



**ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN BASE E IMPACTOS
AMBIENTALES ESPECÍFICOS DEL PRODUCTO PRIORITARIO
BATERIAS, CONTENIDO EN LA LEY N°20.920
ID Licitación: 608897-16-LE20**

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

INFORME FINAL

Santiago, 17 de febrero de 2021

Título del Proyecto

ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN BASE E IMPACTOS AMBIENTALES ESPECÍFICOS DEL PRODUCTO PRIORITARIO BATERIAS, CONTENIDO EN LA LEY N°20.920

Autores:

Jefe de proyecto: José Miguel Valdés

Expertos: Luis Cifuentes, Oscar Melo

Ingeniero de proyecto: Hernán Barrera, Viviana Cerda, Camila Cabrera, Esteban Cathalifaud

Dictuc S.A.

Vicuña Mackenna N° 4860, Macul – Santiago

Cuerpo del informe

219 hojas (incluye portada)

Fecha del informe

17/febrero/2021

Información Contractual

Correlativo Contrato: 2847

OC N°: 608897-130-SE20

Datos Mandante

Razón Social: Subsecretaría del Medio Ambiente

RUT: 61.979.930-5

Dirección: San Martín 73, Santiago

Contraparte técnica

Nombre: Felipe Gajardo

Cargo: Profesional DEA

E-mail: FGajardo@mma.gob.cl

Resumen

En el presente estudio se busca actualizar línea base e identificar, cuantificar y valorizar los impactos ambientales específicos para el producto prioritario baterías, contenidos en la Ley N°20.920.

Sr. Luis Cifuentes

Director GreenLab

Dictuc S.A.

Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

Dictuc S.A.

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	I
Lista de Tablas	V
Lista de Figuras.....	IX
Acrónimos y Abreviaturas.....	XI
1. Antecedentes y Justificación del Estudio.....	1
2. Objetivos y alcance del estudio	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
2.3 Alcance del informe	2
3. Revisión de literatura nacional	3
3.1 Estudio GESCAM, 2017.....	3
3.1.1 <i>Objetivos del estudio</i>	3
3.1.2 <i>Metodología utilizada</i>	4
3.1.3 <i>Resultados obtenidos</i>	9
3.2 Estudio GreenLab, 2018	17
3.2.1 <i>Objetivos del estudio</i>	17
3.2.2 <i>Metodología utilizada</i>	17
3.2.3 <i>Resultados obtenidos</i>	18
3.3 Estudio EY, 2017	21
3.3.1 <i>Objetivos del estudio</i>	21
3.3.2 <i>Metodología utilizada</i>	21
3.3.3 <i>Resultados obtenidos</i>	22
3.4 Estudio RYA, 2009	27
3.4.1 <i>Objetivos del estudio</i>	27
3.4.2 <i>Resultados obtenidos</i>	27
3.5 Estudio Ecoing, 2011	30
3.5.1 <i>Objetivos del estudio</i>	30
3.5.2 <i>Metodología utilizada</i>	30

3.5.3	<i>Resultados obtenidos</i>	32
4.	Análisis de estudios anteriores	41
4.1	Importaciones de baterías	42
4.1.1	<i>Metodología de cada estudio</i>	42
4.1.2	<i>Resultados de cada estudio</i>	43
4.2	Generación y disposición de BFU	44
4.2.1	<i>Metodología de cada estudio</i>	44
4.2.2	<i>Resultados de cada estudio</i>	47
5.	Caracterización del mercado actual	52
5.1	Mercado de baterías	53
5.1.1	<i>Importaciones de batería</i>	53
5.1.2	<i>Comparación con estudio previos</i>	59
5.1.3	<i>Tratamiento de BFU</i>	60
5.2	Mercado de equipos que utilizan baterías	63
5.2.1	<i>Enfoque Bottom-Up: Importaciones de vehículos</i>	63
5.2.2	<i>Enfoque Top-Down: Ventas de vehículos</i>	65
5.2.3	<i>Enfoque Bottom-up vs Top-down</i>	66
6.	Identificación de variables relevantes de línea base	68
6.1	Variables identificadas previamente	68
6.2	Variables no identificadas previamente	69
7.	Importaciones y exportaciones de baterías y equipos que utilizan baterías	71
7.1	Importaciones y exportaciones desagregadas de baterías de plomo	71
7.1.1	<i>Metodología de cálculo de importaciones y exportaciones desagregadas de baterías de plomo</i>	71
7.1.2	<i>Resultados de importaciones y exportaciones de desagregadas de baterías de plomo</i>	74
7.2	Importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos	77
7.2.1	<i>Metodología de importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos</i>	77
7.2.2	<i>Resultados de importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos</i> ..	78
7.3	Importaciones y exportaciones de vehículos	81
7.3.1	<i>Metodología de importaciones y exportaciones de vehículos</i>	81
7.3.2	<i>Resultados de importaciones y exportaciones de vehículos</i>	83

