transporte de mercancías peligrosas en todo el mundo, y el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT) de EE. UU. define las regulaciones de envío para los EE. UU.
International Electrotechnical Commission	IEC es una organización de estándares sin fines de lucro que redacta estándares internacionales que cubren una amplia gama de tecnologías, desde generación, transmisión y distribución de energía hasta electrodomésticos y equipos de oficina, semiconductores, fibra óptica, baterías, energía solar, nanotecnología y energía marina, entre muchas otras. La IEC también gestiona cuatro sistemas globales de evaluación de la conformidad que certifican si los equipos, sistemas o componentes se ajustan a sus normas internacionales. Todas las electrotecnologías están cubiertas por las normas IEC, incluida la producción y distribución de energía. Los estándares IEC abordan especificaciones generales, de seguridad y de transporte.
Underwriters Laboratories	UL es una organización independiente de certificación de seguridad de productos que, junto con otras organizaciones y expertos de la industria, publica estándares de seguridad basados en consenso. Ofrece certificación relacionada con la seguridad, validación, pruebas, inspección, auditoría, asesoría y capacitación de servicios a una amplia gama de clientes, incluyendo a fabricantes, minoristas, hacedores de políticas, reguladores, empresas de servicios y los consumidores. UL es una de varias empresas autorizadas para llevar a cabo pruebas de seguridad por la agencia federal estadounidense Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration, OSHA).

En cuanto a reciclaje y segundo uso de baterías, hasta la fecha no se registran normativas y estándares específicos. Para el reciclaje de baterías, actualmente cuando éstas son enviadas a plantas de procesamiento, se aplican las regulaciones tradicionales de cada país para el almacenamiento y manejo adecuados de residuos, y normativa específica medio ambiental conforme el tipo de tecnología que se esté utilizando para el proceso de reciclaje⁸⁴. Muy recientemente se encuentra en discusión parlamentaria en Europa la inclusión de una serie de medidas y requerimientos sustentables para la industria de las baterías ión litio⁸⁵. Entre ellas destacan:

- Exigir una disminución de la huella de carbono de carbono a los fabricantes de baterías de vehículos eléctricos.
- Aumentar el contenido de materias primas recicladas en la fabricación de nuevas baterías ión litio.
- Aumentar los niveles de eficiencia en la recuperación de materiales en los procesos de reciclaje.
- Dar obligatoriedad al segundo uso de baterías de electromovilidad que aún mantengan su vida útil y desempeño eléctrico.
- Mejorar el etiquetado de baterías para optimizar los procesos de manejo, reciclaje y segundo uso de éstas.

Este tipo de regulaciones aún se encuentran en fase de estudio en la Unión Europea.

⁸⁴ ESA, "ESA Corporate Responsibility Initiative: Guidelines for end-of-life and recycling of lithium ion battery energy storage systems," no. April, 2020, [Online]. Available: <https://energystorage.org/wp/wp-content/uploads/2020/08/ESA-Corporate-Responsibility-Initiative-Guidelines-for-End-of-Life-and-Recycling-of-Lithium-Ion-Battery-Energy-Storage-Systems.pdf>

⁸⁵ E. Parliament, "EU Legislation in Progress New EU regulatory framework for batteries Setting sustainability requirements," no. February, 2021.

Por su parte, para el segundo uso de baterías se comprende como método regulatorio, la aplicación de el mismo cuerpo o sistema de normas y estándares que se utilizan para el testeado de seguridad de baterías nuevas, las cuales fueron repasadas previamente.

9 Barreras y oportunidades regulatorias, técnicas y de mercado

En este ítem se realizará una descripción de las barreras y oportunidades regulatorias, técnicas y de mercado para la implementación de aplicaciones de segundo uso de baterías y reciclaje de baterías descartadas de electromovilidad, incluyendo un análisis de barreras y oportunidades derivadas del mercado eléctrico.

9.1 A nivel técnico

9.1.1 Barreras

- Para reciclaje: De acuerdo con la información levantada con recicladores de baterías, un problema latente para poder hacer efectivo el reciclaje de baterías ion litio, es la falta de conocimiento de la composición química de las baterías. Como ya se ha descrito previamente, actualmente existen diferentes tecnologías de baterías ion litio, cada una con su composición química especial. Por lo tanto, para la recuperación de determinados materiales de interés, y a su vez desarrollar una correcta evaluación económica de la rentabilidad en torno a la recuperación de materiales en el negocio de reciclaje, **el desconocimiento de una completa y precisa composición química de los diferentes modelos de baterías en el mercado, significa una brecha para el establecimiento de negocios en torno al reciclaje de baterías fuera de uso.**
- Para segundo uso: Dado que las BFU podrían potencialmente reutilizarse en bancos de energía de alto almacenaje o en vehículos eléctricos menores (scooter, bicicletas, etc), existe una alta probabilidad de que para poder llevar adelante su implementación -en la línea de la generación de confianza en el mercado-, sea necesario que éstas tengan que pasar nuevamente por procesos de certificaciones y testeos bajo estándares de calidad. Desafortunadamente, **ni en Chile ni en Sudamérica existe capacidad instalada para realizar testeos de seguridad bajo los estándares internacionales que se utilizan en este mercado** (Sección 5.1), representando una eventual brecha técnica para el desarrollo de modelos de negocio en torno al segundo uso.
- Para segundo uso: Para el desarrollo de proyectos de almacenaje estacionario de energía de alto nivel, refiérase a estaciones donde se puedan acumular grandes cantidades de energía proveniente de granjas de eólicas o fotovoltaicas, por ejemplo, y por tanto donde se deban usar un gran número de baterías de segunda vida que implique alta variabilidad en modelos, se hace indispensable contar con tecnología que permita homologar y convertir de manera adecuada el suministro energético a las baterías. Sobre todo, bajo la consideración que cada uno de estos módulos o packs tendrá su propia composición química y eficiencia de carga y descarga. Desafortunadamente, **esta no es una tecnología que esté disponible de forma masiva en el mercado, sino que más bien corresponde a tecnologías que se encuentran en proyectos de investigación o a nivel de servicios en startups muy escasas en el mundo.** Este problema puede ser resuelto en parte, al trabajar con baterías que provengan de marcas y modelos específicos.

9.1.2 Oportunidades

- Para reciclaje: Se observa una ventana de oportunidades en torno a proyectos de innovación en procesos de reciclaje. Tanto la incipiente evidencia nacional, como la avanzada experiencia internacional en reciclaje de BFU de ion litio permiten suponer que aún existen múltiples aspectos de proceso en los cuales se puede seguir desarrollando y optimizando, por ejemplo en la automatización de procesos de desmantelación de baterías (el cual sigue siendo bastante manual en el mundo), o en la optimización de procesos químicos para la recuperación de materias primas terminadas que puedan ser reincorporadas a nuevas baterías.
- Para segundo uso: Es posible apreciar, al igual que lo mencionado anteriormente, una brecha de oportunidades para desarrollar proyectos de innovación en torno al segundo uso, desde el desarrollo de nuevas tecnologías que habiliten el mercado, hasta iniciativas de asociación entre marcas de automóviles con startups y centros de investigación, como se observa en casos de éxito como el desarrollado por las

empresas RWE y Audi en Alemania⁸⁶, quienes se encuentran piloteando una planta de almacenamiento de energía a partir de baterías de segunda vida.

9.2 A nivel de mercado

9.2.1 Barreras

- Para reciclaje: Considerando las proyecciones estimadas de generación de baterías al 2030 en un escenario optimista, revisado en el Capítulo II, y contrastando con el peso promedio que tienen los packs de baterías, es posible estimar una producción de unas 4.800 toneladas al año de packs de baterías de electromovilidad al 2030 en Chile. En vista de que actualmente la única empresa que tiene capacidad de reciclar en específico baterías de ion litio (aunque actualmente está dedicado solo a baterías de electrónicos) es Ecominería, y que su capacidad instalada actual es de 120 toneladas al año, es posible concluir que **no existe capacidad instalada en Chile para reciclar la totalidad de baterías que se generarán en los próximos años.**
- Para reciclaje: A pesar de que en principio no existe una reticencia a tener que pagar por la disposición final en reciclaje de baterías – un símil a lo que está ocurriendo hoy en el reciclaje de otros residuos de alta complejidad, como el neumático o los electrónicos –, dado que hoy en día los volúmenes de baterías circulando en el mercado no son volúmenes importantes, las marcas importadoras tienen establecido como estrategia de disposición final en reciclaje de las baterías, simplemente su almacenaje y posterior envío a plantas de reciclaje en Europa o Norte América. Este modus operandi podría provocar un desincentivo a la inversión en el negocio del reciclaje a nivel nacional, dada la dificultad para poder proyectar los volúmenes efectivos disponibles para su reciclaje. **Esta incertidumbre de flujos de entrada de materia prima impide realizar evaluaciones económicas precisas que aseguren la rentabilidad del negocio al momento de invertir.**
- Para segundo uso: De acuerdo con la incipiente experiencia internacional, **no existe consenso en que se pueda por el momento alcanzar un precio competitivo de venta de las baterías usadas respecto el precio de una batería nueva.** Lo anterior bajo la consideración de lo que significa asumir costos de desmantelamiento desde el auto eléctrico, nuevos testeos de seguridad, transporte hasta el nuevo lugar de reutilización, entre otros. Los costos podrían alcanzar hasta los 300 USD/kWh, versus los 130 USD/kWh del precio actual de las baterías nuevas. Se destaca el desafío de desarrollar procesos industriales automatizados para el desmantelamiento de autos eléctricos para la remoción de baterías⁸⁷.

9.2.2 Oportunidades

- Para reciclaje: En la medida que se logren instalar empresas con procesos de reciclaje de baterías fuera de uso, se observa que **en Chile existe industria que podría absorber para reciclar y valorizar los volúmenes de materiales provenientes de las baterías que no corresponden a metales y minerales** de compuestos electroactivos, tales como carcasas metálicas, plásticos, elementos electrónicos, entre otros. Así mismo, dada la robusta industria minera en Chile, y con experiencia en tratado y recuperación de diversos metales y elementos, también existen claras posibilidades en encontrar mercado nacional para comercializar los materiales metálicos (Cobre, Hierro, Cobalto, Manganeso, Níquel, Litio, etc.) que se recuperarían desde los materiales electroactivos de las baterías.
- Para segundo uso: Al comparar con los recientes ejemplos y casos de éxito de segundo uso de baterías, ya sea en sistemas de almacenaje de alta energía, domiciliario, o en micromovilidad, no cabe duda que **Chile es un buen país candidato para desarrollar proyectos piloto de gran envergadura para el segundo uso de BFU de VE**, particularmente por los importantes avances de Chile en energías renovables y la posibilidad que eso ofrece para implementar estaciones de almacenaje estacionarios de energía.
- Tanto para reciclaje como para segundo uso, se hace imperante contar con un claro y eficiente sistema de gestión de las BFU. **Se visualiza la posibilidad de desarrollar sistemas de gestión** con características similares a lo que está ocurriendo actualmente con la entrada en rigor del decreto REP para neumáticos fuera de uso, considerando que serían residuos que provendrían de mismos importadores/productores.

⁸⁶ <https://bit.ly/3r4MOIR>

9.3 A nivel legal y de política pública

9.3.1 Barreras

- Desde el punto de vista regulatorio para BFU de VE, se requiere de la actualización de los sistemas normativos, con el fin de hacer frente a demanda inminente de opciones de valorización y reciclaje de Baterías, debido a la implementación de políticas como la Estrategia Nacional de Electromovilidad, especialmente en el área del uso de baterías como fuente de almacenamiento energético. En el área de REP, la situación de Chile no difiere de la realidad internacional, debido a que actualmente los esquemas REP a nivel global se encuentran en proceso de actualización debido al crecimiento del parque de VE y por consecuencia de la disposición de sus baterías.

9.3.2 Oportunidades

- Chile desarrollará el decreto que determinará las metas de recolección y valorización y otras obligaciones de productores de BFU, en el marco de la Ley 20920. Al respecto, se espera que las baterías de VE sean incluidas, con miras en su valorización como segunda vida, especialmente para aquellas provenientes del transporte público eléctrico, actualmente operativo en la RM. **De regularse este tipo de baterías en dicho decreto, se generarán la oportunidad y posibles incentivos para nuevos negocios en torno al segundo uso, reciclaje, valorización y/o recuperación de materiales.** Se observa también la posibilidad de desarrollar sistemas de gestión de residuos equivalente a los que se encuentran en lanzamientos para residuos como neumáticos fuera de uso.
- Es posible visualizar también la posibilidad de diseñar programas de financiamiento o subsidios para proyectos de innovación específicos en segundo uso de BFU, del tipo Corfo o colaboración público privado con marcas de automóviles para convocatorias de innovación abierta.

9.4 A nivel ambiental

9.4.1 Barreras

- Para reciclaje: A pesar de que los procesos que se utilizan actualmente para el reciclaje de baterías consideran la utilización de tecnologías y procesos industriales conocidos, y que por tanto la legislación ambiental y de salud permite cubrir su regulación y aprobación de pertinencia para la entrada en operación de plantas de este tipo, es importante mantener en revisión las exigencias en materia de consumo de agua y generación de riles peligrosos (como lo es en el caso de procesos hidrometalúrgicos).

9.4.2 Oportunidades

- Para segundo uso: Estudios ambientales recientes han mostrado que la reutilización de baterías para una segunda vida podría significar una disminución de gases de efecto invernadero en hasta un 32% respecto de la utilización de baterías nuevas o de primera vida, debido a la prolongación de hasta 5-7 años de uso de la batería, lo cual podría provocar una disminución en el impacto asociado a la extracción minera de materiales activos para la fabricación de nuevas baterías.

10 Proceso de entrevistas con los principales actores involucrados

Para el desarrollo de la Tarea 5 abordada en el presente Capítulo, se llevaron a cabo un total de 13 entrevistas a actores claves del mercado e instituciones ligadas a la electromovilidad, reciclaje y baterías. A nivel de metodología y para efectuar la ronda de entrevistas, estos actores fueron clasificados en categorías por área de pertinencia y competencia, siendo éstas área: técnica, mercado, legal y de política pública.

Las entrevistas tuvieron duración de 45-60 minutos cada una, todas se llevaron a cabo de manera telemática y estuvieron centradas en abordar de manera general la participación de los actores en los procesos de mercado y gubernamentales hacia las metas de electromovilidad, así como también profundizar específicamente en detalles técnicos y de mercado para abordar las necesidades de reciclaje y segundo uso de BFU.

A pesar de que no todas las empresas e instituciones pudieron estar disponibles para el proceso de entrevistas, sí se pudo concretar conversaciones claves con al menos un actor por cada una de las áreas estratégicas definidas en la metodología, con los cual se logró conseguir la información necesaria para desarrollar el análisis de esta tarea.

El detalle de las conversaciones de las respectivas entidades participantes del proceso es de uso confidencial de la consultora.

CAPÍTULO V

IDENTIFICAR OPORTUNIDADES DE NEGOCIO PARA EL FOMENTO DE SEGUNDO USO Y EL RECICLAJE DE BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD

11 Oportunidades de negocio identificadas

En este ítem se exponen las oportunidades de negocio identificadas mediante el encadenamiento de mecanismos de fomento de segundo uso y reciclaje de baterías de electromovilidad.

La electromovilidad es una de las transformaciones globales comparables al cambio tecnológico hacia los motores a combustión en la industria del transporte, como se expresa en los países anglosajones es un “Game Changer”. La cadena de valor y producción en la electromovilidad abarca desde la industria primaria (ej. minerales y materias primas) hasta procesos de innovación de alta tecnología (ej. Pirometalurgia, hidrometalurgia, gestión de datos, algoritmos, entre muchos otros). Los alcances de la electromovilidad son estructurales comprendiendo cambios en regulaciones, normativas y procesos de gestión de información y conocimiento desde la academia, sector privado y público⁸⁷. A nivel global, no existe duda alguna que esto representa evidentes oportunidades a nivel económico en el corto, mediano y largo plazo.

Como se menciona en capítulos anteriores, aproximadamente un tercio del valor de los autos eléctricos tiene relación al costo de producción de las baterías, debido a la alta tecnología que significa desarrollarlas, como también, las presiones a nivel de precios que se ven sujetos sus principales componentes, litio, níquel, cobalto, manganeso, cobre, entre otros materiales. El “segundo uso/segunda vida” de la batería se presenta como una estrategia promisoría, la cual permite recuperar el valor de la batería permitiendo una “segunda vida”. La gestión de la batería tanto a su nivel de segundo uso como reciclaje son condiciones necesarias para que la electromovilidad represente una estrategia válida de mitigación y adaptación al cambio climático.

La electromovilidad se presenta como una de las estrategias más promisorias para desacoplar la industria del transporte y el sector de energía de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y se encuentra dentro de las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC's, siglas en inglés) de cambio climático de gran parte de los países pertenecientes al Acuerdo de París. Sin embargo, las oportunidades de mitigación y adaptación al cambio climático que podría brindar la electromovilidad están condicionada a: la evolución de las tecnologías en reciclaje y segunda vida de las baterías y a los cambios institucionales (legislación, normas, estándares y certificaciones) necesarios para asegurar la sostenibilidad del flujo de materias primas (ej. minerales obtenidos de reciclaje) y reducir los riesgos para la salud humana y del medio ambiente.

La experiencia internacional apunta a que los beneficios económicos del segundo uso de la batería y su reciclaje de materiales solo será posible si existen cambios en la institucionalidad (ej. legislación, normativas y subsidios semillas), fomento al financiamiento, innovación en tecnologías y el desarrollo de nuevos estándares técnicos⁸⁸. Los modelos de negocio (figura 12) para el segundo uso de las baterías y su reciclaje de materiales son sitio-específicos ya que dependen de los contextos institucionales, de las condiciones de relaciones positivas o negativas del precio de las materias primas, conocimientos en procesos de remanufactura de baterías de Ion Litio y de la promoción de la economía circular a nivel de gobiernos⁸⁹. A lo largo de la última década la economía circular se ha posicionado como un instrumento estratégico en la articulación de políticas públicas a nivel de cambio climático y en la gestión de flujo de materiales (residuos y subproductos) permitiendo alianzas público - privadas para el desarrollo de modelos de negocio que permitan la mitigación de GEI y la reducción de los impactos ambientales en los procesos productivos.

87 Levänen, J. et al (2018). Modelling the interplay between institutions and circular economy business models: A case study of battery recycling in Finland and Chile. *Ecological Economics*, 154, 373-382.

88 Wrålsen, Benedikte, et al. "Circular business models for lithium-ion batteries-Stakeholders, barriers, and drivers." *Journal of Cleaner Production* 317 (2021): 128393.

89 Levänen, J. et al (2018). Modelling the interplay between institutions and circular economy business models: A case study of battery recycling in Finland and Chile. *Ecological Economics*, 154, 373-382.