7.4	Importaciones y exportaciones de maquinaria industrial	86
7.4.1	<i>Metodología de importaciones y exportaciones de maquinaria industrial.....</i>	<i>86</i>
7.4.2	<i>Resultados de importaciones y exportaciones de maquinaria industrial</i>	<i>89</i>
7.5	Consolidación de ingreso neto baterías a granel y contenidas en equipos.....	92
8.	Estimación de la generación de BFU	95
8.1	Estimación de la generación de BFU de arranque por parque vehicular	96
8.2	Estimación de la generación de BFU de arranque por parque industrial.....	102
8.3	Estimación de la generación de BFU de tracción.....	107
8.4	Estimación de la generación de BFU estacionarias.....	109
8.5	Consolidación de estimación de generación de BFU	111
9.	Proyección de información base	114
9.1	Proyección de la generación de BFU de arranque por parque vehicular	114
9.2	Proyección de la generación de BFU de arranque por parque industrial.....	117
9.3	Proyección de la generación de BFU de tracción.....	119
9.4	Proyección de la generación de BFU estacionarias.....	122
9.5	Resultados consolidados de proyección	126
10.	Identificación de impactos ambientales.....	128
10.1	Baterías con plomo	128
10.1.1	<i>Recolección, almacenamiento y transporte.....</i>	<i>128</i>
10.1.2	<i>Tratamiento adecuado de los residuos.....</i>	<i>131</i>
10.1.3	<i>Tratamiento no regulado de los residuos</i>	<i>134</i>
10.1.4	<i>Discusión</i>	<i>136</i>
10.2	Baterías sin plomo	138
10.2.1	<i>Recolección, almacenamiento y transporte.....</i>	<i>138</i>
10.2.2	<i>Tratamiento adecuado de los residuos.....</i>	<i>139</i>
10.2.3	<i>Tratamiento no regulado de los residuos</i>	<i>141</i>
10.2.4	<i>Discusión</i>	<i>141</i>
10.3	Valorización de los impactos	142
11.	Conclusiones	145
12.	Bibliografía.....	159
13.	Anexos.....	163

13.1	Estudio GESCAM, 2017	163
13.1.1	<i>Contexto del estudio</i>	163
13.1.2	<i>Objetivos del estudio</i>	163
13.2	Estudio Ecoing, 2011.....	163
13.2.1	<i>Metodología</i>	163
13.2.2	<i>Resultados obtenidos</i>	169
13.3	Estudio RYA, 2009.....	181
13.3.1	<i>Contexto del estudio</i>	181
13.3.2	<i>Objetivos del estudio</i>	181
13.3.3	<i>Metodología utilizada</i>	181
13.3.4	<i>Resultados obtenidos</i>	183
13.4	Metodología del procedimiento de búsqueda asistida.....	192
13.5	Reunión con Recimat.....	195
13.5.1	<i>Minuta de reunión</i>	195
13.5.2	<i>Aclaraciones ex-post</i>	198

Lista de Tablas

Tabla 3-1 Categorías Principales de Baterías, por Glosa de Importación.....	6
Tabla 3-2 Categorías Secundarias de Baterías, por Glosa de Importación.....	6
Tabla 3-3 Factor de Generación de BFU, según tipo de vehículo y actividad	7
Tabla 3-4 Distribución Parque Automotriz según Tipo de Vehículo, Actividad y Tipo de Batería, año 2016.	8
Tabla 3-5 Proyección de las importaciones de baterías en Chile	10
Tabla 3-6 Generación de BFU, por región, según tipo de vehículo y actividad, año 2016 y Proyección 2017-2019 [unidades/año]	11
Tabla 3-7 Generación de BFU, por región, según tipo de vehículo y actividad, año 2016 y Proyección 2017-2019 [ton/año].....	12
Tabla 3-8 Distribución de BFU minero, en función de la Producción de Cobre y Hierro 2015, por Región [ton BFU/año]	13
Tabla 3-9 Comparación estimaciones Generación BFU, año 2016.....	14
Tabla 3-10 Impactos de los componentes de las BFU en la Población.....	16
Tabla 3-11 Reducción de GEI por Valorización de BFU.....	16
Tabla 3-12 Supuestos utilizados por las diferentes metodologías para la cuantificación de BFU	19
Tabla 3-13 Estimaciones de destino de BFU según diferentes fuentes para el año 2008	20
Tabla 3-14 Estimaciones de destino de BFU para el año 2016.....	20
Tabla 3-15 Principales importadores de baterías de arranque y tracción 2015	22
Tabla 3-16 Baterías puestas en el mercado nacional (cifras en unidades)	22
Tabla 3-17 Peso ponderado de Baterías del parque automotriz 2014.....	23
Tabla 3-18 Generación de residuo de baterías de ácido plomo.....	23
Tabla 3-19 Generación de residuos demás de plomo, demás acumuladores.....	24
Tabla 3-20 Proyección del parque vehicular y venta de baterías.....	32
Tabla 3-21 Cantidades y destinos de las BFU en Chile (año 2008)	33
Tabla 3-22 Proyección de la generación de BFU	33
Tabla 3-23 Recuperación actual de BFU y potencial de recuperación de materias secundarias (año 2008)	34
Tabla 3-24 Balance de masa de las BFU, según escenario y metas de recuperación.....	35
Tabla 3-25 Recuperación de materia prima secundaria por valorización de BFU.....	37
Tabla 3-26 Ahorro de energía por valorización de BFU	37
Tabla 3-27 Reducción de emisiones de CO2 por valorización de BFU.....	37
Tabla 3-28 Resumen de impactos por escenario al año 2020	39
Tabla 4-1 Parámetros incluidos en BD de sistematización de información en antecedentes	41
Tabla 4-2 Metodologías para importaciones de baterías de estudios revisados	42
Tabla 4-3 Importaciones de baterías según estudios revisados.....	43
Tabla 4-4 Distribuidores y Comercializadores de baterías en Chile	44
Tabla 4-5 Metodología para cálculo de generación de BFU por parte del parque vehicular.....	45