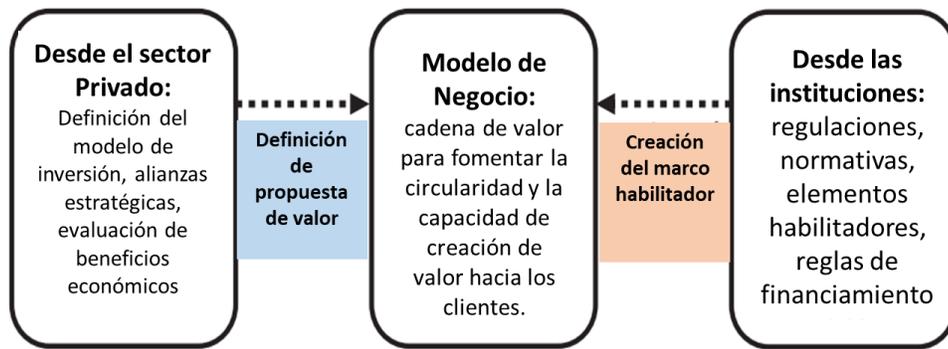


Figura 12. Diagrama para el análisis de avances en institucionalidad y modelos de negocio

Las oportunidades de negocio en el reciclaje y segundo uso de las baterías son altamente promisorias, sin embargo, deben estar sustentadas por modelos de negocios robustos para el mediano y largo plazo. La experiencia internacional demuestra que los modelos de negocio en el reciclaje y segunda vida de baterías requieren de inversiones considerables desde el sector privado, de modelos financieros de múltiples actores, por tanto, el sector financiero juega un rol fundamental. Por el hecho de que los modelos de negocio requieren de altas inversiones, los aspectos institucionales y los instrumentos de política a nivel de ministerios juegan un rol clave en generar los marcos habilitadores necesarios. El sector privado requiere de un contexto institucional de reducción de incertidumbre para generar modelos financieros de volúmenes de inversión significativos. Existen pocos estudios que analicen la compleja interacción entre los cambios institucionales que crean marcos habilitadores adecuados para el desarrollo de modelos de negocios exitosos, sin embargo, existe un gran consenso que en la medida en que “Las Reglas del Juego” se encuentran claras, el sector privado y la institucionalidad conforman una arquitectura virtuosa que opera en sincronía bajo objetivos comunes, en este caso el reciclaje y la segunda vida de las baterías. Esto requiere de un diálogo permanente entre ministerios, industrias y la academia para generar proyectos piloto que permitan analizar de manera sistémica las actividades de negocios claves y como estas se ven influenciadas por la institucionalidad existente (a nivel de barrera o de catalizador) y de cuáles deberían ser los ajustes a nivel de regulaciones para lograr coherencia institucional de largo plazo, requisito necesario para inversiones de gran volumen.

A nivel global estos modelos de negocio se están poniendo a prueba tanto en el segundo uso de la batería como en las oportunidades que abre el reciclaje de materiales. Esto no hubiese sido posible sin la participación de instituciones de gobierno y la creación de los marcos habilitadores necesarios, algunos ejemplos:

- El Gobierno de China ha legislado para que todos los fabricantes e importadores de vehículos eléctricos presenten un plan viable de reciclaje o segundo uso de baterías.
- La Comunidad Europea⁹⁰ ha establecido un plazo definitivo al 1 enero del 2027 de niveles mínimos de reciclaje para todas las empresas manufactureras e importadoras de baterías, además de estándares electroquímicos, durabilidad, trazabilidad y los requerimientos necesarios para promover el segundo uso de las baterías.
- El Gobierno de Estados Unidos ha generado un sistema de monitoreo de reciclaje y gestión de baterías a partir de las regulaciones federales para lo cual utilizan las organizaciones Earth 911 database y Call2Recycle para ayudar al sector privado y consumidores a encontrar puntos de recolección y lugares certificados para el manejo y gestión de la batería en su segundo uso.
- En Canadá hay al menos tres provincias que tienen programas obligatorios de reciclaje y segundo uso de baterías.

El año 2021 se realizó un extenso estudio⁹¹ del cual participaron 45 expertos de 7 países de Europa y Norte América, participaron delegados de empresas como Nissan, Hitachi, Apple, entre otras. El estudio rankea las principales barreras, oportunidades y actores para el desarrollo de modelos de negocios en la gestión de baterías. Dentro de los principales motivadores “Drivers” se menciona a las políticas y regulaciones a nivel nacional e internacional ya que estas configuran el set de reglas donde se desenvolverán los modelos de negocio. Entre los principales actores se mencionan las estructuras de gobierno y la estabilidad de estos, luego, la industria automotriz y las manufacturas de

⁹⁰ [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI\(2021\)689337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf)

⁹¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621026068>

baterías y productores de materias primas. Entre las barreras se mencionan, los requerimientos de apalancamiento financiero, generar capacidades de alta tecnología y la falta de estándares para el reciclaje y segundo uso de las baterías.

Al evaluar los distintos modelos de negocio, la experiencia internacional apunta a dos modelos de negocio prioritarios: i) remanufacturar + reuso + reciclaje + gestión de residuos y ii) extensión del ciclo de vida desde el diseño, servicios complementarios y remanufactura⁹². Si bien, estos no son los únicos modelos de negocios posibles, demuestra que existe una tendencia internacional a generar cierto nivel de alianza entre subprocesos. Uno de los elementos de mayor importancia en los modelos de negocios es la “Propuesta de Valor” a continuación se presentan las principales propuestas de valor para el reciclaje y segundo uso de baterías.

11.1 Reciclaje de baterías Ion- Litio (electromovilidad) “Tendencias en el desarrollo de modelos de negocio”

En la actualidad existen tres tipos principales de baterías: i) níquel-cobalto-aluminio, ii) hierro-fosfato y iii) níquel-manganeso-cobalto, las empresas recicladoras se centran en los metales del cátodo, como el cobalto y el níquel, los que presentan una mayor escasez y alcanzan precios elevados. El precio potencial de estos minerales dependerá de su pureza y condiciones de mercado⁹³. Como se menciona en los capítulos anteriores existen dos técnicas para la obtención de minerales, la Pirometalurgia y la Hidrometalurgia. En la literatura científica se puede observar que ciertas empresas utilizan ambas tecnologías para obtener de mejor manera los metales de interés, esto debido a que el rendimiento económico depende tanto de la pureza como de los costos del reciclaje. Ambas tecnologías de obtención de materiales por medio del reciclaje son altamente intensivas en energía e insumos, lo cual aumenta los costos de extracción, sin embargo, en la medida que ciertos metales presenten escasez y sus precios internacionales se mantengan alto puede significar una interesante oportunidad de negocio. No obstante, los analistas internacionales de commodities mantienen la postura que el reciclaje de minerales relacionado a la electromovilidad seguirá compartiendo el mercado con la industria minera, debido al menor costo que significa extraer estos materiales. Las consideraciones legislativas a nivel de medio ambiente es otro elemento que se debe considerar en estos modelos de negocio ya que tanto la industria de la minería como la del reciclaje de materiales se encuentran bajo la tendencia de un desarrollo bajo en carbono “low carbon economy, en inglés” lo cual puede fomentar las integraciones entre minería y reciclaje de materiales. Además, es importante señalar que la legislación ambiental juega un papel esencial, ya que tanto la pirometalurgia como la hidrometalurgia generar importantes impactos en los ecosistemas, los cuales están siendo mitigados a partir de distintas evoluciones tecnológicas para diseñar sistemas de reciclaje de bajo impacto.

11.1.1 Tendencias de Modelos de Negocios

Las tendencias de modelos de negocios en el reciclaje de las baterías de Ion-Litio varían en su propuesta de valor, arquitectura institucional y lugar geográfico donde se desarrollan. La búsqueda se realizó a partir del siguiente algoritmo “Recycling Lithium Ion Batteries Business Model” en Google, excluyendo todo anuncio y solo tomando en consideración website de empresas y organizaciones formalmente constituidas. La extensión de búsqueda se realizó hasta que se observó recurrencias en empresas y propuestas de valor.

92 Wrålsen, Benedikte, et al. "Circular business models for lithium-ion batteries-Stakeholders, barriers, and drivers." *Journal of Cleaner Production* 317 (2021): 128393.

93 <https://www.science.org/content/article/millions-electric-cars-are-coming-what-happens-all-dead-batteries>

Tabla 46. Empresas y propuestas de valor para el reciclaje de baterías de Lithium Ion en electromovilidad.

Propuesta de valor	Organización	País	Publico Privada	Privada	Link	Tipo de Tecnología
Generar cadenas de suministros de "closed loops" mediante recuperación, reciclaje y recirculación de materiales, cobalto, cobre y níquel de las baterías de final de vida útil.	Redwood Materials	EEUU		x	https://www.redwoodmaterials.com/	Combinación de pirometalurgia eliminar los materiales orgánicos y plásticos no deseados e hidrometalurgia, que utiliza la lixiviación para sumergir las células de iones de litio en ácidos para disolver los metales en una solución.
Se recuperan todos los materiales críticos de las baterías de Ion - Litio y se reintroducen a la cadena de suministros a partir de "Closed Loops"	Li-Cycle	Canada		x	https://li-cycle.com/	Se evitan los procesos térmicos y se prioriza la lixiviación para recuperar cerca del 95% de las materias primas y fomentar la economía circular.
El reciclaje directo consiste en la recuperación, regeneración y reutilización de los componentes de las pilas directamente sin romper la estructura química. Al mantener el valor del proceso en los componentes originales de la batería, se puede suministrar a los fabricantes de baterías un material reconstituido de menor costo.	ReCell Center	EEUU	x		https://recellcenter.org/	Estrategias basadas en ciencia del reciclaje directo, alianzas con diversas universidades del país.
La propuesta de valor se centra en tres componentes: i) Pasaporte de las Baterías: establecer criterios, datos, puntos de trazabilidad a nivel global para transparentar la información de las baterías, ii) Cobalt Action Partnership: monitorear las condiciones socio-ambientales de la cadena de suministro del cobalto y 3) Acceso a la energía a través de la economía circular.	Global Battery Alliance	EU	x		www.globalbattery.org	90 + empresas, gobiernos, universidades y centros de investigación especializados que investigan sobre tecnologías para la gestión de las baterías de Ion Litium.

Se obtienen valiosos materiales del cátodo para la industria mundial de baterías de litio en vehículos eléctricos. El proceso elimina la necesidad de calor y de hornos, ya que la recuperación de los metales tiene lugar a temperatura ambiente.	American Manganese	EEUU	x	https://americanmanganeseinc.com/	Utilización de un proceso hidrometalúrgico patentado (https://recyclico.com/) que recupera el 100% del cobalto y el 87% del litio de la batería de iones de litio.
Recolección de baterías a nivel global, recuperando minerales contenidos en baterías en mal estado evitando la disposición final en rellenos sanitarios	ECONILI BATTERY	Singapore	X	https://econilib2b.com/	Alta Tecnología de desmantelamiento.
Proceso que no requiere fusión o calentamiento de módulos de baterías. Es un sistema Eco-Friendly basado en un proceso hidrometalúrgicos.	Duesenfeld	Alemania	x	https://www.duesenfeld.com/index.html	Recuperación de electrolitos sin dañar el núcleo de una batería. La tecnología aplica temperaturas de congelación para borrar los efectos nocivos de los electrolitos y añade agua por destilación del electrolito para catalizar.

Esta búsqueda preliminar permite observar que las iniciativas existentes son tanto privadas (**número de iniciativas encontradas solo privadas =3**) como público – privadas (**número de iniciativas encontradas público – privadas =4**). Las iniciativas privadas se caracterizan por una alta inversión e integraciones verticales con las principales marcas automotrices, canales de suministro de materia prima estandarizados y un desarrollo tecnológico enfocado a obtener una alta pureza del producto, optimización de costos y una reintegración de materiales a la cadena de producción para reducir los impactos ambientales de materiales vírgenes. La tecnología predominante es la hidrometalurgia bajo distintos desarrollos tecnológicos.

Las iniciativas público – privadas presentan una alta participación de instituciones de gobiernos en conjunto con departamentos de investigación de diversas universidades que trabajan en conjunto con las empresas. Esto permite una alta integración de datos (Corporate data), acelerar procesos de desarrollo tecnológico y generar círculos virtuosos de información e innovación, permitiendo afianzar políticas y estándares que van modelando el mercado desde lo público hacia lo privado y vice y versa. Uno de los ejemplos interesantes de analizar es Global Battery Alliance, quienes trabajan del diseño de políticas de alto nivel en conjunto con departamentos de investigación, Startup y la industria automotriz de Europa.

Para que una oportunidad de negocio se transforme en un modelo de negocio prospero debe cumplir con los análisis básicos de evaluación de proyectos, Valor Actual Neto (VAN) mayor que cero y una Tasa Interna de Retorno (TIR) que sea atractivo para los inversionistas. Este último elemento será un punto para evaluar, por las posibles alzas de tasas de interés que imponga en Banco Central próximamente. Además, los procesos de reciclaje deben ofrecer un equilibrio en términos de precios de mercado, calidad de los minerales y una correcta evaluación de la frecuencia en los suministros y flujo de primas, ya que las empresas de reciclaje requieren de volúmenes mínimos de operación, de otra manera los flujos financieros no son atractivos. Estos aspectos esenciales de los posibles modelos de negocios deben ir acompañado de una estrecha comunicación con los tomadores de decisión, los cuales por medio de regulaciones pueden beneficiar a que los flujos de materias primas sean los adecuados, además de requerir la información de base de la batería para conocer su composición y porcentaje de cada uno de los materiales, esto permitiría afianzar los modelos de negocio en reciclaje a lo largo del tiempo.

11.2 Segundo Uso de Baterías Ion- Li (electromovilidad) “Tendencias en el desarrollo de modelos de negocio”

La creciente demanda de vehículos eléctricos generará al menos 250 000 toneladas métricas de baterías de Ion-Litio que deberán ser gestionadas para finales del año 2025. Este contexto presenta una interesante oportunidad de utilizar las baterías que aún tienen al menos el 80% de su capacidad de almacenaje en sistemas de *backup* para energías renovables como la solar y la eólica permitiendo fortalecer los compromisos de mitigación al cambio climático que Chile ha firmado durante la última década. El Segundo Uso de baterías (SUB's) contempla beneficios a nivel económicos, por los bajos costos de mantención y adecuación para su segundo uso y beneficios ambientales por no requerir todos los subprocesos de disposición final o de reciclaje. A nivel de mercado el segundo uso de las baterías podría representar cerca de 200 GWh para el año 2030 equivalente a un valor de mercado de 30 billones de dólares⁹⁴. Esta estrategia de gestión de batería se encuentra en total coherencia con los principios de la economía circular, donde se obtendrían beneficios económicos y una importante reducción de los impactos ambientales. Sin embargo, para que estas iniciativas sean posibles aún existen importantes desafíos institucionales, técnicos y de innovación en tecnología.

Un sistema de almacenaje de energía está compuesto por celdas de baterías ensambladas en módulos dispuesto en un diseño de repisas conectadas a distintos sistemas de control, los cuales permiten medir la degradación, la carga eléctrica, la potencia, entre otras características. Uno de los aspectos de mayor complejidad es establecer de manera precisa el proceso de degradación en que se encuentra la batería en relación con los cambios en energía, resistencia interna y el desvanecimiento de la potencia⁹⁵. Las baterías para su segundo deben pasar por un complejo testeo antes de ser parte de un ecosistema eléctrico, perturbaciones en el comportamiento de las baterías, celdas en mal funcionamiento, pueden generar aumentos de temperaturas y posibles explosiones. Para este tipo de análisis se utilizan testeos de carga y descarga y complejos algoritmos matemáticos para definir que baterías son elegibles para su segundo uso.

Luego de los procesos anteriormente mencionados, las baterías pasan a un sistema de desmontaje, en ocasiones el pack de baterías de segundo uso no requiere desmontaje, ya que sus condiciones son óptimas, sin embargo, todas las baterías de segundo pasarán en algún momento por un proceso de desmontaje. Este incluye, apertura de la carcasa, retirar las conexiones eléctricas y mecánicas y piezas electrónicas auxiliares, finalmente la

94 <https://www.nature.com/articles/s43246-020-00095-x>

95 Shahjalal, Mohammad, et al. "A review on second-life of Li-ion batteries: prospects, challenges, and issues." *Energy* 241 (2022): 122881.

extracción de la celda. Este proceso se puede realizar manualmente, sin embargo, en la actualidad se están desarrollando desmontajes automatizados. La complejidad este proceso se origina que para evitar la oxidación en los cátodos los paquetes de baterías deben desmantelarse en atmosfera controlada.

El desarrollo de modelos de negocio de mediano y largo plazo aún encuentran desafíos y barreras. Las garantías de inversión es una de las más complejas, mientras las baterías nuevas bajan de precios, el efecto en rentabilidad del segundo uso disminuye, debido a que los costos de reutilización (desmontaje, implementación de sistema de gestión de las baterías y reensamblaje) aún son demasiado altos e involucra desafíos tecnológicos importantes. Además, sistemas que incorporan baterías con características distintas, hacen más complejo y costoso conocer el estado de carga y descarga "State of Health" de la batería para riesgos en seguridad de los sistemas. No obstante, la reducción de impactos ambientales y la urgencia de mitigar el cambio climático transforman al segundo uso de la batería como una estrategia viable para modelos de negocios con beneficios económico y ambientales en el mediano plazo.

11.2.1 Tendencias de Modelos de Negocios

Como en el caso de las propuestas de valor de los sistemas de reciclaje, las tendencias de modelos de negocios en el segundo uso de las baterías de Ion-Litio varían en su propuesta de valor, arquitectura institucional y lugar geográfico donde se desarrollan. Al igual que la búsqueda anterior la búsqueda se realizó a partir del siguiente algoritmo "Second Use Lithium Ion Batteries Business Model" excluyendo todo anuncio y solo tomando en consideración website de empresas y organizaciones formalmente constituidas. La extensión de búsqueda se realizó hasta que se observó recurrencias en empresas y propuestas de valor. Es importante mencionar que en el caso de las aplicaciones de segundo uso se observó una gran diversidad de aplicaciones y de propuestas de modelos de negocios, sin embargo, se sistematizó las que por literatura presentaban mayor innovación y consolidación en el mercado.

Tabla 47. Empresas y propuestas de valor para el segundo uso de baterías de Lithium Ion en electromovilidad.

Propuesta de valor	Organización	País	Publico-Privada	Privada	Link	Tipo de Tecnología
Smartville desarrolla tecnologías para baterías en una "segunda vida" proporcionando almacenamiento estacionario barato para los hogares, las empresas y la red eléctrica.	SMARTVILLE	EEUU	X		https://smartville.io /	Control distribuido de baterías, balance estandarizado de ecualización, integración rápida, trabajo con múltiples módulos y paquetes.
Maximizar el valor de cada batería. Utilización de baterías de segundo uso en estaciones de carga para coches y estaciones de almacenamiento para hogares y empresas.	Rejoule	Canadá	x		https://www.rejouleenergy.com/	Sistemas de caracterización rápida y de precisión de baterías de segundo uso. Técnicas de espectroscopia de impedancia electroquímica, caracterización de potencia de impulso híbrido (HPPC). Diagnóstico para degradación (pérdida de litio activo, el crecimiento de la capa SEI, etc.).
Servicio integrado en la gestión de la batería desde el automóvil eléctrico hasta servicios de almacenaje de energía para fines residencia y comercial "Energy Share".	NISSAN	Global		x	https://global.nissanstories.com/en/releases/4r	Sistema diseñado a partir de las 4R reúso, remanufactura, backup energía solar y eólica y servicio de reciclaje.
E-Stor, utiliza baterías de vehículos eléctricos de Renault en su segunda vida. Esta tecnología permite almacenar la energía mediante una alimentación de baja potencia y liberar la energía almacenada a potencias elevadas. mayor sistema de almacenamiento de energía en baterías de segunda vida, el E-STOR. Utilizando las baterías de Renault, estos sistemas son una parte fundamental del aprovechamiento de la economía circular para proporcionar almacenamiento de energía a escala industrial.	Renault - Connected Energy	Global		x	https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/the-challenges-of-stationary-energy-storage/	https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/what-is-the-smart-grid/
Tecnología inteligente de gestión y control de baterías para aumentar la vida útil y la fiabilidad de los paquetes de baterías de iones de litio para el almacenamiento de energía estacionaria y los vehículos eléctricos.	Brill Power	UK		x	https://brillpower.com/	Combinación de hardware y software que cambia las reglas del juego y optimiza el uso de las celdas de iones de litio dentro de un paquete de baterías https://brillpower.com/technology/#battery-management-redefined
Innovación en tecnología para estandarizar ensamblado y gestión de datos para baterías preparadas para la economía circular.	Aceleron	UK		x	https://www.acceleronenergy.com/en/information-hub	Tecnología basada en ciclos de cascada para la trazabilidad de todos los componentes que conforman la batería

Tecnologías para mejorar la conversión, el almacenamiento, el transporte y la eficiencia de la energía utilizando el carbono como material. Diseño a partir del ciclo de vida de los productos.	NAWA Technologies	Francia	x	http://www.nawatechnologies.com/en/technology/#	Diseño y gestión de las baterías a partir de nanotecnología
---	-------------------	---------	---	---	---

Al igual que en el caso de reciclaje, se observa que las iniciativas existentes son tanto privadas (**número de iniciativas encontradas solo privadas =4**) como público – privadas (**número de iniciativas encontradas público – privadas =3**). Las iniciativas privadas se desarrollan por grandes empresas de la industria automotriz, las cuales buscan generar un valor agregado dentro de sus servicios de venta de automóviles. La tendencia indica que la industria automotriz busca generar ecosistemas de conexión eléctrica, permitiendo utilizar la capacidad de la batería del automóvil en distintas situaciones, ya sea residencia, carga móvil, como almacenaje de sistemas residencias fotovoltaicos hasta en sistemas micro – grid. Estas empresas cuentan con departamentos especializados de investigación y desarrollo, los cuales trabajan en conjunto con universidades para el desarrollo de software y hardware.