Tabla 4-6 Metodología para cálculo de generación de BFU por parte del sector minero e industrial	47
Tabla 4-7 Generación de BFU [unidades y toneladas] según estudios consultados.	48
Tabla 4-8 Generación de BFU, por región, según tipo de vehículo y actividad, año 2016 y Proyección 2017-2019 [ton/año].....	49
Tabla 4-9 Generación de BFU [toneladas] en minería.....	50
Tabla 4-10 Estimaciones de destino de BFU según diferentes fuentes para el año 2008	50
Tabla 4-11 Estimaciones de destino de BFU para el año 2016.....	50
Tabla 4-12 Participación en el mercado de gestores de BFU	51
Tabla 4-13 Participación en la generación de BFU	51
Tabla 5-1 Categorías de baterías, según códigos arancelarios del Servicio Nacional de Aduanas	53
Tabla 5-2 Ingreso neto de unidades de baterías por código arancelario 2018.	56
Tabla 5-3 Ingreso neto de unidades de baterías por código arancelario 2019	56
Tabla 5-4 Ingreso neto de baterías [unidades] por composición.	57
Tabla 5-5 Ingreso neto de baterías [unidades] en estudios previos.....	59
Tabla 5-6 Residuos peligrosos y no peligrosos recibidos por RAM [ton] según registros de RETC	61
Tabla 5-7 Estadística operativa de RAM, años 2018 y 2019	62
Tabla 5-8 Partidas arancelarias de vehículos trabajadas.....	63
Tabla 5-9 Códigos arancelarios y categorías de clasificación para importaciones de vehículos..	64
Tabla 5-10 Ingreso neto de vehículos por partida arancelaria 2018	64
Tabla 5-11 Ingreso neto de vehículos por partida arancelaria 2019	65
Tabla 5-12 Ventas de vehículos según cifras de ANAC para años 2018 y 2019	66
Tabla 7-1 Códigos arancelarios de baterías de plomo.....	71
Tabla 7-2 Categorías y tipos de baterías.....	72
Tabla 7-3 Cálculo de peso promedio por tipo de batería de arranque	73
Tabla 7-4 Pesos promedio para cada tipo de batería por categoría	74
Tabla 7-5 Importaciones y exportaciones de baterías de plomo 2018	75
Tabla 7-6 Importaciones y exportaciones de baterías de plomo 2019	76
Tabla 7-7 Códigos arancelarios de baterías de otros compuestos.....	78
Tabla 7-8 Importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos 2018	79
Tabla 7-9 Importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos 2019	80
Tabla 7-10 Códigos arancelarios y categorías de clasificación de vehículos	82
Tabla 7-11 Tipos de baterías de arranque asignados a cada categoría de vehículos.....	83
Tabla 7-12 Importaciones y exportaciones [unidades] de vehículos 2018 y 2019.....	84
Tabla 7-13 Baterías dentro de importaciones vehiculares por unidades y peso	85
Tabla 7-14 Códigos arancelarios y rubros de importaciones de maquinaria	87
Tabla 7-15 Importaciones de baterías en maquinaria.....	90
Tabla 7-16 Ingreso total de baterías y baterías contenidas en equipos.....	93
Tabla 8-1 Parque vehicular [vehículos] motorizado, años 2018-2019	97
Tabla 8-2 Batería utilizada según tipo de motor y cilindrada.....	98

Tabla 8-3 Baterías por vehículo según categoría de vehículo [baterías/vehículo].....	99
Tabla 8-4 Vida útil de baterías según su uso	100
Tabla 8-5 Estimación de la generación de BFU según tipo de baterías [unidades].....	100
Tabla 8-6 Estimación de la generación de BFU según categoría vehicular [unidades]	101
Tabla 8-7 Masa por unidad de batería [kg/unidad]	101
Tabla 8-8 Agrupación según tipo de maquinaria	103
Tabla 8-9 Resultados de coeficientes de entrada tendencial	105
Tabla 8-10 Parque de maquinaria por sector industrial [unidades]	106
Tabla 8-11 Estimación de generación de BFU por sector industrial, 2018 y 2019	106
Tabla 8-12 Estimación de parque vehicular eléctrico, 2018 y 2019	108
Tabla 8-13 Vida útil [años] baterías vehículos de tracción eléctrica	108
Tabla 8-14 Estimación de generación de BFU, año 2018 y 2019.....	109
Tabla 8-15 Vida útil considerad por escenario	111
Tabla 8-16 Estimación de generación de BFU Estacionaria, 2018.....	111
Tabla 8-17 Generación de BFU según clasificación de batería, 2018 y 2019	112
Tabla 8-18 Detalle de la estimación de generación de BFU [toneladas], año 2018 y 2019	113
Tabla 9-1 Proyecciones disponibles de vehículos eléctricos en Chile	120
Tabla 9-2 Coeficientes p y q según escenario de electromovilidad	120
Tabla 9-3 BFU tracción generadas [unidad], año 2030.....	121
Tabla 9-4 Tasa crecimiento anual promedio de importaciones de baterías estacionarias	123
Tabla 9-5 Generación de BFU según clasificación de batería [toneladas], 2025 y 2030	126
Tabla 10-1 Factores de emisión para transporte.....	130
Tabla 10-2 Cuantificación del consumo de energía y las emisiones de GEI, material particulado y plomo producto del reciclaje de baterías de ácido-plomo.....	132
Tabla 10-3 Cuantificación del consumo de energía y las emisiones de GEI, material particulado y plomo producto del reciclaje no regulado de baterías de ácido-plomo	135
Tabla 10-4 Descripción cualitativa de los impactos ambientales asociados a los distintos tipos de gestión de las baterías de ácido-plomo fuera de uso.....	136
Tabla 10-5 Cuantificación de las emisiones de GEI y material particulado de la producción de plomo a partir de metales vírgenes.....	137
Tabla 10-6 Disminución de emisiones de GEI, material particulado y plomo producto del reciclaje de baterías de plomo en comparación a la producción primaria de plomo	137
Tabla 10-7 Cuantificación de las emisiones de GEI y material particulado del proceso de reciclaje de baterías de litio	140
Tabla 10-8 Descripción cualitativa de los impactos ambientales asociados a los distintos tipos de tratamiento de las baterías de iones de litio fuera de uso.....	141
Tabla 10-9 Valores de reducción de emisiones GEI recomendados para cada tipología de batería	144
Tabla 10-10 Disposición a pagar por reciclaje de baterías de plomo, en UF y CLP	145
Tabla 11-1 Comparación de valores de importaciones de baterías de plomo actuales y de bibliografía	150
Tabla 11-2 Ingreso neto de baterías de todos los compuestos 2018 y 2019	152

Tabla 11-3 Ingreso total de baterías y baterías contenidas en equipos.....	153
Tabla 11-4 Estadística operativas de RAM, años 2018 y 2019	154
Tabla 13-1 Proyección del parque vehicular y venta de baterías.....	169
Tabla 13-2 Cantidades y destinos de las BFU en Chile (año 2008)	170
Tabla 13-3 Proyección de la generación de BFU	170
Tabla 13-4 Recuperación actual de BFU y potencial de recuperación de materias secundarias (año 2008)	171
Tabla 13-5 Balance de masa de las BFU, según escenario y metas de recuperación.....	172
Tabla 13-6 Recuperación de materia prima secundaria por valorización de BFU.....	174
Tabla 13-7 Ahorro de energía por valorización de BFU	174
Tabla 13-8 Reducción de emisiones de CO2 por valorización de BFU.....	174
Tabla 13-9 Empleos brutos adicionales asociados a la REP	178
Tabla 13-10 Síntesis comparativa – impactos económicos	179
Tabla 13-11 Resumen de impactos por escenario al año 2020	180
Tabla 13-12 Cantidad de acumuladores eléctricos de plomo importados, clasificados en las subpartidas 8507.1010, 8507.1090 y 8507.2000 del Arancel Aduanero nacional. Años 2002-2008	183
Tabla 13-13 Número de importadores de acumuladores eléctricos de plomo clasificados en las subpartidas 8507.1010, 8507.1090 y 8507.2000 del Arancel Aduanero nacional, año 2008....	183
Tabla 13-14 Número de vehículos automóviles importados, años 2002-2008.....	184
Tabla 13-15 Cantidad de acumuladores eléctricos de plomo exportados, clasificados en las subpartidas 8507.1010, 8507.1090, 8507.2000 del Arancel Aduanero nacional, años 2002-2008	184
Tabla 13-16 Número de vehículos automóviles, tractores y demás vehículos terrestres exportados, año 2008	185
Tabla 13-17 Ejemplo de palabras clave buscadas para cada tipo de batería	193
Tabla 13-18 Aclaración sobre baterías tratadas y plomo obtenido por Recimat.....	198