Las iniciativas público – privadas han logrado un crecimiento sostenido en los últimos años, estas permiten identificar soluciones a los vacíos tecnológicos e institucionales, con grandes aportes a la innovación fortaleciendo Startup que luego se convierten en negocios rentables. Las alianzas público – privadas permiten evitar las regulaciones innecesarias que suelen crearse por parte de los tomadores de decisión al no ser expertos en la materia. El futuro de la utilización de baterías de segundo uso depende de la evolución de las normativas, estandarizaciones, estrategias de reagrupación, obtención de datos históricos del comportamiento de las baterías y esencialmente la seguridad en toda la cadena de procesos de los ecosistemas eléctricos basados en baterías de segundo uso.

11.3 Propuesta inicial para el desarrollo de modelos de negocios

Las experiencias internacionales apuntan a que estos desafíos son abordables y solucionables. China y el estado de California ya cuentan con políticas de segundo uso de baterías evidenciando los beneficios económicos y ambientales que son de manera inmediata, evitando los costos de desmontar y el reciclaje de materiales. En el mismo estado de California las Startups RePurpose Energy, Smartville Energy y ReJoule, recibieron 3 millones de dólares, cada empresa, para procesos de validación de tecnologías. La empresa General Motors, es otro actor importante que tiene su mirada en futuros modelos de negocio en la implementación de la economía circular para su oferta de vehículos eléctricos. El reciclaje y la segunda vida de la batería no se pueden evaluar como opciones aisladas, son muy posiblemente parte de un mismo modelo de negocio, ambas son estrategias viables para reducir la huella de carbono de la electromovilidad y cumplir con los objetivos de las NDC que ha suscrito el Gobierno de Chile.

La electromovilidad es una tendencia que cambiará la manera con que interactuamos con los ecosistemas eléctricos. Es evidente que existen oportunidades de negocios, sin embargo, identificar una oportunidad de negocio dista en magnitud de lograr un modelo de negocio sostenible en el tiempo. A lo largo de la revisión de casos internacionales tanto en reciclaje de baterías de Ion Litio y su “segunda vida” la tendencia apunta hacia modelos de negocios de integración vertical en reciclaje y de integraciones “*business to business*”. La experiencia internacional en modelos de negocios a nivel privado señala que se requiere una fuerte inversión en capital financiero y departamentos de I + D consolidados. A nivel público – privado se establecen vinculaciones entre instituciones de gobierno, universidades y empresas. Los modelos de negocios observados a nivel internacional tienen las siguientes cualidades y atributos:

- a) Una propuesta de valor orientada hacia la economía circular, gestionando los ciclos cerrados y abiertos, generando integraciones verticales en la cadena de valor, en especial en reciclaje, y alianzas estratégicas con otras empresas para la generación de servicios de almacenaje de energía a distintas escalas.
- b) Identificación de socios y actores claves los cuales están orientados a un proceso de toma decisiones enfocado en políticas globales (ej. cambio climático, economía circular, gestión de cero residuos, entre otras). Esta integración de actores incluye a las principales empresas de la industria automotriz, las empresas de remanufactura, reciclaje y a los centros de investigación e innovación.
- c) Definición de actividades claves para el avance a nivel de desarrollo de tecnologías, data management e identificación de requerimientos normativos para la generación de estándares a nivel de sistemas de reciclaje y segunda vida de las baterías.
- d) Diseño de modelos financieros de largo plazo que incluyen dentro de sus propuestas de valor reducir los impactos ambientales y reducir riesgos a posibles barreras en tecnologías (ej. patentes) como a nivel de mercados a nivel de precios de materias primas y cambios en la matriz energética.

Los atributos observados en modelos de negocio a nivel internacional es una pauta coherente para la construcción de una Hoja de Ruta de inversión para la segunda vida y reciclaje de baterías de Ion Litio proveniente de la transformación hacia la electromovilidad. La carbono-neutralidad de Chile depende de la continuidad en el desarrollo de la electromovilidad, en esta línea la gestión de las baterías es esencial. Los modelos de negocios presentados en esta sección han sido posibles a través de un avance a nivel de instituciones y fomento a I + D. La utilización de los

instrumentos de políticas deberá avanzar en el apoyo de proyectos piloto, con énfasis en evaluar la viabilidad técnica y financiera, analizar la cadena de valor y las posibles colaboraciones tanto de nivel de reciclaje y de segundo uso de baterías. Especial énfasis en asegurar y analizar el flujo de oferta a nivel de baterías y suministros. El logro de la economía circular en la electromovilidad dependerá de cómo se evalúen los beneficios económicos y los impactos ambientales a través de todo el ciclo de vida de las baterías.

Chile tiene condiciones privilegiadas para el desarrollo de energías renovables, es un país con una industria minera de gran escala, el reciclaje de las baterías de Ion Litio puede integrarse fácilmente a la cadena de valor de la minería ya que los canales comerciales en minerales ya se encuentran operativos, sin embargo, el flujo de materia prima debe ser constante. El potencial en energía renovable en el norte de Chile permitiría testear y desarrollar sistemas de almacenaje de gran escala. Sin embargo, para el desarrollo de estos modelos de negocio la institucionalidad debe hacer mandatorio la gestión de baterías proveniente de EV.

Como se menciona a lo largo del documento la gestión de baterías a través de Ley REP en el mundo es aún incipiente. En Chile los decretos que han tenido mayor grado de avance en Ley REP son los de la industria del neumático y envases y embalajes, sin embargo, lo que demuestra la experiencia internacional, la gestión de baterías proveniente de la electromovilidad tiene mayores desafíos técnicos, de estandarización y de implementación. La Aceleradora de Electromovilidad, el proyecto piloto de la Pontificia Universidad Católica en conjunto con Clever Group y las iniciativas que se encuentra desarrollando Nissan Chile son claves para entregar los primeros datos concretos sobre que debería incorporar la Ley REP en baterías Ion Litio para lograr desarrollar modelos de negocio exitosos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES DEL CONSULTOR

12 Conclusiones

Chile ha sido reconocido como un pionero a nivel Latinoamericano en materia de electromovilidad, y se ha convertido en un ejemplo en la región para la electrificación del transporte público debido en gran parte por el gran avance del sistema RED en Santiago, adicionando, además, compromisos en esta materia para todo el parque automotriz. La Estrategia Nacional de Electromovilidad, ya aprobada, compromete a que para el año 2035 el 100% de los vehículos que se vendan en el país deben ser eléctricos o híbridos.

Actualmente en Chile, las baterías de LiBs son la tecnología mayormente empleada en vehículos eléctricos y se espera que este tipo de baterías se mantengan en el tiempo, hasta por lo menos 30 años más. No obstante, el crecimiento de este mercado implica también un aumento de las Baterías Fuera de Uso (BFU) que provendrán inicialmente de buses eléctricos ya en funcionamiento en la Región Metropolitana, y posteriormente del parque automotriz. Estas proyecciones apuntan, bajo el análisis de un escenario moderado, que la energía de baterías en desuso será de 20,3 GWh para el año 2050, con total acumulado entre el año 2022 y el año 2050 de 44 GWh. El desarrollo de la electromovilidad es uno de los pilares de mayor importancia para cumplir con los compromisos de cambio climático suscrito por Chile, sin embargo, los resultados en mitigación están directamente relacionados a una eficiente gestión de las BFU. A lo largo de este documento se han mencionados distintas alternativas que se desarrollan a nivel global, con énfasis inicialmente en la segunda vida de las baterías en servicios de almacenamiento estacionario, respaldo en sistema de On y Off- Grid, electrolinerías como sistema de cargas, respaldo domiciliario y en micromovilidad.

Es inevitable que la batería ya no puede ser usada en otras aplicaciones, su destino deseado es en una planta de reciclaje, del tipo pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas y de manera directa en un desmontaje mecánico. Estos procesos, permiten recuperar materiales valiosos como el cobre, cobalto, níquel. No obstante, estos desarrollos solo serán posibles si existe un avance sustancial en: certificaciones, normativas que permitan acceder a la información de origen y composición de las baterías, proyectos pilotos que permitan generar algoritmos apropiados para normalizar el equilibrio eléctrico, desarrollar tecnologías de testeo para mejorar la seguridad en los sistemas de almacenamiento y desarrollar tecnologías de reciclaje donde la obtención de materiales valiosos tengan un flujo de materiales de manera continua, regulada y que estos sistemas sean amigables con el medio ambiente. Como se ha logrado observar a lo largo del documento la tendencia es el desarrollo de sistemas que reduzcan la huella de carbono, logren economía circular y se mitiguen las externalidades negativas al medio ambiente.

En el caso de Chile, las alternativas factibles para dar un segundo uso y reciclar las baterías, presentan brechas que dificultan abordar una gestión sostenible de este tipo de residuos debido principalmente a aspectos técnicos, regulatorios y de mercado. Las principales barreras identificadas para la segunda vida de las baterías son más bien regulatorias y técnicas debido a la necesidad del desarrollo de nuevas tecnologías. En reciclaje, la principal barrera es la capacidad instalada para poder reciclar la totalidad de baterías que se generarán en los próximos años. Como se mencionó previamente, en vista de las proyecciones estimadas de generación de baterías al 2030 en un escenario moderado (40.657 baterías), es posible estimar una producción de unas 4.800 toneladas al año de packs de baterías de electromovilidad al 2030 en Chile, lo cual contrasta con las ~120 ton/año de capacidad de procesamiento que se encuentran disponibles actualmente en Chile. Solo el 2,5% de la generación de baterías estaría cubierta. A pesar de este escenario la industria se muestra dispuesta a generar mayores inversiones para aumentar la capacidad de procesamiento en la medida que se generen mayores incentivos a la electromovilidad y existan mayores certezas con respecto a volúmenes que se podrían generar y comenzar a gestionar para reciclaje.

Adicionalmente, el etiquetado de las baterías es también una barrera importante para informar no solo su capacidad, sino también los materiales que incluye, lo que es necesario para la proyección de las tasas de recuperación. Dentro del contexto de esquemas de Responsabilidad Extendida del Productor, el estudio internacional realizado demostró que los países más avanzados en esta área se encuentran hoy en un proceso de actualización de las normativas asociadas, para incluir la gestión sostenible de BFU provenientes de electromovilidad. Dentro de las principales brechas existentes están la definición de la responsabilidad del productor para baterías de electromovilidad en un segundo uso, metas de recolección y valorización para residuos de baterías al terminar su segundo uso, como recuperación de materiales.

Dentro del contexto de esquemas de Responsabilidad Extendida del Productor, el estudio internacional realizado demostró que los países más avanzados en esta área se encuentran hoy en un proceso de actualización de las normativas asociadas, para incluir la gestión sostenible de BFU provenientes de electromovilidad. Dentro de las principales brechas existentes están la definición de la responsabilidad del productor para baterías de electromovilidad en un segundo uso, metas de recolección y valorización para residuos de baterías al terminar su segundo uso, como recuperación de materiales.

En Chile, el proceso de definir las obligaciones para los productores de baterías estará pronto en desarrollo, donde existe la oportunidad de abordar la problemática de BFU de electromovilidad dentro del decreto correspondiente. Esto considerando que en el corto plazo existirán residuos baterías del transporte público, que deberán estar bajo la Ley 20.920 para su recolección y valorización. Sin embargo, para que la Ley 20.920 o Ley REP tenga el efecto deseado en la generación de modelos de negocios sostenible en el tiempo se debe desarrollar esfuerzos importantes a nivel institucional para generar los marcos habilitadores adecuados.

A nivel global, las oportunidades de negocio son evidentes y se están desarrollando las inversiones necesarias para aprovechar los beneficios ambientales y económicos de la gestión de las baterías en su segunda vida y en su reciclaje. Sin embargo, como se puede apreciar en el documento, estos modelos de negocios requieren de una integración entre el sector privado, público y academia. Como se aprecia en la última sección de este documento, las configuraciones institucionales para el desarrollo de modelos de negocio siguen esta lógica. La integración institucional permite el desarrollo de proyectos piloto, los cuales son sistematizados y logran generar tecnologías patentadas y un profundo análisis de los beneficios económicos, posibles fluctuaciones de mercados y orientados a reducir los impactos tanto a nivel de GEI y otros impactos hacia los ecosistemas de relevancia.

Los modelos de negocio futuros a desarrollar en Chile deben lograr tener claridad en su propuesta de valor y la institucionalidad debe acompañar de manera continua este proceso, de esa manera evitar posibles cambios “en las reglas del juego” que pueda afectar negativamente la propuesta de valor. Los actores públicos, privados y academia deben lograr un diseño de Hoja de Ruta identificando de manera detallada los vacíos tecnológicos y de capacidades técnicas necesarias para lograr modelos de negocios financieramente atractivos y socialmente deseables. Un aspecto de importancia es la tendencia global de utilizar la economía circular dentro de la propuesta de valor en los modelos de negocios, establecer análisis de ciclo de vida de los procesos, evaluar a través de indicadores financieros cada proyecto y que estén en directa orientación a los compromisos ambientales que tiene Chile a nivel global, en especial a los relacionados a cambio climático (NDC y estrategias de mitigación GEI a nivel sectorial).

13 Observaciones del consultor

Con base en la revisión de antecedentes, recopilación de información, levantamiento de datos, entrevistas a actores relevantes de la industria y la contraparte técnica, se han identificado las siguientes observaciones y recomendaciones de la consultora:

Para Segunda Vida de baterías

- Se requieren proyectos piloto que permitan desarrollar el “data management” para normalizar el equilibrio eléctrico necesario para evitar problemas técnicos entre baterías con características diferentes. Para esto es necesaria la participación abierta entre privados (industria automotriz, startup, distribuidores de energía), academia y el sector público.
- Las aplicaciones potenciales en la segunda vida de las baterías se requiere entidades certificadas para realizar un testeo de seguridad de las “pilas”. De ser posible, se sugiere que el SEC afiance sus capacidades para realizar este tipo de testeo y permitir la seguridad de la segunda vida de las baterías.
- En la actualidad no se tienen avances para el desarrollo de tecnologías que permitan realizar proyectos de segunda vida a gran escala, por ejemplo, estaciones de carga, almacenaje de energía (energy storage).
- Se sugiere que el ministerio de energía debe generar las capacidades para facilitar el certificado de las baterías de segunda vida y su respectivo control de calidad.
- Se requiere establecer de manera clara la necesidad de dispositivos que permitan el testeo y armonización de carga para el uso seguro de la segunda vida en baterías.

- Tanto a gran escala como a pequeña escala, las estaciones de carga aún no tienen la tecnología para testear el uso seguro de estos servicios.

Para Reciclaje de baterías

- No se evidencian trabas administrativas, existen ya regulaciones a nivel salud y medio ambiente (RETC). Sin embargo, deberían existir normativas de etiquetados de las baterías para la información técnica y la composición química de las baterías.
- Mercado local debe proveer un sistema donde los actores estén claramente identificados, en relación con los actores que recuperen los materiales (cobalto, níquel, entre otros). Además, debe asegurar la oferta y demanda desde el punto de vista de la continuidad de los materiales para las plantas de reciclaje.
- Desde el punto de vista normativo, El Convenio de Basilea, genera ciertos vacíos para generar la logística necesaria para las baterías en electromovilidad. En el año 1992, Chile ratifica el Convenio de Basilea para el cual en su Artículo 4.9 menciona “Las Partes tomarán las medidas apropiadas para que sólo se permita el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos si: a) el Estado de exportación no dispone de la capacidad técnica ni de los servicios requeridos o de lugares de eliminación adecuados a fin de eliminar los desechos de que se trate de manera ambientalmente racional y eficiente”. Con base en este convenio, el Ministerio de Salud el año 2010, promulga el decreto con fuerza de ley D.S. N°2 el cual regula el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos consistentes en baterías de plomo usadas. Este Convenio rige también la Ley 20.920, al menos para sus decretos ya publicados, donde menciona “Los importadores y exportadores de residuos se registrarán por lo dispuesto en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, y por las demás normas legales y reglamentarias que regulen la materia”. Por lo tanto, mientras no haya capacidad instalada en Chile para gestionar las BFU provenientes de VE, es factible la exportación para dichos efectos.
- Desarrollar procesos de innovación que permitan mejorar en Chile la tecnología para el proceso de recuperación selectiva de materiales claves como el litio o el cobalto.

Responsabilidad Extendida del Productor

- El proceso que busca establecer las obligaciones y deberes de los productores de baterías, en el marco de la Ley REP, debería considerar la incorporación de baterías fuera de uso provenientes de electromovilidad, abordando la responsabilidad del productor para una segunda vida, además de las metas de recolección y valorización.
- La responsabilidad del productor, para el caso de una segunda vida de la batería proveniente de electromovilidad, se sugiere que sea para quien pone en el mercado esta batería.
- Se sugiere que en el caso de considerar BFU provenientes de electromovilidad en el decreto correspondiente, se considere que posterior a su recolección, existan centros especializados para la identificación de aquellas baterías que pueden optar a una segunda vida, de aquellas que deben ir a centros de reciclaje. Estos centros deberán contar con capacidad técnica para generar testeos para verificar el estado de la batería, y testeos de seguridad para su posible segundo uso.
- Las empresas que se hacen cargo como primer productor de una batería, podrán optar a volver a introducir al mercado una batería de segunda vida, lo cual podría ser regulado en las metas de valorización asociadas.

ANEXOS

Anexo I. Detalle de modelos de vehículos eléctricos presentes en mercado nacional y las características de sus baterías

AI.I Modelos de vehículos eléctricos y sus baterías⁹⁶

Marca	Modelo	Tipo de vehículo	Tecnología del vehículo	Potencia batería	Tecnología batería	Tipos de baterías
BMW	I3120Ah	Liviano	Eléctrico	42,4 kWh	Ion litio	Prismática
BMW	Mini cooper SE	Liviano	Eléctrico	32,6 kWh	Ion litio	Prismática
BYD	M3	Transporte pasajeros	Eléctrico	50,3 kWh	Ion litio	Prismática
BYD	T3	Transporte pasajeros	Eléctrico	50,3 kWh	Ion litio	Prismática
BYD	Tang E	Liviano	Eléctrico	86,4 kWh	Ion litio	Prismática
BYD	E5	Liviano	Eléctrico	51,2 kWh	Ion litio	Prismática
BYD	K96	Transporte pasajeros	Eléctrico	324 kWh	Ion litio	Prismática
BYD	K7	Transporte pasajeros	Eléctrico	156,6 kWh	Ion litio	Prismática
Chevrolet	Bolt	Liviano	Eléctrico	66 kWh	Ion litio	Prismática
Citroën	Berlingo	Transporte carga	Eléctrico	50 kWh	Ion litio	Prismática
DFM	S50	Liviano	Eléctrico	57 kWh	Ion litio	Prismática
DS	3	Liviano	Eléctrico	50 kWh	Ion litio	Prismática
Foton	eBus	Transporte pasajeros	Eléctrico	422,87 kWh	Ion litio	Prismática
Hyundai	Ioniq	Liviano	Eléctrico	28 kWh	Ion litio	Prismática
Higer	Paradise	Transporte pasajeros	Eléctrico	86,38 kWh	Ion litio	Prismática
Jac	e-S2	Liviano	Eléctrico	39 kWh	Ion litio	Prismática
Kia	Soul SK3	Liviano	Eléctrico	64 kWh	Ion litio	Prismática
King Long	6130e	Transporte pasajeros	Eléctrico	210,5 kWh	Ion litio	Prismática
King Long	XMQ6127	Transporte pasajeros	Eléctrico	374,65 kWh	Ion litio	Prismática
Maxus	Deliver	Transporte carga	Eléctrico	52,5 kWh	Ion litio	Prismática
Maxus	EG50	Liviano	Eléctrico	52,5 kWh	Ion litio	Prismática
Maxus	EV30	Transporte carga	Eléctrico	52,5 kWh	Ion litio	Prismática
Maxus	EV80	Transporte pasajeros	Eléctrico	52,5 kWh	Ion litio	Prismática
Maxus	EV80	Transporte carga	Eléctrico	52,5 kWh	Ion litio	Prismática
MG	ZS	Liviano	Eléctrico	44,5 kWh	Ion litio	Prismática
Nissan	Leaf	Liviano	Eléctrico	40 kWh	Ion litio	Prismática
Peugeot	2008	Liviano	Eléctrico	50 kWh	Ion litio	Prismática
Peugeot	Partner	Transporte pasajeros	Eléctrico	50 kWh	Ion litio	Prismática
Peugeot	Tepee	Liviano	Eléctrico	22,5 kWh	Ion litio	Prismática
Porsche	Taycan	Liviano	Eléctrico	79,2 kWh	Ion litio	Prismática
Porsche	Taycan Turbo	Liviano	Eléctrico	93,4 kWh	Ion litio	Prismática
Renault	Kangoo	Transporte pasajeros	Eléctrico	22 kWh	Ion litio	Prismática
Renault	Zoe Neo	Liviano	Eléctrico	52 kWh	Ion litio	Prismática
Yutong	E12	Transporte pasajeros	Eléctrico	324 kWh	Ion litio	Prismática
Zhongtong	LCK6125	Transporte pasajeros	Eléctrico	350 kWh	Ion litio	Prismática

⁹⁶ Plataforma de Electromovilidad

AI.II Modelos de vehículos híbridos y sus baterías⁽⁹⁷⁾⁽⁹⁸⁾

Marca	Modelo	Tipo de vehículo	Tecnología del vehículo	Potencia batería	Tecnología batería	Tipos de baterías
TOYOTA	Rav 4	Liviano	Híbrido enchufable	18,1 kWh	Híbrido de níquel	Prismática
TOYOTA	Corolla Cross Suv hybrid	Liviano	Híbrido no enchufable	2,77 kWh	Híbrido de níquel	Prismática
TOYOTA	C-HR	Liviano	Híbrido no enchufable	1,31 kWh	Híbrido de níquel	Prismática
TOYOTA	Camry advance HV	Liviano	Híbrido no enchufable	1,59 kWh	Híbrido de níquel	Prismática
LEXUS	UX 250 h	Liviano	Híbrido no enchufable	1,4 kWh	Híbrido de níquel	Prismática
LEXUS	RX 450 hL	Liviano	Híbrido no enchufable	1,9 kWh	Híbrido de níquel	Prismática
Ford	TITANIUM 2.5L ATKINSON AWD	Liviano	Híbrido no enchufable	1,1kWh	Ion litio	Prismática
Subaru	XV Hybrid	Liviano	Híbrido no enchufable	0,57 kWh	Ion litio	Prismática
Hyundai	Ioniq	Liviano	Híbrido no enchufable	1,56 kWh	Ion litio	Prismática
Subaru	Forester Hybrid Dynamic Eyesight	Liviano	Híbrido no enchufable	0,57 kWh	Ion litio	Prismática
Subaru	Forester Hybrid Limited Eyesight	Liviano	Híbrido no enchufable	0,57 kWh	Ion litio	Prismática
Kia	Niro	Liviano	Híbrido no enchufable	1,56 kWh	Ion litio	Prismática
BMW	Serie 3 Berlina	Liviano	Híbrido enchufable	7,6 kWh	Ion litio	Prismática
BMW	Serie 5 Berlina	Liviano	Híbrido enchufable	12 kWh	Ion litio	Prismática
BMW	X5 xDRIVE45e	Liviano	Híbrido enchufable	24 kWh	Ion litio	Prismática
BMW	X3 XDRIVE30e	Liviano	Híbrido enchufable	12 kWh	Ion litio	Prismática
BMW	Serie 7	Liviano	Híbrido enchufable	9,2 kWh	Ion litio	Prismática
Volvo	XC90 T8	Liviano	Híbrido enchufable	11,6 kWh	Ion litio	Prismática
Volvo	XC40 T5	Liviano	Híbrido enchufable	9,7 kWh	Ion litio	Prismática
Volvo	S60 T8	Liviano	Híbrido enchufable	11,6 kWh	Ion litio	Prismática
Volvo	S90 T8	Liviano	Híbrido enchufable	11,6 kWh	Ion litio	Prismática
Porsche	Panamera 4S E-Hybrid	Liviano	Híbrido enchufable	17,9 kWh	Ion litio	Prismática
Porsche	Panamera 4 E-Hybrid	Liviano	Híbrido enchufable	17,9 kWh	Ion litio	Prismática
Porsche	Panamera Turbo S E-Hybrid	Liviano	Híbrido enchufable	17,9 kWh	Ion litio	Prismática
Porsche	Cayenne E-hybrid	Liviano	Híbrido enchufable	17,9 kWh	Ion litio	Prismática
Porsche	Cayenne E-hybrid Coupé	Liviano	Híbrido enchufable	17,9 kWh	Ion litio	Prismática
Mercedes-Benz	C 350e	Liviano	Híbrido no enchufable	0,9 kWh	Ion litio	Prismática
Mercedes-Benz	GLC 350e	Liviano	Híbrido no enchufable	0,9 kWh	Ion litio	Prismática
Mercedes-Benz	GLC coupé 350e	Liviano	Híbrido no enchufable	0,9 kWh	Ion litio	Prismática
Mitsubishi	Outlander	Liviano	Híbrido enchufable	13,8 kWh	Ion litio	Prismática
Ferrari	SF90 Stradale	Liviano	Híbrido enchufable	7,9 kWh	Ion litio	Prismática
Land ROVER	Evoque	Liviano	Híbrido enchufable	15 kWh	Ion litio	Prismática

⁹⁷Fuente VE No enchufables: <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2021/10/09-ANAC-Informe-vehiculos-cero-y-bajas-emisiones-Septiembre-2021.pdf>

⁹⁸Fuente VE enchufables: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/catalogo>

Land ROVER	Discovery sport	Liviano	Híbrido enchufable	15 kWh	Ion litio	Prismática
Jaguar	F-pace	Liviano	Híbrido enchufable	17,1 kWh	Ion litio	Prismática
Maserati	Ghibli	Liviano	Híbrido no enchufable	0,3 kWh	Ion litio	Prismática

Anexo II. Tipos de baterías y su funcionamiento

All.I Baterías electroquímicas

En general, una batería es un dispositivo constituido por una o más celdas electroquímicas conectadas eléctricamente, que convierte la energía química contenida en sus materiales activos directamente en energía eléctrica por medio de una reacción de oxidación-reducción. En una celda electroquímica el ánodo desprende electrones al circuito externo oxidándose durante la descarga, mientras que el cátodo acepta esos electrones reduciéndose durante el mismo proceso. El electrolito proporciona el medio de transporte de carga dentro de la celda entre el ánodo y el cátodo, es decir el transporte de iones. Las baterías electroquímicas se clasifican en dos tipos; primarias y secundarias. Las baterías primarias o pilas no pueden ser recargadas eléctricamente siendo descartadas una vez que se descargan, por otro lado, las baterías secundarias una vez descargadas pueden ser llevadas eléctricamente a su estado original pasando la corriente a través de ellas en la dirección opuesta a la de la corriente de descarga (proceso de carga de la batería)⁹⁹.

En las baterías de ion litio, el litio no se encuentra en su forma metálica sino en su forma iónica en uno de sus electrodos. En la estructura del dispositivo, una batería de ion litio está formada por un ánodo de grafito (C₆) soportado en un colector de corriente de cobre, un cátodo, que suele ser un óxido mixto de litio (Li_(1-x)MO₂) soportado sobre un colector de corriente de aluminio, un separador polimérico y un electrolito cuya composición es una sal de litio disuelta en un solvente orgánico. Las baterías de autos eléctricos e híbridos utilizan como materiales catódicos de alta potencia como fosfato de hierro litio (LFP). Sin embargo, durante el último tiempo Samsung y CATL, proveedores de baterías para la mayoría de las marcas presentadas, han estado desarrollando nuevas tecnologías con mayores ciclos de vida utilizando como materiales catódicos óxidos mixtos de níquel-manganeso-cobalto (NMC). Por el lado del ánodo, el grafito hasta el día de hoy es el material más utilizado, variando solo en su forma de obtención, que puede ser natural o sintética. La estructura que forman es de tipo “sándwich”, tal como se esquematiza en la Figura 13¹⁰⁰.

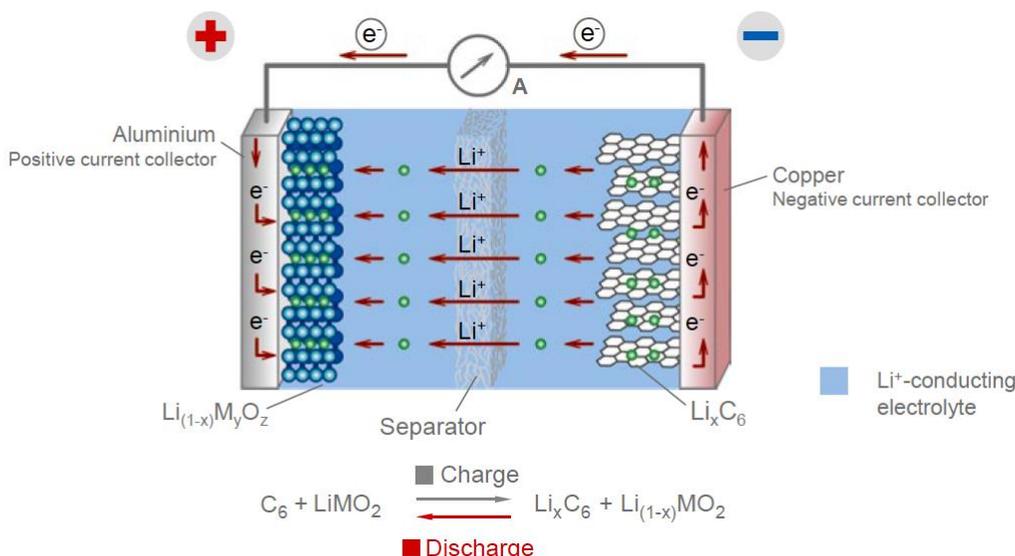


Figura 13. Diagrama general de la estructura interna de una batería de ion litio.

Estos materiales se utilizan para fabricar tres tipos de celdas características: celdas cilíndricas, prismáticas o pouch cell (Figura 13). El diseño de estas celdas depende de la aplicación, y se pueden usar una sola celda de batería o varias celdas que se conectan en serie conformando un módulo de baterías. Además, también es posible una conexión en paralelo, que dependerá de la capacidad requerida en el sistema. En este estudio, se ha encontrado que actualmente los autos eléctricos e híbridos presentes en Chile utilizan módulos que están compuestos por celdas del tipo prismáticas. A diferencia, de Tesla, que aun ocupa pilas cilíndricas 18650. Sin embargo, la venta de estos vehículos no está disponible en Chile.

⁹⁹ D. Linden, T.B. Reddy, Handbook of batteries, Mcgraw-Hill, 1995

¹⁰⁰ Korthauer, R., Lithium-ion batteries: Basics and applications, Springer, 2018

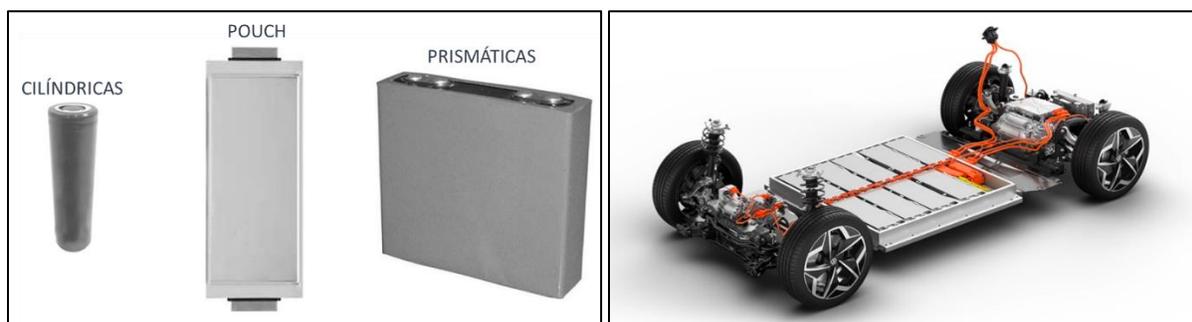


Figura 15. Tipos de celdas de ion litio disponibles actualmente en el mercado. En Chile, los autos eléctricos e híbridos utilizan celdas del tipo prismáticas en sus módulos.

Figura 14. Diagrama general de la disposición de los módulos de baterías de ion litio en un vehículo eléctrico.

Los módulos de baterías prismáticas se encuentran generalmente en la parte inferior de los vehículos aprovechando el diseño de la batería que permite ocupar menos espacio por su forma plana. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de cómo van instalados los módulos de baterías en un vehículo eléctrico:

Además de las baterías de ion litio, se ha encontrado una menor presencia (8%) de baterías de níquel hidruro-metálico (Ni-MH). En efecto, Toyota y su marca de lujo Lexus trabajan con baterías de Ni-MH y disponen de 6 modelos en el mercado, en un universo de 71 diferentes modelos presentes en Chile. Estas marcas, solo entregan opciones híbridas y no 100 % eléctricas, principalmente, porque tienen una energía específica y una densidad energética menor, siendo desplazadas por las de ion litio. El material activo del cátodo de la batería de níquel-hidruro metálico, en el estado cargado, es oxihidróxido de níquel. El material activo del ánodo por otro lado, en estado cargado, es hidrógeno en forma de hidruro metálico. Esta aleación de metal es capaz de sufrir una reacción reversible de absorción-desorción de hidrógeno a medida que se carga y descarga la batería. El electrolito es una disolución acuosa de hidróxido de potasio, el cual se utiliza como una cantidad mínima en este diseño de celda sellada, y el separador y los electrodos absorben la mayor parte del líquido.

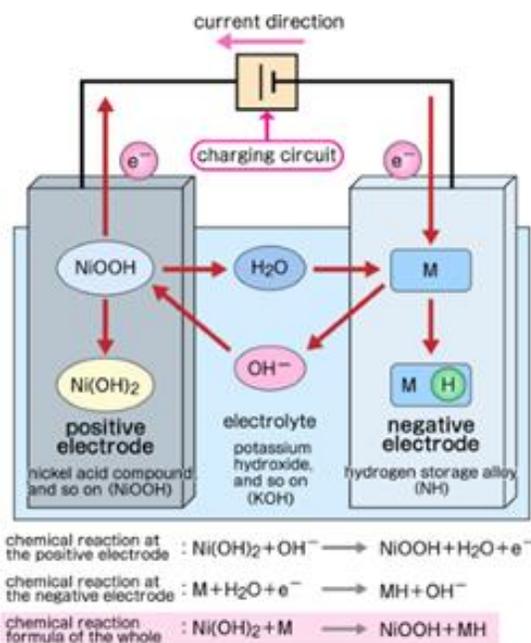


Figura 16. Diagrama general de la estructura interna de una batería de Ni-MH.

Las ventajas de las baterías de Ni-MH son sus rápidas capacidades de recarga, sus largos ciclos de vida y un mínimo mantenimiento debido a su configuración que permite un sellado hermético. Por otro lado, las principales desventajas se encuentran en sus bajas capacidades a altas velocidades de carga, poseen una mala retención de la carga y los costos del ánodo son altos¹⁰¹.

Para fines de control, todos los sistemas de baterías de automóviles están equipados con un sistema de gestión. Este sistema realiza funciones de monitoreo de celdas y utiliza tecnología de sensores para monitorear los voltajes y temperaturas. También monitorea la corriente y permite encender y apagar en casos extremos de uso. El sistema de gestión se utiliza además para controlar la temperatura (refrigeración o calefacción) de la batería y permite establecer la vida útil de las baterías cuantificando el estado de carga.

Finalmente, hay que mencionar que existen algunas alternativas de Retrofit en Chile, es decir, el reacondicionamiento de vehículos a gasolina o diésel en tecnologías eléctricas. Las baterías utilizadas para esta conversión son de acuerdo con la demanda de energía del auto, sin embargo, se repiten tecnologías en torno a litio (fosfato de hierro litio) ya que entregan mayores potencias y autonomía. A pesar del gran impacto positivo que lleva la conversión de autos, no ha sido

¹⁰¹ D. Linden, T.B. Reddy, Handbook of batteries, McGraw-Hill, 1995

una ruta muy explorada principalmente por las altas regulaciones técnicas en torno a la mecánica del auto y el costo de la reconversión. Además, las certificaciones mediante revisión técnica actualmente prohíben este tipo de conversiones.

AII.II Vehículo Micro-Híbrido

Los vehículos microhíbridos son aquellos que poseen un motor de combustión interna pero que cuentan con un pequeño respaldo eléctrico para ayudar en ciertas situaciones. Estos surgieron con la finalidad de reducir en cierta manera el uso de combustibles y la cantidad de emisiones contaminantes. Sin embargo, no son considerados como híbridos debido a sus bajas capacidades de energías de sus baterías y este término es utilizado por muchas marcas con fines comerciales. Por lo general se sustituye el motor de arranque y el alternador por un generador de corriente distinto y reversible, el cual genera electricidad cuando se necesita solamente. En la siguiente imagen se puede apreciar un vehículo de la marca Peugeot modelo 308 microhíbrido, donde el sistema de baterías se reduce a un pequeño pack de 0,84 kWh, muy por debajo de los valores establecidos para vehículos híbridos enchufables y no enchufables.



Anexo III. Identificación de factores claves en el mercado

Análisis desarrollado utilizando la herramienta PESTEL, caracterizando factores políticos, económicos sociales, tecnológicos, ecológicos y legales.

AIII.I Factores políticos

La política de electromovilidad en Chile es clave para el desarrollo del mercado. Esta se potencia con los acuerdos internacionales que le comprometen a cumplir con estas sus metas en el largo plazo, asegurando hasta cierto punto estabilidad entre los gobiernos futuros de que se seguirá impulsando la electromovilidad. De todas formas, los cambios en la Constitución y los traspasos entre gobiernos con diferentes estructuras programáticas podrían cambiar en términos del tipo de incentivos y barreras de mercado para desarrollar modelos de negocios sostenibles en torno al segunda vida y reciclaje de las baterías.

Dentro de los acuerdos internacionales en los que Chile participa que promueven la electromovilidad y la utilización de energías renovables destacan:

Decreto supremo N° 30, de 2017, del Ministerio de Relaciones Exteriores: Promulga el Acuerdo de París, adoptado en la Vigésimo Primera Reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

GIZ – Chile y Global: En el ámbito del transporte, a nivel internacional GIZ colabora con ciudades y gobiernos para la transición hacia una movilidad sustentable. En Chile, GIZ viene realizando un trabajo conjunto con el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones para escalar el uso de buses eléctricos en el transporte público en regiones, con la iniciativa Moving Chile. Por su parte, el programa de GIZ llamado 4e Chile colabora con el Ministerio de Energía y es donde se enmarca el impulso del hidrógeno verde como vector energético, entre otras iniciativas de desarrollo energético sustentable.

Electric Vehicle Initiative (EVI) – IEA: En el año 2018 Chile se ha unido a esta iniciativa del Clean Energy Ministerial coordinada por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por su sigla en inglés) denominada Electric Vehicle Initiative (EVI), la cual es un punto de encuentro que involucra a múltiples gobiernos y sus políticas que están dedicadas a acelerar la introducción y adopción de vehículos eléctricos a nivel global.

Movilidad Eléctrica en América Latina y el Caribe (MOVE): Esta es una plataforma regional de electromovilidad creada por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). MOVE tiene como objetivo acelerar la transición a la movilidad eléctrica en América Latina y el Caribe. Para ello, brinda capacitación, creación de conocimiento, asistencia técnica y movilización de recursos climáticos.

Zero Emission Bus Rapid-Deployment Accelerator (ZEBRA) Partnership: Financiada y facilitada por P4G, y co-liderada por el C40 y el ICCT, esta alianza busca acelerar la implementación de buses cero emisiones en las principales ciudades de Latinoamérica (con enfoque en Ciudad de México, Medellín, Santiago y Sao Paulo), colaborando con instituciones públicas, la industria de buses e inversionistas. Entre otros socios, la alianza cuenta con el apoyo del Centro Mario Molina-Chile.

En base a los compromisos adoptados, Chile se ha fijado metas para la electromovilidad del país para el mediano y largo plazo que consisten en:

- El 100% de las nuevas incorporaciones al transporte público urbano sean vehículos cero emisiones al 2035
- El 100% de ventas de vehículos livianos y medianos sean cero emisiones al 2035
- El 100% de las ventas de vehículos para el transporte de pasajeros interurbano y transporte de carga sean cero emisiones al 2045
- Además, el 100% de las ventas de maquinaria (minera, forestal, construcción y agrícola) de más de 560 kW de potencia será cero emisiones a partir del 2035, y de más de 19 kW a partir de 2040.

En base a lo anterior, Chile ha definido políticas públicas, disponibles en Anexo V.

Existe interés en incentivar el mercado de los VE pero no hay regulación que permita que se genere un mercado competitivo para el segunda vida y reciclaje, dejando ambigüedades entorno a la responsabilidad del fabricante original del equipamiento en caso de segunda vida.

En Chile cobrará aún más relevancia lo que pueda realizarse con estas baterías debido a las obligaciones asociadas a la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje o más conocida como ley REP. Esta ley mandata a los productores de diferentes tipos de materiales a reutilizar y reintegrar a la economía una serie de elementos, entre ellos, las baterías. En este contexto, será necesario tener consideración la decisión sobre reutilizar o reciclar cada batería dependiendo de sus componentes químicos, así como de su carga restante como para pensar en su utilidad de segunda vida, con usos diferentes a la que posee en un vehículo.

Además a partir de la Estrategia Nacional de Electromovilidad, se impulsarán estudios de investigación que consideren aplicaciones bidireccionales (vehículo - red eléctrica), incorporación de nuevas tecnologías como la trazabilidad que puede aportar Blockchain, sistemas de pago con moneda digital, extensión a contratos inteligentes en energía potencia u otros servicios a la red, aplicaciones de inteligencia artificial, vehículos autónomos, segunda vida de la batería, transformación o retrofit de vehículos pesados como buses y camiones a celdas de combustible, entre otros, entre el segundo semestre del 2021 y el 2025.

AIII.II Factores económicos

El mercado es incipiente, existe experiencia en el reciclaje de LIB para productos electrónicos de consumo, pero no existe aún volumen suficiente de residuos para que sea una alternativa interesante en la actualidad. Problemas en la trazabilidad, transporte y responsabilidad hacen que se desarrollen lentamente soluciones.

El mercado está integrado verticalmente, siendo parte de los productores de vehículos quienes fabrican las baterías, migrando de un modelo en donde primariamente subcontrataban, dado el alto valor que tiene en el costo total del vehículo. Así también, dadas las garantías y a fin de cumplir con las exigencias que potencialmente podrían exigir la Ley REP para los fabricantes, se están integrando en las alternativas de reuso y segunda vida.

AIII.II.I Regulaciones de servicios complementarios

En la UE se cuenta con la Comisión BATSTORM¹⁰², que promueve la Hoja de ruta del almacenamiento de energía basado en baterías, esta Comisión, apoya el trabajo que realiza la Plataforma Europea de Tecnología e Innovación (ETIP) para SmartGrids y Almacenamiento, mientras que permite identificar y apoyar las necesidades de I+D+i, junto con la adopción en el mercado del almacenamiento de energía basado en baterías como una tecnología baja en carbono para el futuro sistema energético.

A su vez, se regulan los servicios complementarios en la “Regulation (EU) 2019/943”¹⁰³, artículo 6 “Balancing markets design” con regulaciones referentes a la no discriminación entre proveedores, horarios y alzas y bajas en el servicio. Artículo 40 “Procurement of balancing services by Transmission System Operator”, estableciendo por ejemplo en el punto 5 que “Los GRT deben contratar servicios complementarios que no sean de frecuencia de forma transparente, no discriminatoria y basada en el mercado.”. Artículo 13 “Redispatching” que en el punto 2 indica que “Los mercados de redespacho utilizarán mecanismos basados en el mercado y compensarán financieramente a los agentes del mercado” y artículo 32 “Procurement of grid management services by Distribution system operators” que también involucra la no discriminación en el mercado entre quienes ofrecen servicios de Distribución¹⁰⁴

AIII.II.II Incentivos financieros

Las iniciativas que inciden en materias relacionadas con la política económica-financiera del Estado que fomentan la adquisición de EV, dependen del Ministerio de Hacienda.

AIII.II.III Subsidios en permiso de circulación

Bonificación fiscal a los vehículos híbridos del artículo 4° de la ley N° 20.259.

Aun cuando no se encuentra hoy en funcionamiento, el beneficio consistió en una bonificación fiscal anual a los propietarios de vehículos híbridos que se hayan encontrado inscritos en el Registro de Vehículos Motorizados entre el 1 de marzo de 2008 y el 31 de marzo de 2010, afectos al impuesto anual por permiso de circulación, y cuyos modelos hayan sido homologados por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. La bonificación equivalió al 100% del valor del impuesto anual por permiso de circulación, y se pagó por los primeros cuatro años a partir de su inscripción en el Registro de Vehículos Motorizados para vehículos cuyo precio sea inferior a 730 UF, y por dos años,

¹⁰² <https://waat.eu/portfolio/batstorm/>

¹⁰³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>

¹⁰⁴ Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe, 2020. DOI: 10.2833/077257

para los de mayor valor, en la medida que no hayan superado las 1.220 UF, en cuyo caso no pudieron acceder a este beneficio.

Para su obtención, el comprador debía pagar su permiso de circulación en una municipalidad, en donde obtendría un certificado con el que debía concurrir al Servicio de Tesorería, para recibir la bonificación correspondiente.

El costo fiscal de esta medida fue estimado en hasta \$1 mil millones anuales, según indica el informe financiero de la Dirección de Presupuestos que acompañó al proyecto de ley. Sin embargo, los gastos ejecutados entre los años 2008 y 2015 alcanzaron solo la cantidad total de \$205.625.000. Lo anterior debe entenderse en concordancia con el monto del subsidio, que fue establecido en función del impuesto anual por permiso de circulación, cuyo valor, a su vez, se determina por la aplicación de una escala progresiva y acumulativa sobre su precio corriente en plaza, la que varía entre un 1% y un 4,5%.

Programa de Modernización para la Renovación de Taxis Colectivos.

Subsidio Nacional para el Transporte Público Remunerado de Pasajeros Ley 20.378 modificada por Ley 20.696. El beneficio permite acceder a financiamiento para la renovación de taxis colectivos que presten servicio de transporte público en todas las regiones del país, por medio de un subsidio entregado por los Gobiernos Regionales y que tiene como objetivo renovar el parque vigente por vehículos menos contaminantes, con estándares de calidad superior, más eficientes y seguros.

Permite la ejecución de un programa especial mediante el cual los Gobiernos Regionales estarán facultados para convocar a programas de modernización del transporte público mayor y taxis colectivos, en su calidad de transporte público menor, destinados a la incorporación de tecnologías menos contaminantes y mejoras en aspectos de seguridad o calidad y eficiencia en beneficio de los usuarios, los que estarán regulados en un reglamento. El valor del beneficio por renovación del Programa se fija en función de la tecnología y rendimiento urbano del vehículo entrante, aproximado a su entero más cercano, de manera diferenciada para cada tipo de vehículo (diésel, a gasolina, híbridos y eléctricos), conforme a la información obtenida en el proceso de homologación, el cual alcanza su mayor monto en el caso de los vehículos eléctricos que, de acuerdo a su valor actualizado para el 2018, corresponde a la suma de \$6.600.000, cuando el rendimiento equivalente urbano es igual a superior a 50 km/l (considerando que la transformación de kilowatt hora a litro equivalente se realiza utilizando la energía contenida en 1 litro de gasolina).

AIII.II.IV Impuestos

Impuesto adicional a vehículos motorizados en relación con su rendimiento urbano y emisión de óxido de nitrógeno del artículo 3° de la ley N° 20.780.

Encarece el uso de combustibles fósiles al gravar por única vez a los vehículos nuevos, livianos y medianos en base a su rendimiento urbano, emisión de óxido de nitrógeno y precio de venta del vehículo. El objetivo es incentivar el ingreso de vehículos que contaminen menos, al eximir de este impuesto, entre otros, a “vehículos a propulsión eléctrica”. Lo anterior resulta relevante no solo para el caso de los impuestos que se crean con fines medioambientales, como el analizado, sino también para responder a las iniciativas para eximir total o parcialmente a los vehículos eléctricos de otros tributos preexistentes, como el permiso de circulación, el Impuesto al Valor Agregado y los derechos *ad valorem* sobre las mercancías que ingresan al país, privilegio que no está contemplado, en términos generales, en la normativa actual y que requiere ser modificado para su reconocimiento.

AIII.III Factores sociales

La penetración de los vehículos eléctricos en el sistema público y privado demuestra el interés en adoptar esta tecnología.

A nivel nacional los EV son comprados tanto por empresas que buscan remodelar sus flotas, transporte público y privados. En el caso de los privados la cantidad de autos aún es incipiente dado a su alto valor, pocos accesos a puntos de carga, rápido avance tecnológico y desconocimiento sobre aspectos técnicos de mantención de vehículos que incrementan la incertidumbre.

AIII.III.I Descripción de los compradores de EV

Las características propias del usuario son un factor relevante en la adquisición de un vehículo eléctrico. Estas son principalmente edad, distancia recorrida por el usuario y ciclo de vida del consumidor y las expectativas que tiene del vehículo.

En términos de edad, los jóvenes tienen mayor nivel de conciencia ecológica por lo que tienden a preferir tecnologías más sustentables. Sin embargo, en cuanto a distancia recorrida no es tan claro si afecta de forma positiva o negativa a la intención de compra ya que pueden darse dos escenarios: mientras más viaja un individuo, mayor tendencia a adquirir un EV, dado el ahorro en energía, o bien, que aquellos usuarios que viajan distancias más largas posean menos tendencia a adquirir uno de estos vehículos dado las molestias que se pueden generar en la carga (como gran distancia entre puntos de carga o tiempos de carga muy altos)¹⁰⁵. Los early adopters se describen como jóvenes que trabajan a tiempo completo y que viven en ciudades de tamaño medianas o pequeñas. En adición, mientras mayor tolerancia al riesgo, mayor inclinación a adquirir nuevas tecnologías.

Los compradores, en general, se fijan en 4 factores principales al enfrentarse a la decisión de adquirir un vehículo eléctrico, éstos son precio de compra, autonomía, disponibilidad de puntos de carga. Además, los más informados también comparan el precio por kilómetro recorrido y tiempos de carga, esto cobra especial relevancia pues los bajos niveles de información que manejan los consumidores respecto de esta tecnología se convierten en barreras al considerar comprar un auto eléctrico. Al hablar de las expectativas del usuario respecto del vehículo, se hace referencia a que existe una brecha entre el alcance o autonomía que el usuario quisiera tener y la que en realidad necesita.

AIII.III.II Barreras de información para la adopción tecnológica

De acuerdo con un estudio de la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE)¹⁰⁶, dentro de las principales barreras en cuanto a electromovilidad se encuentran la inmadurez del mercado, tanto de la oferta como de la demanda.

En el caso de la demanda, los potenciales usuarios no conocen la tecnología, no necesariamente sólo del vehículo, sino que también pueden presentar desconocimiento respecto a requisitos de carga y tarifas; pueden tener conceptos preconcebidos erróneos, ya que tienden a pensar que los cargadores de EV son equipos complejos y de gran potencia eléctrica, sin embargo, en la realidad un cargador modo 3 puede demandar la misma potencia que dos o tres hervidores de agua.

Los usuarios potenciales de EV cuentan con un alto nivel de incertidumbre para tomar decisiones, basado en que la decisión de instalar o no un IC en el hogar y cuánto es recomendable cargar es nueva y compleja, dado los diferentes factores que influyen como tarifas eléctricas, costo del cargador y su instalación, el tiempo que tiene para recargar y las distancias que viaja el usuario, capacidad de la batería y rendimiento, capacidad eléctrica del hogar, lo que desincentiva la adquisición de EV.

Lo anterior se suma a que la experiencia de compra en concesionarios (oferta) no es la mejor, dado el desconocimiento de los mismos vendedores, ya que carecen de la capacitación adecuada o al nivel de un vehículo convencional de combustión interna, por el que además recibe incentivos para vender. Por otro lado, también carecen de la formación para indicar al posible usuario acerca de las necesidades de carga y de probables aumentos o instalaciones de empalmes, trámites que por lo demás son bastante engorrosos y que perpetúan el desincentivo de adquirir EV.

AIII.III.III Necesidades de capital humano

En cuanto a las capacidades del capital humano nacional para abordar los desafíos que trae consigo la electromovilidad, en el Seminario Electromovilidad en Chile: escenarios de implementación y desarrollo de Capital Humano, se presentaron los resultados de un estudio producto de una alianza pública entre el Ministerio de Energía y el Observatorio Laboral Metropolitano del SENCE, ejecutado por el Centro de Políticas Públicas UC y financiado por el OTIC SOFOFA. A través de este estudio, se han establecido los principales perfiles laborales: Eléctricos certificados y Mecánicos automotrices y de maquinaria pesada, principalmente de nivel técnico superior o profesional. Los primeros se requerirán mayormente para la instalación de cargadores, que se proyectan en 190.000 al año 2030. Para esto, serán necesarios técnicos eléctricos, ingenieros civil electricista, ingenieros en ejecución electricista, cuyas tareas se centrarán en la instalación, operación y mantenimiento de la infraestructura de carga. Los Mecánicos automotrices y de maquinaria pesada serán necesarios para la inspección, diagnóstico, mantenimiento y reparación de vehículos y buses eléctricos.

¹⁰⁵ Caracterización De La Demanda Por Vehículos Eléctricos En Santiago, Chile.

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168045/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-demanda-por-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos-en-Santiago-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¹⁰⁶ https://www.ecomovilidad.cl/wp-content/uploads/2021/02/Informe-1_Barreras-Carga-Residencial_v0202_2.pdf

Además, se constató que, aunque en menor medida, también se requerirán Conductores de buses, taxis y colectivos, con nuevas habilidades. Por otro lado, Personal de asistencia en ruta, como Carabineros, Bomberos y paramédicos, quienes requerirán capacitaciones en esta tecnología para maniobrar con seguridad los vehículos eléctricos en caso de emergencia. También se requerirán Planificadores urbanos para el diseño de la construcción de la infraestructura de carga en cada ciudad del país y Vendedores especializados para la comercialización de estos autos.

AIII.II.IV Otras barreras

En adición a las barreras de información, el posible usuario debe enfrentarse a limitaciones tales como costos de instalación elevados e inciertos pues dependen de las características de la vivienda. Por otro lado, las tarifas actuales que no son un incentivo, desaprovechando la flexibilidad de carga de los EV en comparación a otros artefactos eléctricos. Como en Chile las tarifas son planas se desperdicia esta flexibilidad en desmedro de la red eléctrica.

Otra limitación es que las instalaciones eléctricas no son aptas en el domicilio o estacionamiento y que además estos no sean propios como en el caso de arrendatarios o edificios de departamentos que comparten espacios comunes como los mismos estacionamientos.

AIII.IV Factores tecnológicos

Al ser un mercado incipiente, el tipo de baterías que prima actualmente tanto por modelo como por materiales puede no ser el mismo a futuro. Actualmente las baterías LFP son las principales baterías en el mercado para la electromovilidad, sin embargo, a futuro las NMC que tienen menores costes de fabricación podrían ser las principales¹⁰⁷. Esto implicaría que los materiales que se puedan recuperar de las baterías también tendrían un menor valor comercial.

Por otra parte, uno de los grandes desafíos que tiene el reciclaje y la segunda vida de baterías es la poca homogeneidad en el diseño de éstas, en términos tanto de material (litio, aluminio, cobalto, manganeso, níquel, hierro, fósforo o grafito) y sus proporciones, como de forma (cilíndricas, prismáticas y pouch). Lo que genera desafíos en cuanto a su disposición final, pues cada una posee un manejo diferente y deben ser agrupadas por tipos y componentes para lograr la adecuada manipulación y posible descarte. Es decir, cada fabricante desarrolla sus propias baterías en busca de optimizar sus propios procesos, lo que dificulta el diseño de plantas de reciclaje que sean compatibles con estos requerimientos.

A medida que pasa el tiempo y el desarrollo tecnológico avanza, las baterías en el mercado superan con creces las capacidades y el costo de las que puedan ser recicladas. Esto impide que sea eficiente reusarlas en electromovilidad, por lo que su segunda vida como baterías estacionarias y la posterior recuperación de materiales resulta una mejor alternativa para su ciclo de vida.

AIII.V Factores ecológicos

La electromovilidad trae consigo ventajas en términos de disminución de huella de carbono en comparación con los vehículos de combustión interna, pero acarrea problemas al final de la vida útil de las baterías, que contienen compuestos peligrosos que deben ser tratados adecuadamente para evitar que terminen en el medio ambiente. Además, las LIB pueden ser explosivas al ser manipuladas lo que representa otros problemas ambientales.

Chile se ha planteado como objetivo fomentar el uso eficiente de la energía, donde en la Política Nacional de Energía 2050 se establece como uno de sus lineamientos mejorar la eficiencia energética para el parque de vehículos livianos nuevos. Al mismo tiempo, Chile ha adquirido y ratificado acuerdos internacionales en materia de emisiones GEI y cambio climático, con una meta a alcanzar de 95 MtCO₂eq al 2030, comprometiendo además alcanzar el máximo de emisiones al 2025, y un presupuesto de emisiones de GEI que no superará las 1.100 MtCO₂eq para el período 2020-2030.¹⁰⁸

En la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Chile se convirtió en el primer país latinoamericano y uno de los primeros países del mundo en actualizar su compromiso de reducción de emisiones y medidas para enfrentar el cambio climático. El Ministerio de Energía desarrolló una hoja de ruta con iniciativas concretas en los distintos

¹⁰⁷ <https://www.idtechex.com/en/research-report/li-ion-battery-recycling-market-2022-2042/848>

¹⁰⁸ https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC_Chile_2020_espan%CC%83ol-1.pdf

sectores, que apuntan a conseguir la Carbono Neutralidad al 2050, dentro de las cuales se encuentra la electrificación del transporte.

Dada la relevancia creciente de los automóviles dentro de las emisiones del sector transporte, la medida de mitigación más efectiva es la electrificación del parque de vehículos particulares, permitiendo la reducción de un 27% de las emisiones de GEI en relación con la línea base en el período 2020-2050.

El efecto combinado de todos los escenarios de mitigación evaluados alcanza una reducción del 34% en las emisiones de GEI acumuladas con respecto a la línea base. Para lograr una mayor disminución es imprescindible que se produzca la rápida introducción de vehículos eléctricos de carga y buses eléctricos interurbanos, que en el escenario más ambicioso llegan a representar el 68% del total de GEI del sector transporte el 2050.¹⁰⁹

El plan nacional apunta principalmente a limpiar nuestra matriz de generación eléctrica, donde la principal acción de reducción de emisiones ya comprometida es el cierre de centrales a carbón al 2040 y la incorporación masiva de energías renovables. El siguiente paso es la electrificación del transporte, la mejora en la eficiencia energética de la vivienda y el reemplazo de combustibles fósiles en los usos de maquinaria y producción de calor en la industria y minería, por electricidad o hidrógeno verde, producido por electrólisis desde energías renovables.

AIII.VI Factores legales

Un aprendizaje que ha dejado el reciclaje de baterías ácido plomo, ha sido que incentivos económicos no son suficientes para asegurar la correcta gestión de la vida de las baterías y que políticas ambientales son necesarias para asegurar la reciclabilidad de todos los materiales y que no terminen en rellenos sanitarios. Las principales políticas y regulaciones están dadas por la Unión Europea y China, en donde las siguientes medidas son parte de la agenda:

La Directiva de Baterías (2006/66 / CE): Perteneciente al Parlamento Europeo y del Consejo, sobre baterías y acumuladores y residuos de baterías y acumuladores. Actualmente en revisión, en donde se evalúa la recolección y las tasas de reciclaje eficiente.

Ley REP: Bajo la Directiva de Baterías, pretende hacer a los productores responsables por el impacto ambiental de sus productos hasta el final del ciclo de vida. Los fabricantes originales de automóviles ya están habituados a este tipo de obligaciones

Acuerdo de Segunda Innovación de la Comisión Europea: Tiene por objetivo determinar si la ley existente en la EU ampara el reciclaje o el reuso como segunda vida de las baterías descartadas. El resultado de esta revisión puede cambiar la ley o transferir las responsabilidades de las baterías cuando entre en una segunda vida.

Directiva de ecodiseño (2009/125/EC): Establece un marco para regular los requerimientos de ecodiseño de productos relacionados con la energía que se comercialicen en el mercado de la UE. Los vehículos eléctricos no están regulados específicamente, pero se han hecho sugerencias acerca de requerir a los fabricantes del equipamiento original (OEM por sus siglas en inglés) de proveer públicamente información técnica sobre las baterías para los EV. Esta Directiva también podría incluir requisitos de circularidad para las baterías, como durabilidad, capacidad de ser reparadas y estándares para su reciclabilidad.

Actualmente dado lo incipiente del mercado, no hay regulación específica para baterías de ion- litio.

Una preocupación adicional para la política de OLIB es que no hay una diferenciación clara entre su condición de "baterías usadas" o de "residuos", lo que puede ser complejo a la hora de tener un mercado competitivo a nivel internacional, por lo que la UE está trabajando en regularizar este aspecto.

Responsabilidad Extendida del Productor en China, conocida como "Medidas previsionales para la Gestión del Reciclaje y Utilización de baterías de energía para nuevos vehículos" se implementó para reducir el desperdicio de baterías y a su vez incentivar a los fabricantes a diseñar productos fáciles de montar y desmantelar. Los fabricantes también deben proveer los detalles técnicos de las baterías para las empresas a quienes proveen. Este programa también debería incrementar la trazabilidad en la cadena de suministro.

Trazabilidad

Algunas empresas de la UE en consulta con la Comisión Europea han propuesto que se registre cierta información mínima sobre cada paquete LIB/OLIB. Las sugerencias han incluido la composición química, la capacidad, el peso y

¹⁰⁹ <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/174965/Evaluaci%C3%B3n-de-escenarios-de-mitigaci%C3%B3n-del-cambio-clim%C3%A1tico-en-Chile-con-respecto.pdf?sequence=1>

el productor, con la opción de actualizar este último si en algún momento durante su vida útil técnica, la batería / módulos / celdas entran en servicio de segunda vida.

Transporte

Dada la regulación que rige el transporte de productos químicos y residuos peligrosos, los costos de transporte dentro de Europa son elevados, complejos y toman más tiempo que el que los productos y recicladores desearan. Esto retrasa a nivel general la competitividad y el atractivo en el mercado de reciclaje y reuso de baterías. Los stakeholders están presionando para que se actualicen estas políticas y permitan el transporte de forma más expedita para aquellas empresas que están autorizadas como recicladores de alta calidad.

Estándares

Finalmente, los actores de la industria han estado tratando de negociar con la Comisión Europea estándares mínimos para los recicladores y la recuperación de materiales de baterías fuera de uso. Se espera que la UE exija que las baterías solo sean tratadas por recicladores que cumplan tanto con los estándares mínimos de eficiencia y desempeño ambiental, como con los procesos de vanguardia que maximicen la recuperación de metales y garanticen la eliminación segura de sustancias peligrosas.

Anexo IV. Regresiones

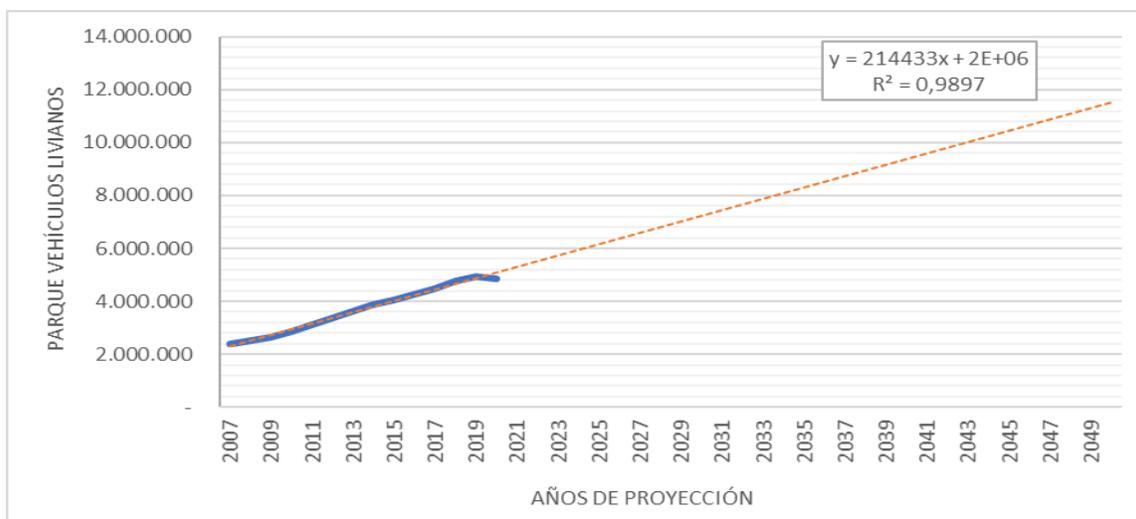
Proyecciones del parque automotriz

Proyección del parque realizada utilizando los datos desde el 2007 al 2020 del parque vehicular nacional desagregado por tipo según información del INE.

Se seleccionó la ecuación utilizando los criterios: mayor coeficiente de determinación (R^2) y proyección futura. Esto dejó fuera del análisis ecuaciones polinómicas con tendencia decreciente previo al 2050.

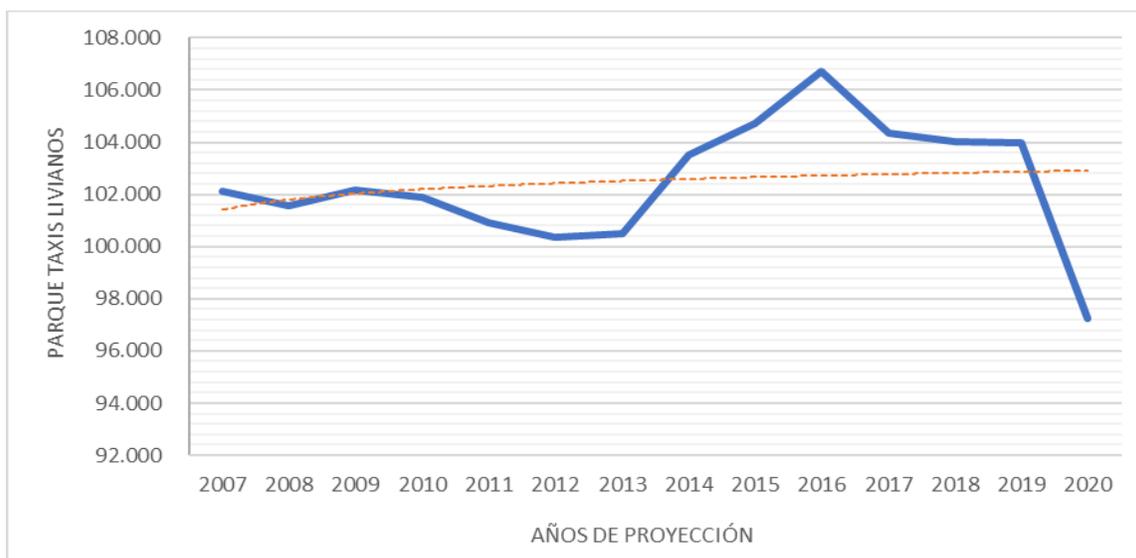
Vehículos particulares

Ecuación de la regresión con R^2 de 0.9897: $214433X+2000000$



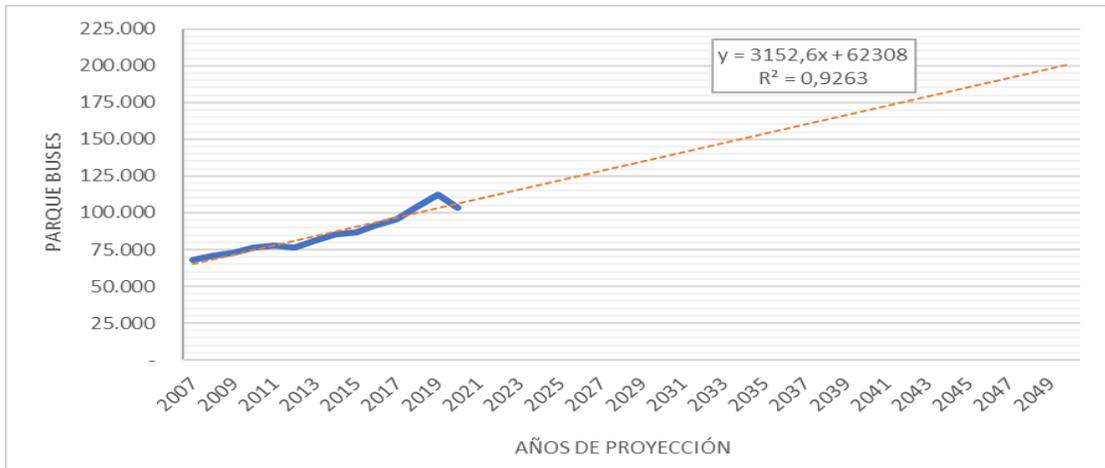
Vehículos de pasajeros

En el caso de los vehículos de pasajeros livianos, las regresiones realizadas con los datos correspondientes a los permisos de circulación entre el 2007 y el 2020 no permitieron encontrar una curva con un coeficiente de determinación superior al 0,1326 en el caso de la regresión polinómica. Esto no permitió generar una ecuación representativa de la historia del parque automotriz y se optó por utilizar una proyección basada en el crecimiento de la población según datos del INE, 0.9% anual, manteniendo la proporción de vehículos de pasajeros livianos por persona al 2050 de 1.85.



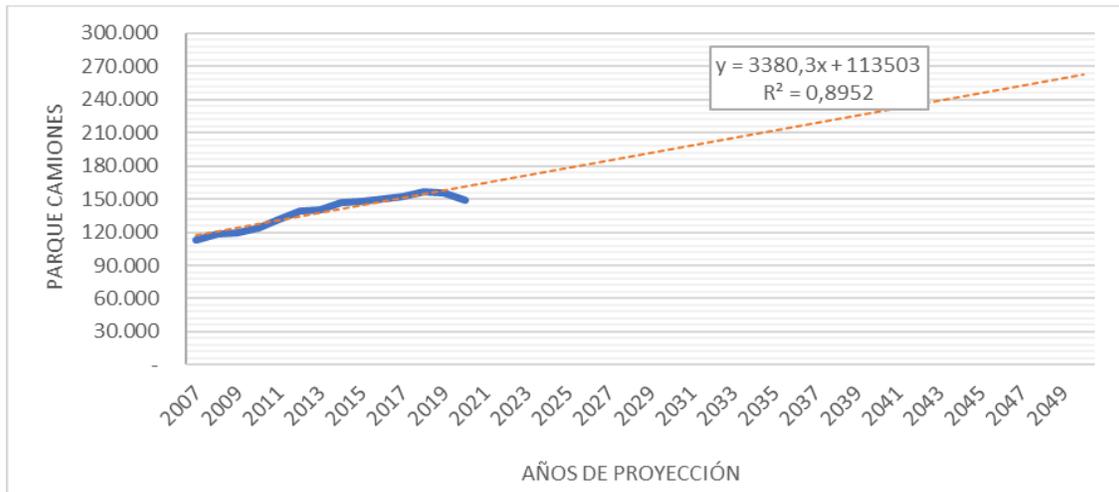
Buses

Ecuación de la regresión con R² de 0,9263: $3152,6X+62308$



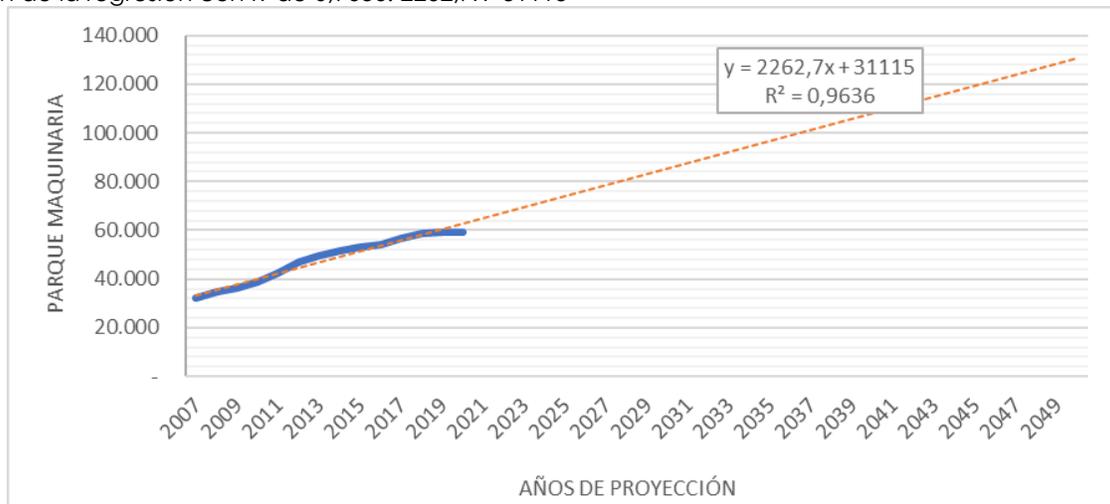
Camiones

Ecuación de la regresión con R² de 0,8952: $3380,3X+113503$



Maquinaria

Ecuación de la regresión con R² de 0,9636: $2262,7X+31115$



Anexo V. Políticas públicas y reglamentación

Programa De Gobierno 2018-2022: En el punto de Energía del actual programa de gobierno se señala, entre otros, la progresiva irrupción de la movilidad eléctrica como parte del abanico de oportunidades de innovación y desarrollo tecnológico al servicio del progreso del país. Medidas impulsadas señalan el fomento a la movilidad eléctrica en el transporte público, promover la movilidad de baja y cero emisiones para mejorar la calidad del aire, implementar normas de eficiencia energética para vehículos livianos y medianos, y avanzar hacia sistemas de transporte eléctrico.

Ruta Energética 2018-2022: Define en su eje de “Transporte Eficiente”: energía en movimiento” metas de corto plazo: tener 10 veces más vehículos eléctricos que el 2017, y 150 electrolinerías públicas a fines del 2019. Además, en el marco de la Ley de Eficiencia Energética, se incluirá una regulación para promover el transporte eficiente, con énfasis en la electromovilidad, además de disponer regulaciones para estandarización de componentes que favorezcan un desarrollo seguro de la electromovilidad, investigación, difusión, entre otros.

Estrategia Nacional De Hidrógeno Verde: En noviembre de 2020 se lanzó esta estrategia que busca promover el desarrollo del hidrógeno verde en nuestro país para crear polos de crecimiento y posicionar a Chile como líder en este nuevo mercado. Para lograr esto, es necesario establecer políticas de largo plazo, con amplio apoyo y continuidad en el tiempo en torno a objetivos comunes de desarrollo nacional. El hidrógeno verde será clave en la descarbonización del transporte pesado del país.

Estrategia Nacional de Electromovilidad del Ministerio de Energía: una política de Estado cuyo fin es elaborar una hoja de ruta con miras al desarrollo del transporte y dar cumplimiento a las metas fijadas. Dentro de esta estrategia se contemplan las siguientes políticas públicas donde se establecen los lineamientos para alcanzar las metas:

Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP): Instrumento que define los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país de manera transversal e integrada, considerando un horizonte de 30 años, para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático; transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de los mismos; reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático; y, dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en la materia. La ECLP guiará la acción climática del país en el largo plazo, estableciendo metas sectoriales a mediano plazo y presenta las diferentes visiones y objetivos climáticos de largo plazo en torno a los ámbitos de Energía, Transportes, Minería, Silvoagropecuario, Salud, Residuos y Economía Circular, Edificación y Ciudades, Infraestructura, Biodiversidad, Recursos Hídricos, Turismo, Pesca y Acuicultura, Borde costero y Océano.

Política Energética Nacional 2050 (PEN): Establece orientaciones y metas para el desarrollo de un sector energético confiable, sostenible, inclusivo y competitivo con miras al año 2050. Como parte de los compromisos de la PEN, se estableció el efectuar una revisión de ésta cada 5 años, de manera de incorporar posibles cambios tecnológicos, eventos externos o el surgimiento de nuevas prioridades para la sociedad que pudiesen modificar el escenario energético proyectado.

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (EH2V): Política de largo plazo que establece las ambiciones de nuestro país para crear una nueva industria del hidrógeno verde en beneficio para la nación. Esta Estrategia incorporó diferentes procesos participativos en su construcción, donde expertos de empresas, instituciones públicas, ONG's y ciudadanos pudieron entregar su visión, prioridades y preocupaciones sobre el desarrollo del hidrógeno verde en el país.

Planificación Energética de Largo Plazo (PELP): Proceso cuyo objetivo es desarrollar proyecciones energéticas de largo plazo, para distintos escenarios energéticos de expansión de la generación eléctrica y de su consumo, en un horizonte de al menos treinta años. Los escenarios energéticos considerados son fundamentales para múltiples funciones siendo la principal la buena planificación de la infraestructura necesaria para alcanzar las metas y compromisos que tenemos en Chile, como la carbono neutralidad y el retiro de las centrales a carbón de la matriz. Además, son importantes para continuar con la integración de energías renovables de forma segura y eficiente, orientar a los diversos sectores del país respecto a las alternativas energéticas más limpias, junto con anticipar situaciones y poder contar con un sistema energético confiable.

Ley de Eficiencia Energética 21.305: Busca ayudar al uso racional y eficiente de los recursos energéticos, para así contribuir a mejorar la productividad y la competitividad económica, además de mejorar la calidad de vida de las personas y reducir las emisiones de contaminantes. En particular, esta ley busca promover la renovación del parque con vehículos más eficientes, con énfasis en aquellos de propulsión eléctrica, a través de estándares de eficiencia

energética en vehículos livianos, medianos y pesados. También entrega el mandato de normar la interoperabilidad del sistema de recarga de vehículos eléctricos y establecer un régimen de depreciación acelerada para vehículos eléctricos.

Plan Nacional de Eficiencia Energética: La Ley 21.305 sobre Eficiencia Energética, establece que el Ministerio de Energía elaborará un Plan Nacional de Eficiencia Energética cada 5 años cuyo objetivo será formalizar nuestra visión como país en materias de eficiencia energética. El plan deberá contemplar, al menos, las siguientes materias: eficiencia energética residencial, estándares mínimos y etiquetado de artefactos, eficiencia energética en la edificación y el transporte, eficiencia energética y ciudades inteligentes, eficiencia energética en los sectores productivos y educación y capacitación en eficiencia energética.

Reglamentación

Homologación Vehículos Eléctricos: Al igual que cualquier vehículo convencional que circule por caminos públicos en Chile, un vehículo eléctrico deberá ser homologado en el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV), entidad pública encargada de certificar que se cumplan todos los aspectos constructivos, de seguridad y eficiencia energética conforme a lo que establece la normativa del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Sistemas de Carga: En el ámbito eléctrico, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) perteneciente al Ministerio de Energía, se encarga de definir la regulación para la instalación de cargadores de uso público y privado. Tanto personas jurídicas como personas naturales que deseen instalar uno o más puntos de carga para vehículos eléctricos deben acogerse a la reglamentación existente.

Anexo VI. caracterización de mercados correlacionados con el de baterías de electromovilidad y su impacto en el crecimiento del mismo

El futuro del reciclaje y segundo de las LIB dependerá de otros mercados que ya están establecidos o son también incipientes.

AVI.I Desmantelamiento, desarmadura y reciclaje de automóviles

Cuando un vehículo llega al final de su vida útil, el propietario puede venderlo o declararlo fuera de uso, sin embargo, la tendencia es que las ventas de automóviles nuevos sobrepasen la cantidad de los que son declarados fuera de uso incrementando sostenidamente el parque automotriz.

El mercado de reciclaje automotriz está fuertemente regulado en la UE y su descarte está sujeto a controles de trazabilidad y planificación. La Directiva 200/53/CE establece metas para la reutilización, reciclado y valorización de los vehículos y sus componentes. Esta regulación ha permitido que el mercado se haya mantenido estable con actores como desmanteladores, trituradores y fundiciones y no se han hecho grandes cambios en términos tecnológicos.

Los automóviles están disponibles para su reciclaje a través de tres mecanismos: el automóvil está tan dañado en una colisión u otro evento que está más allá de la reparación segura y / o económica, y por lo tanto debe ser desmantelado, aunque según la empresa de seguros podría regresar al mercado. El segundo mecanismo es que el costo de mantenimiento del vehículo sea mayor al costo de comprar uno nuevo. El tercer mecanismo es que el vehículo sea abandonado por el dueño de forma ilegal, este caso es más complejo dada la falta de información disponible sobre el paradero del auto.

La tasa de desguace de automóviles está relacionada con el tamaño del parque, la tasa de ventas de automóviles nuevos y factores económicos o de otro tipo, como la intervención deliberada del gobierno para aumentar la tasa a la que se retiran los automóviles viejos del parque (generalmente para estimular las ventas de automóviles nuevos). Un automóvil pierde valor con el tiempo, y esta tasa de depreciación varía, pero generalmente es del 50-60% durante 36 meses. Un automóvil se deteriora en condiciones funcionales y estéticas. Además, los autos nuevos traídos al mercado incorporan nuevas tecnologías, materiales, características y rendimiento que hacen que los autos más antiguos sean comparativamente menos atractivos. Los eventos de desguace de automóviles generalmente se desencadenan en las pruebas anuales del Ministerio de Transporte o cuando se considera que los costos de reparación y mantenimiento requeridos exceden el valor económico del automóvil para el propietario.

AVI.II Reciclaje de Baterías de plomo-ácido

El mercado del reciclaje de las baterías de plomo-ácido permite establecer un precedente de los factores que influyen en la correcta disposición y rentabilidad de modelos de negocios relacionados con el fin del ciclo de vida de los productos derivados de los automóviles. A nivel mundial, aproximadamente el 90% de las baterías se reciclan, mientras que las LIB fuera de uso sólo alcanzan el 5%.

Uno de los factores que impulsa el mercado del reciclaje es el valor de los materiales que se extraen del proceso de reciclaje, cuando el precio del plomo era bajo, el reciclaje pasó a segundo plano provocando que se exporten y desechen a otros países. Esta situación se ha manejado a nivel mundial con políticas públicas impidan que sean desechadas en vertederos y a su vez que se reciclen, permitiendo tasas del casi 100% de reciclabilidad en la UE.

Además del aumento de las regulaciones gubernamentales, otro factor que ha contribuido al éxito del reciclaje de baterías de plomo-ácido en la UE es la composición química común y que el plomo reciclado es conocido por su alta calidad. El modelo de negocio está respaldado además por centros de recolección y tecnologías de recuperación bien establecidos, lo que hace que el reciclaje de baterías de pb-ácido sea relativamente simple y rentable.

A nivel nacional, según estudio de ANIR¹¹⁰ al 2019, el reciclaje de baterías de plomo-ácido valoriza el 52,5% del Material Disponible País, con una Capacidad Técnica Instalada para reciclar el 71,1%. Sin embargo, esta capacidad está concentrada geográficamente, lo que acarrea una extensa huella logística; un sector de sacrificio ambiental; la dependencia a paralización del reciclaje nacional por las fallas de la maquinaria, las detenciones por fiscalización, entre otros.

110 ANIR. Estudio del Material Disponible País y el reciclado de los productos prioritarios en Chile, 2019

Se desconoce la disposición final del 47,5% del Material Disponible País, pero se sabe que gran parte de ellas son exportadas de manera ilegal por el alto precio que ofrecen por comprarlas fuera del país, ante la alternativa de RECI-MAT, la única empresa chilena que compra a bajos precios y recicla estas baterías usadas.

AVI.III Mercado de materias primas para las LiB

La demanda de materias primas impulsada por las aplicaciones de baterías experimentará un crecimiento sin precedentes en los próximos años. El suministro de las principales materias primas para baterías tendrá que aumentar en factores entre 4 (cobalto) y 24 (níquel de clase 1).¹¹¹

Una pequeña parte del suministro de cobalto y níquel en la fabricación actual de baterías proviene de fuentes recicladas, y se utiliza muy poco litio reciclado, el que puede provenir de LiBs al final de su vida útil, sin embargo, los volúmenes son pequeños en comparación con la demanda.

Es poco probable que los metales recuperados de otros mercados finales importantes se utilicen en la fabricación de LiBs: es probable que el cobalto y el níquel terminen reciclados en el mismo uso final y el litio generalmente no se recupera¹¹². Para el cobre, una parte más significativa del suministro en la fabricación podría provenir de fuentes recicladas, dado que su mercado ya está establecido.

En el futuro, las baterías de iones de litio de vehículos eléctricos al final de su vida útil serán la principal fuente de metales secundarios para cobalto, litio y níquel. A pesar de que es técnicamente posible recuperar estos metales de otras fuentes, recuperar estos metales de las baterías de iones de litio usadas es la forma más económica en comparación con devolverlos a metales puros de otras fuentes.

Litio

Casi la mitad del litio actual se extrae para fines relacionados con la batería. Con el fuerte aumento de la demanda de baterías, según estudio de Cochilco sobre la proyección de demanda del Litio, el suministro de litio tendrá que aumentar 6 veces entre el 2018 y el 2030. El litio está bien distribuido en la corteza terrestre, y los principales depósitos están en Australia, Chile y Argentina. A causa de las operaciones relativamente bajas de uso intensivo de capital, cuando los precios del litio eran altos, anunciaron muchos nuevos participantes proyectos y comenzó su producción, lo que resultó en un mercado actualmente sobre abastecido.

Por otra parte, un aspecto crecientemente a favor de la oferta es la producción secundaria de litio, industria que ya ha desarrollado una capacidad relativamente importante de procesamiento. En efecto, de acuerdo con datos de Roskill (2019), en 2018 se contabilizaron 52 centros de reciclaje de baterías de ion-litio, 24 de estas en China. En Europa y Estados Unidos la mayor parte de los centros son negocios separados mientras que en Asia están relativamente integrados en la cadena de valor. En China en particular están conectados a fabricantes de baterías y autos eléctricos.

Con esto, se espera que el uso de carbonato de litio equivalente (LCE) crezca desde menos de 10 kt en el 2018 a más de 100 a partir del 2028. Esto implicaría que el litio secundario pasaría de representar un 3% de la demanda agregada en 2018 a más de un 7% hacia fines de la década¹¹³. Ahora bien, cabe señalar que, tal como ocurre con otros metales, la evolución de los precios, así como los costos de procesamiento será los principales precursores que afectarán la intensidad de reciclaje en el tiempo.

Cobalto

Se espera que la demanda de cobalto para su uso en baterías aumente en un factor de 4 en 2030 en comparación con los niveles actuales (se prevé la duplicación de la demanda mundial general en 2030). El cobalto es casi exclusivamente un subproducto básico obtenido principalmente de minas de cobre y níquel. Si bien la demanda general está aumentando, la proporción de cobalto en las futuras químicas celulares está disminuyendo continuamente, lo que provoca un crecimiento menos optimista de la demanda de este mineral. Aproximadamente el 70% del cobalto extraído hoy en día se origina en la República Del Congo (RDC). Sin embargo, la mayoría de las operaciones de refinación de cobalto se encuentran en China, lo que representa el 60% del suministro de cobalto refinado en 2018.

La RDC es uno de los países menos desarrollados del mundo y la minería de cobalto es un pilar central de su economía, donde entre 10 y 12 millones de personas dependen directa o indirectamente de la minería y el 80% de las exportaciones son productos mineros, sin bien, la mayor parte del cobalto extraído allí proviene de minas

¹¹¹ World Economic Forum. A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation

¹¹² Circular economy opportunities for the EV battery supply chain

¹¹³ Oferta y demanda de Litio al 2030, Cochilco.

<https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Produccion%20y%20consumo%20de%20litio%20hacia%20el%202030.pdf>

industriales, se han documentado riesgos ambientales, sociales y de integridad en tales operaciones, dado que según World Economic Forum¹¹⁴ el 15-30% del suministro de cobalto de la RDC se extrae de forma manual en minas artesanales a pequeña escala. Estas minas son a menudo informales y las expectativas internacionales básicas de derechos humanos a menudo no se implementan ni se hacen cumplir, lo que representa un riesgo en la cadena de suministro de baterías.

Níquel

Las reservas de níquel están relativamente dispersas por todo el mundo, con siete países que representan el 7-20% del volumen cada uno (Australia, Brasil, Canadá, Indonesia, Nueva Caledonia, Filipinas y Rusia). Hoy en día, las principales aplicaciones para el níquel no se encuentran en la fabricación de baterías, sino que en la fabricación de acero inoxidable para el que se utiliza níquel de clase 2 con bajos niveles de pureza.

Ante la creciente demanda de baterías en los vehículos eléctricos, la demanda de baterías de níquel de clase 1 de alta pureza aumentará en un factor de 24 en 2030 en comparación con los niveles de 2018, lo que pondrá al mercado bajo presión en los próximos años. Por esto, será crucial que se dirija suficiente inversión a nuevas minas y complejos de refinerías de níquel de clase 1 para garantizar un suministro oportuno y suficiente en los próximos años.

Cobre

El uso de cobre en baterías de iones de litio para vehículos eléctricos es un pequeño porcentaje del mercado total de cobre, aunque se proyecta que crezca. El cobre se utiliza en las LiBs como lámina de cobre. Las baterías constituyen aproximadamente el 20% del mercado de láminas de cobre de alta gama, que está dominado por la demanda de placas de circuitos. Se estima que la demanda de cobre podría alcanzar los 40 millones de toneladas métricas en 2030, frente a los 23,8 millones de toneladas métricas en 2020.

El reciclaje de cobre es un proceso maduro que se integra con la producción de cobre primario, sin embargo, no se recolecta más del 50% y el 45% en promedio a nivel mundial se recicla, principalmente por costos en separación, clasificación y desmontaje¹¹⁵.

Grafito

El mercado global de grafito se valoró en \$ 14.3 mil millones en 2019, y se espera que alcance los \$ 21.6 mil millones para 2027, con un crecimiento de 5,3% de 2020 a 2027¹¹⁶. El grafito es uno de los materiales de fabricación más versátiles del mundo, es un aditivo crucial en la fabricación de muchos productos industriales y materiales de construcción, además es un componente clave en las baterías.

El Banco Mundial proyecta que la demanda de grafito aumentará en un 500% entre 2018 y 2050. Se espera que el mercado mundial de grafito alcance los US \$ 21.6 mil millones para 2027, impulsado principalmente por la demanda del EV. Por volumen, el grafito es uno de los elementos más importantes en cualquier batería EV, y cada EV contiene entre 40 y 60 kilogramos de material, según Benchmark Mineral Intelligence¹¹⁷. Pero desde la minería de grafito hasta la producción de celdas, China tiene más del 70% de participación de mercado.

El grafito usado debe recuperarse con fines ambientales y económicos, dada la huella ambiental que genera su producción o extracción. Los ánodos de grafito recuperados tienen la misma capacidad de ciclo que los ánodos de grafito virgen, dado a sus materiales constituyentes puros y su estructura de carbono estable.

La separación y la reutilización son los pasos esenciales involucrados en el reciclaje de grafito. Las técnicas eficientes para recuperar cobre y grafito requieren procedimientos de separación más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. La mayoría de los sistemas de reciclaje actuales son pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos, que requieren una operación de varias unidades, un alto consumo de energía y cargas financieras. Debido a la incapacidad de equilibrar el vínculo entre la contaminación y el costo, no existe una tecnología de recuperación de grafito en uso en la industria.¹¹⁸

¹¹⁴ World Economic Forum. A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation

¹¹⁵ Reducing new mining for electric vehicle battery metals: responsible sourcing through demand reduction strategies and recycling <https://earthworks.org/assets/uploads/2021/04/UTS-EV-battery-metals-sourcing-20210419-FINAL.pdf>

¹¹⁶ <https://www.alliedmarketresearch.com/graphite-market>

¹¹⁷ <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/graphite-investing/graphite-outlook/>

¹¹⁸ Critical strategies for recycling process of graphite from spent lithium-ion batteries: A review. Science of the Total Environment. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721066973>

AVI.IV Retro-fit

La práctica de retrofit consiste en convertir un vehículo de combustión convencional a uno de tecnología más moderna, en este caso a auto híbrido o eléctrico.

En diciembre de 2019 el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones emitió una circular interna a todas sus secretarías regionales ministeriales oficiando a las plantas de revisión técnica a no realizar inspecciones a autos convertidos, por lo que todos estos vehículos quedaron de manera automática fuera de la ley. De ese modo quedó fuera de la regulación el servicio de startups que ofrecían la conversión de vehículos anteriores al año 1992¹¹⁹.

Sin embargo, dados los beneficios potenciales de la reconversión o retrofit, es necesario trabajar en la posibilidad de transformación de vehículos convencionales a eléctricos y así lo entiende Ignacio Santelices, director ejecutivo de AgenciaSE, quien en el conversatorio “Electromovilidad: Impulso tras pandemia” sostuvo que “la conversión es una tremenda oportunidad para fomentar la electromovilidad, pero también creo que hay que hacerlo bien” y que “cuando uno saca partes de un auto y pone nuevas piezas, especialmente pensando en una batería con cierto peso, no es algo trivial, porque cambia el centro de gravedad y la estabilidad del automóvil. Hasta que no haya normas claras sobre cómo hacer la conversión de un auto, es un peligro para el usuario del vehículo convertido”. En base a esto, Andrés Barentin, vicepresidente de AVEC, señaló que están trabajando en los pasos a seguir para la conversión de vehículos que utilizan combustibles fósiles a eléctricos pero que hay ciertos aspectos que son importantes de considerar como la ubicación de cables principales y baterías, modificaciones al centro de masa y conversión de correas.

Al respecto en marzo de 2020 se presentó la moción en la Cámara de Diputados, que contiene un Proyecto de Ley que establecería que: “Estarán autorizados para circular los vehículos livianos y medianos que se hubiesen adaptado para la utilización de motor eléctrico como único medio de propulsión, siempre y cuando cumplan con los requisitos técnicos, constructivos y de seguridad que establezca la normativa vigente para vehículos eléctricos. No podrán exigirse requisitos adicionales basados en criterios distintos a estos, tales como la marca o destinación de su uso. Un reglamento dictado por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones establecerá la forma de certificar el cumplimiento de los requisitos”¹²⁰. El reglamento al que hace referencia deberá publicarse en un plazo no mayor a un año desde la fecha en que entre en vigencia esta ley, según indica el mismo documento.

Además, en la Estrategia Nacional de Electromovilidad se dispone que “Se desarrollará la regulación que permita la transformación, o retrofit, de vehículos de combustión a eléctricos, y la generación de una industria que contemple sus particularidades”. Para lo cual se ha definido como plazo el periodo comprendido entre el segundo semestre 2021 y primer semestre 2023.

En diciembre del año 2021, el ministerio de transporte puso en consulta el reglamento de transformación de vehículos propulsados por combustión interna a propulsión eléctrica, en el cual describe en el artículo 8 que solo se podrán transformar aquellos vehículos sin elementos o dispositivos de seguridad de control electrónico, tales como: Sistema Antibloqueo de Frenos (ABS), Sistema Electrónico de Estabilidad (ESP), Control de Tracción, Airbag y/o Sistemas de Asistencia a la Conducción (frenado de emergencia, Detector de punto ciego, Asistente de Mantenimiento de Carril y/o Asistente de Velocidad Inteligente), y para los que exista un Kit Eléctrico de Transformación específico para la marca y modelo del vehículo. A esta relación biunívoca entre modelo y Kit de transformación en adelante se le llamará “Par Modelo – Kit”.

Los tipos de vehículos que podrán ser transformados son:

- a) Buses o minibuses que presten servicios de transporte público o privado remunerado de pasajeros y que se encuentran definidos en los Decretos Supremos N°212, de 1992 y N° 80, de 2004, y aquellos vehículos regulados en el Decreto Supremo N°211, de 1995, todos del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, o los que en el futuro los reemplacen.
- b) Vehículos motorizados destinados al transporte de personas o carga con peso bruto vehicular inferior a 3.860 kg.

Además, indica claramente que no podrán ser transformados los vehículos usados, livianos y medianos, internados al país bajo el régimen de Zona Franca de Extensión, señalado en el D.F.L. N° 2 de 2001, del Ministerio de Hacienda, que aprueba el texto refundido, coordinado y sistematizado del D.F.L. N°341, de 1977 sobre Zonas Francas.

¹¹⁹ <https://www.electromov.cl/2020/09/14/conversion-de-vehiculos-a-combustion-los-elementos-a-considerar/e>

¹²⁰ <https://www.camara.cl/verDOC.aspx?prmID=53298&prmTipo=FICHAPARLAMENTARIA&prmFICHATIPO=DIP&prmLOCAL=0>

AVI.V LiBs para productos electrónicos de consumo

A diferencia de la batería de plomo-ácido, el reciclaje de LIB ha demostrado ser costoso (incluso a escala). Se estima que el 95% de las LIB se depositan en vertederos (a nivel mundial) en lugar de reciclarse al llegar al final de su vida útil. La electrónica de consumo (CE) representa el 50 % del mercado mundial de LIB. La investigación sobre el reciclaje de productos electrónicos de consumo en América del Norte en 2016 muestra que los teléfonos celulares representan aproximadamente el 68% de las unidades vendidas, pero representan solo el 20% de la masa de baterías de CE vendida, y tienen una tasa de reciclaje aproximada del 15%.

Las computadoras portátiles representan el 20% de las unidades CE vendidas, pero representan el 73% de la masa de batería vendida, con una tasa de reciclaje mucho más alta de aproximadamente el 40%. Las LIB de computadores portátiles son los más pesados y, por lo tanto, tienen la tasa más alta de reciclaje de masa de batería, mientras que los teléfonos celulares / móviles son los más utilizados, pero menos reciclados y, por lo tanto, su menor proporción de masa de batería reciclada. En general, la tasa de reciclaje promedio para CE en América del Norte es de aproximadamente el 33% de la masa de baterías vendidas, y como resultado, la mayoría de las LIBs se depositan en vertederos.

En la UE, antes de la implementación de nuevas regulaciones en 2008, la tasa de retorno para la CE se estimaba entre el 3% y el 7%. A pesar de que a menudo se cita el 5 % como la tasa de reciclaje de las LIB en la UE, la estática actual de reciclaje de LIB para la UE sigue siendo oscura, ya que los datos de LIB se mezclan con otras baterías no especificadas.

En Chile, empresas como Ecominería y Recybatt recuperan cobalto y cobre de las baterías provenientes de productos electrónicos de consumo.

AVI.VI LiBs en micro movilidad

El tamaño del mercado global de infraestructura de carga de micromovilidad se valoró en USD 3.23 mil millones en 2020 según Grand View Research¹²¹ y se espera que se expanda a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 23.4% de 2021 a 2028. El crecimiento del mercado se puede atribuir a las crecientes inversiones en los modos de transporte de micromovilidad. Se espera que numerosos usuarios adopten el modo de transporte de micromovilidad para frenar la contaminación ambiental. Además, se espera que el aumento de la conciencia sobre las emisiones de gases de efecto invernadero cree oportunidades de crecimiento para el mercado. La micromovilidad se está convirtiendo en un modo de transporte eficiente y confiable dentro de los pueblos y ciudades. Este modo de transporte tiene excelentes tasas de conversión de energía en comparación con los vehículos de combustibles fósiles. Se espera que varios factores, como el aumento de los precios del petróleo y el gas, la facilidad de estacionamiento y el aumento de la congestión vial, contribuyan a la adopción de la micromovilidad. Como resultado, se espera que esto cree oportunidades de crecimiento para el mercado.

El segmento de e-scooters lideró el mercado y representó más del 59,0% de los ingresos globales en 2020. Los usuarios han comenzado a usar más y más e-scooters, ya que estos scooters son fáciles de estacionar y recargar. Las plataformas de carga de e-scooter ayudan a reducir la congestión del tráfico y mejorar la calidad del aire al reducir las operaciones de recuperación de e-scooter. Además, estas plataformas son adaptables a cualquier diseño de e-scooter.

El creciente despliegue de estaciones de carga de bicicletas eléctricas en áreas turísticas y públicas impulsará el crecimiento de este tipo de productos. Las estaciones de carga pueden cargar múltiples bicicletas eléctricas al mismo tiempo y se pueden montar fácil y rápidamente de forma independiente o en una pared.

A nivel nacional en 2018 se dio luz verde a la Ley de Convivencia de Modos que modifica la Ley de Tránsito de Chile con el objetivo de armonizar el uso del espacio vial que comparten los distintos modos de movilidad¹²². La movilidad eléctrica califica en la categoría de ciclo que se describe como: "Vehículo no motorizado de una o más ruedas, propulsado exclusivamente por una o más personas situadas en él, tales como bicicletas y triciclos. También se considerarán ciclos aquellos vehículos de una o más ruedas que cuenten con un motor auxiliar eléctrico, de una potencia nominal continua máxima de 0,25 kilowatts, en los que la alimentación es reducida o interrumpida cuando el vehículo alcanza una velocidad máxima de 25 kilómetros por hora o antes si el ciclista termina de pedalear o propulsarlo, los que se considerarán para los efectos de esta ley como vehículos no motorizados".

Importadores de estos vehículos sostienen que por ahora la regulación les permiten ampliar la oferta e incluso tener la ventaja de competir a nivel regional con algunos otros países que tienen una normativa más específica y restrictiva. Una legislación más exhaustiva puede, como consecuencia, producir una limitación en la oferta hacia

¹²¹ <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/micro-mobility-charging-infrastructure-market>

¹²² <https://portalmovilidad.com/la-ley-acompana-y-chile-podria-tener-el-mercado-mas-amplio-de-micromovilidad-electrica/>

el consumidor final, sin embargo, destacan que sería de relevancia que una futura legislación esté basada en la prevención de accidentes y el control de convivencia.

AVI.VII Hidrógeno

Las baterías de celda de hidrógeno, cuyo uso ya está presente en el mercado podrían constituir un riesgo de sustitución a largo plazo. Toyota, Honda, Hyundai y Mercedes Benz entre otros fabricantes, ya cuentan con modelos comercializables de estos vehículos.

En abril de 2020, en el contexto de la pandemia COVID-19, la alemana Daimler (fabricante de Mercedes Benz) reportó que, a pesar de contar con un plan de desarrollo de automóviles de pasajeros con celda de hidrógeno desde hace tres décadas, no continuaría con su programa por sus elevados costos (doble de uno eléctrico). A raíz de lo anterior, anunció que progresivamente dejará de producir su único modelo, el GLC-F-Cell, desarrollado en 2013 en colaboración con Ford y Nissan (no obstante, estos últimos dos fabricantes nunca lanzaron modelos propios)¹²³. A su vez, Volkswagen en 2020 indicó que se centraría en los vehículos con baterías y a Honda quien suspendió su programa de autos a hidrógeno en el 2019.

Sin embargo, en cuanto a vehículos pesados, fabricantes como BMW, Hyundai y Toyota mantienen planes de desarrollo. En esta línea Daimler recientemente anunció una colaboración con Volvo para impulsar el programa para vehículos pesados. Esto se basa en que se considera que las celdas a hidrógeno son más propicias para camiones grandes, con espacio y capacidad suficiente para resistir el peso de las celdas (Electrek, 2020).

Por último, se debe acotar que un inconveniente adicional es que, si bien estos automóviles no producen emisiones directamente, la producción de hidrógeno actual proviene en su mayor parte de la producción de gas natural, proceso que emite dióxido de carbono. No obstante, existen procesos de producción a partir de energías renovables, y es probable que estos se potencien en el futuro.

123 <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Produccion%20y%20consumo%20de%20litio%20hacia%20el%202030.pdf>

Anexo VII. Alternativas de segunda vida y reciclaje de baterías de electromovilidad implementados a nivel internacional

Proyecto	País	Aplicación	Capacidad Energética	Generalidades	Webgrafía
xStorage by Nissan Home	Amsterdam, Países Bajos.	Almacenamiento estacionario	2,8 MWh	Las baterías de ion litio para vehículos eléctricos reutilizadas de Nissan se utilizan en el sistema xStorage: xStorage Home es un sistema integrado de almacenamiento de energía solar y para el hogar; xStorage Building es una solución robusta para alimentar de manera eficiente a las empresas que tienen demandas de alto consumo de energía. xStorage Building utiliza 280 baterías Nissan LEAF y se ha utilizado como energía de respaldo en el Amsterdam Arena, un lugar de entretenimiento de fama mundial.	www.behindenergy.com/amsterdam-arena-switches-on-giant-nissan-leaf-battery-storage-system/?lang=en
General Motors	Michigan, Estados Unidos	Almacenamiento estacionario - Data center	17,1 kWh	General Motors utilizó cinco baterías Chevrolet Volt reutilizadas junto con paneles solares y turbinas eólicas para impulsar el Centro de datos en Milford Enterprise de General Motors Milford, Michigan.	https://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2015/jun/0616-volt-battery.html
Umicore y Engie	Nysa, Polonia	Almacenamiento estacionario	1,2 MWh	En 2021 se puso en marcha la planta greenfield en Nysa, que es la primera planta de materiales catódicos de Europa. La planta comenzará la producción comercial en el segundo trimestre de 2022. Umicore tiene una larga experiencia en el tratamiento de metales de más de 200 años. Lleva más de 20 años produciendo materiales catódicos para baterías recargables. La inversión en Nysa es parte del camino de crecimiento estratégico del Grupo Umicore y desempeñará un papel clave en la transición hacia una movilidad limpia. Los materiales que se producirán en Nysa se venderán a los fabricantes de baterías para vehículos eléctricos.	https://www.umicore.com/en/newsroom/news/umicore-and-engie-sign-a-long-term-ppa-to-supply-renewable-electricity-to-umicores-cathode-materials-plant-in-poland/ https://www.umicore.pl/en/our-sites/nysa/
SAIC, GM y Wuling (SGMW)	Guangxi, China	Almacenamiento estacionario	1000kWh	SAIC-GM-Wuling (SGMW), es una empresa conjunta entre General Motors, SAIC Motors y Liuzhou Wuling Motors. La empresa conjunta de GM recientemente puso en funcionamiento la primera central eléctrica de almacenamiento de energía en cascada de la provincia de Guangxi utilizando baterías de vehículos eléctricos	https://www.sgmw.com.cn/

				<p>retiradas en la base Baojun de la compañía en Liuzhou. La instalación almacena energía eólica y solar, así como energía de la red generada durante las horas no pico para que la red la use para aliviar la presión durante las horas pico de consumo. La central eléctrica utiliza baterías viejas del desarrollo de los vehículos eléctricos Baojun E100 y E200 de SAIC-GM-Wuling.</p>	
TEPCO Tokyo Electric Power Co. Holdings	Tokyo, Japón	Almacenamiento estacionario	Fase prototipo	<p>La empresa de servicios públicos japonesa Tokyo Electric Power Co. Holdings lanzará un negocio de baterías de almacenamiento utilizando baterías usadas de vehículos eléctricos de China. El plan es ensamblar baterías usadas en un sistema de almacenamiento de energía en contenedores para ayudar a las plantas de energía renovable. La unidad de transmisión y distribución Tepco Power Grid comprará baterías de vehículos eléctricos usadas de empresas comerciales en China y en otros lugares, combinando el valor de 20 a 30 vehículos en una batería tipo contenedor. Luego, las baterías se venderán a plantas solares y otras plantas de energía renovable por un 30% a 50% menos que las baterías nuevas.</p>	https://asia.nikkei.com/Business/Energy/Tepco-to-reuse-Chinese-EV-batteries-for-energy-storage
BYD e Itochu	Australia y sudeste asiático	Almacenamiento estacionario	1 MWh	<p>Itochu se asociará con BYD, el principal productor de automóviles eléctricos de China, en una empresa que da una nueva vida a las baterías automotrices como almacenamiento de energía renovable. El plan es reutilizarlas como baterías para sistemas renovables, como la energía solar, que requieren almacenamiento para manejar las fluctuaciones en la oferta y la demanda. Numerosas baterías de automóviles se colocarán dentro de un contenedor de 40 pies y se convertirán en una batería de 1000 kilovatios-hora. Uno de estos conjuntos sería suficiente para cubrir el consumo energético diario de 100 hogares. Al principio, Itochu apuntará a Australia y el sudeste asiático. También planea vender las baterías en Estados Unidos y Japón. La empresa japonesa apunta a unas ventas de 92 millones de dólares en cinco años.</p>	https://stofficetokyo.ch/news/energy/itochu-and-byd-team-up-to-find-second-life-for-ev-batteries

Bak Power Battery Co. Y China Southern Grid Energy Service Co.	Shenzhen, China	Almacenamiento estacionario	7,27 MWh	BAK Power Battery Co., Ltd. y China Southern Grid Energy Service Co., Ltd. completaron conjuntamente el proyecto de almacenamiento de energía de batería en cascada. Como proyecto de almacenamiento de energía para el usuario final, se aplicará al parque industrial y comercial. La función principal es realizar el recorte de la carga máxima de la energía y proporcionar servicios asistidos por energía. El proyecto logró múltiples innovaciones tanto a nivel de modelo de servicio como de solución, lo cual es un hito notable dentro de la industria. Tomando este proyecto como punto de partida, BAK Power y CSG Energy han llegado a una cooperación estratégica y se expandirán conjuntamente en el campo del almacenamiento de energía y llevarán a cabo una colaboración profunda en el futuro.	
Volvo Buses, Göteborg energi, Riksbyggen y Johanneberg Science Park	Gothenburg, Suecia	Almacenamiento estacionario	200 kWh	Las empresas Volvo Buses, Göteborg Energi, Riksbyggen y Johanneberg Science Park trabajan juntas para generar electricidad en departamentos en Suecia. El complejo de departamentos pretende ser el proyecto inmobiliario más innovador y sostenible de Suecia: la vivienda de huella positiva. En la cooperativa "Viva", las empresas Riksbyggen, Volvo, Göteborg Energi y Johanneberg Science Park han creado un sistema único mediante el cual la energía obtenida por los paneles solares en los techos de los edificios se almacena en baterías que anteriormente alimentaban a buses eléctricos. El paquete de baterías consta de 14 baterías eléctricas de iones de litio usadas. Se instalan en una cámara de baterías y se unen para crear un paquete de almacenamiento de 200 kWh.	https://markets.businessinsider.com/news/stocks/volvo-in-unique-research-project-electric-bus-batteries-used-to-store-solar-energy-1027783180
Daimler y Beijing EV	Beijing, China	Almacenamiento estacionario	40 MWh	La asociación germano-china se centra en el almacenamiento de baterías de segunda vida para el mercado chino. Beijing Electric Vehicle (BJEV) fue establecida en 2009 por BAIC Group como una plataforma de desarrollo para New Energy Vehicles. Con más de 420.000 vehículos eléctricos a batería en el mercado hasta el momento, BJEV es uno de los principales fabricantes de vehículos totalmente eléctricos en China. En consecuencia, sus baterías forman uno de los grupos más grandes del mundo y ofrecen un amplio potencial para aplicaciones	https://insideevs.com/news/364178/daimler-bjev-2nd-life-battery-storage/

				de segunda vida en el área de almacenamiento estacionario.	
Nissan	Yakohama, Japón (sede)	Almacenamiento estacionario	700 kWh	La compañía Nissan creó un dispositivo llamado "Roam". Es un cubo pequeño que contiene las celdas de la batería de iones de litio extraídas de los vehículos Nissan de primera generación y se puede conectar a un remolque Air Opus. Roam puede almacenar hasta 700 Wh de electricidad y ofrece 1 kW de salida eléctrica, suficiente para alimentar dispositivos, electrodomésticos pequeños y las luces a bordo y el sistema de calefacción del remolque. Nissan afirma que cuando la batería se combina con un panel solar de 400 W, puede proporcionar energía al remolque durante una semana sin interrupción. La batería también se puede recargar en solo una hora cuando se conecta a una toma de corriente de 230 voltios. Sin embargo, Roam es solo una prueba de concepto. Si bien muestra una posibilidad para las baterías reutilizadas, la compañía no ha anunciado ningún plan para producir en masa el paquete de energía.	https://www.engadget.com/2019-02-18-nissan-roam-battery-opus-air-camping-trailer.html
Toyota y Chubu Electric Power	Nagoya, Japón	Almacenamiento estacionario	10 MWh	Ambas compañías tienen como objetivo reutilizar las baterías recolectadas de los vehículos eléctricos fabricados por Toyota como un sistema de batería de almacenamiento para su utilización en el cumplimiento de varios desafíos planteados por el sistema de energía eléctrica. Estos esfuerzos no solo pueden servir como una solución para abordar los desafíos dentro del sistema de energía eléctrica, Chubu Electric Power y Toyota esperan que estos esfuerzos tengan efectos positivos en la operación de las centrales térmicas. La etapa inicial involucrará baterías de hidruro metálico de níquel. Alrededor de 2030, el plan es incluir baterías de iones de litio de vehículos eléctricos y vehículos eléctricos híbridos enchufables.	https://www.chuden.co.jp/english/corporate/releases/pressreleases/1201129_3991.html
Enel - Nissan	Melilla, España	Almacenamiento estacionario	10 MWh	Se trata de un sistema simplificado para reutilizar en una central eléctrica las baterías procedentes de vehículos eléctricos que ya no se utilizan, dándoles una nueva vida y una función diferente, aumentando su factor de utilización y reduciendo los costos en una lógica de economía circular. El proyecto llamado "Second Life" fue testeado en Melilla, España, ubicada sobre la costa	https://www.chuden.co.jp/english/corporate/releases/pressreleases/1201129_3991.html

				<p>africana: se alimenta de una red eléctrica local, alimentada por una central y separada de la red de distribución nacional española, como si fuera una isla. Para asegurar la continuidad del suministro de electricidad, la solución ideada por el Grupo Enel es realizar un sistema de almacenamiento reutilizando las baterías de los autos eléctricos Leaf, por una potencia total de 4 MW y una energía máxima acumulada de 1,7 MWh.</p>	
Nissan-Eaton	Reino Unido	Almacenamiento estacionario	4,2 kWh	<p>Nissan ha revelado un nuevo producto de almacenamiento de energía para el hogar creado a partir de baterías recicladas de las ofertas de vehículos eléctricos de la compañía. El nuevo sistema de almacenamiento de energía xStorage, cuenta con 12 módulos de batería LEAF. Según los informes, se produce en asociación con la empresa de administración de energía Eaton. Se carga cuando hay energía renovable disponible (por ejemplo, de paneles solares) o cuando la energía de la red es barata (normalmente por la noche). Luego libera esa energía, alimentando la casa, cuando los costos de energía son más altos.</p>	https://cleantechnica.com/2016/05/15/nissan-recycles-ev-batteries-home-energy-storage/
Nissan, 4R Energy y Sumitomo	Namie - Japon	Almacenamiento estacionario	400 kWh	<p>La primera planta de Japón que se especializará en la reutilización y reciclaje de baterías de ion de litio a partir de vehículos eléctricos se encuentra lista para iniciar operaciones en medio de la creciente demanda de automóviles eléctricos. La nueva fábrica, ubicada en la ciudad de Namie en la parte oriental de Japón, será operada por 4R Energy Corporation, una sociedad conjunta entre Nissan y Sumitomo Corporation. La Planta servirá como el centro global para el desarrollo y manufactura de 4R. Las baterías recicladas y reconstruidas en la fábrica serán utilizadas para ofrecer la primera batería reconstruida e intercambiable del mundo para vehículos eléctricos, será utilizada también en los sistemas de almacenamiento de gran escala y montacargas eléctricos.</p>	https://nsam.nissannews.com/es/releases/nissan-sumitomo-corp-y-4r-instalan-planta-para-reciclar-bater-as-de-veh-culos-el-ctricos
Eaton, CEA, Nissan, EPFL, ICTRoom, Credit	Paises bajos	Almacenamiento estacionario - Green Data	4 MWh	<p>El proyecto GreenDataNet desarrollará tecnologías de punta que permitirán que los centros de datos urbanos alcancen el 80 % del uso de energía renovable y reduzcan su Efectividad de uso de energía.</p>	http://www.eaton.eu/PL/Europe/OurCompany/News/PRCompany/PCT_1037674

Suisse y Univ. of Trento

Para reducir aún más la necesidad de energía de la red, GreenDataNet también trabajará en la integración de la energía fotovoltaica en combinación con una innovadora solución de almacenamiento a gran escala que facilitará la integración de los centros de datos en las redes inteligentes. Dentro de este proyecto, las baterías de iones de litio de vehículos eléctricos de segunda vida se investigarán como una solución más ventajosa para que los centros de datos se conviertan en nodos de redes inteligentes reales.