Lista de Figuras

Figura 3-1 Participación de mercado de Baterías, por Categoría, de acuerdo a Glosa Importación, 2016	10
Figura 3-2 Generación anual de BFU – plomo [tons].....	24
Figura 3-3 Flujo de BFU Informal anual 2016	26
Figura 3-4 Flujo de BFU Formal anual 2016.....	26
Figura 3-5 Destinos supuestos para los BFU recogidos	31
Figura 3-6 Análisis de ciclo de vida de las BFU.....	36
Figura 3-7 Reducción de impactos ambientales por implementación de la REP	38
Figura 5-1 Composición del mercado de baterías que ingresan al país	52
Figura 5-2 Corrección de cantidad de mercancía en base a CIF UNIT.	55
Figura 5-3 Corrección de cantidad de mercancía en base a parte decimal.....	55
Figura 5-4 Importadores de baterías [% estimado en base a unidades importadas]	58
Figura 5-5 Ingreso neto de baterías [unidades] según diferentes estudios	60
Figura 5-6 Comparación de enfoque bottom-up y top-down para mercado de vehículos 2018 y 2019 [miles de vehículos]	66
Figura 8-1 Parque vehicular [vehículos] motorizado según categoría vehicular	98
Figura 8-2 Resultados de BFU [toneladas/año] para los tres escenarios	102
Figura 8-3 Distribución de edad respecto a vida media	104
Figura 8-4 Tendencias de maquinarias importadas.....	105
Figura 9-1 Estimación de generación BFU en parque vehicular, serie 2014-2030 [unidades], escenario electromovilidad conservador	116
Figura 9-2 Estimación de generación BFU en parque vehicular, serie 2014-2030 [unidades], escenario electromovilidad optimista	116
Figura 9-3 Estimación de generación BFU en parque industrial, serie 2014-2030 [unidades] ..	118
Figura 9-4 Estimación de generación BFU por sector industrial [kg], escenario vida media	118
Figura 9-5 Metas establecidas por Estrategia de Electromovilidad	119
Figura 9-6 Parque Vehículos Livianos Eléctrico según escenario de electromovilidad	121
Figura 9-7 Mediana de generación de BFU Tracción [kg], escenario vida media.....	122
Figura 9-8 Participación histórica (2010-2019) y proyectada (2020-2025) según tipo de batería estacionaria.....	123
Figura 9-9 Proyección de generación de BFU estacionarias [ton], serie 2018-2030.....	124
Figura 9-10 Proyección generación de BFU estacionaria [toneladas], escenario vida útil media, serie 2018-2030	125
Figura 9-11 Proyección de la generación de BFU [toneladas], serie 2018-2030, escenario Electromovilidad conservador y vida útil media.....	127
Figura 9-12 Proyección de la generación de BFU [toneladas], serie 2018-2030, escenario Electromovilidad optimista y vida útil media	127
Figura 11-1 Importaciones de baterías con plomo [unidades] por estudio, serie 2002-2018... ..	151

Figura 11-2 Generación de BFU [toneladas], arranque y tracción, según escenario electromovilidad	156
Figura 13-1 Destinos supuestos para los BFU recogidos	167
Figura 13-2 Análisis de ciclo de vida de las BFU	173
Figura 13-3 Reducción de impactos ambientales por implementación de la REP	175
Figura 13-4 Resumen de los impactos sociales	176
Figura 13-5 Diagrama de flujo de materiales, año 2008	186
Figura 13-6 Descripción de mercancía en BD de Aduanas.	192
Figura 13-7 Resultados de contabilización de palabras clave por búsqueda asistida.....	194

Acrónimos y Abreviaturas

Instituciones

DEA:	Departamento de Economía Ambiental
DIPRES:	Dirección de Presupuestos, Ministerio de Hacienda, Gobierno de Chile
INE:	Instituto Nacional de Estadísticas
MMA:	Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile
OCDE:	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
USEPA:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

Siglas y abreviaturas

BD:	Base de Datos
BFU:	Baterías Fuera de Uso
CIF:	Costo, seguro y flete (<i>Cost, Insurance and Freight</i> , en inglés)
FOB:	Franco a Bordo (<i>Free On Board</i> , en inglés)
PIB:	Producto Interno Bruto
PRT:	Planta de Revisión Técnica
REP:	Responsabilidad Extendida del Productor

Países

EE.UU.:	Estados Unidos de América
UE:	Unión Europea

Monedas

CLP:	Pesos de Chile
EUR:	Euros
USD:	Dólares de Estados Unidos

Prefijos

T:	Tera (10^{12})
G:	Giga (10^9)
M:	Mega (10^6)
K:	Kilo (10^3)
m:	Mili (10^{-3})
μ :	Micro (10^{-6})

n: Nano (10^{-9})

Formato

"." separador decimal

"," separador de miles

1. Antecedentes y Justificación del Estudio

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado del diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa (DS N°8/2010 MMA).

El 17 de mayo de 2016 fue promulgada la Ley N°20,920, que establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje (Ley REP). Esta Ley tiene como objetivo central 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 y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.

En el marco de esta ley, es atribución del MMA establecer, mediante la dictación de un Decreto Supremo (DS)¹, metas de recolección y valorización para los residuos de productos prioritarios. Corresponde al MMA además, elaborar un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del DS. En particular, el AGIES debe evaluar, considerando la situación actual y la situación con Proyecto, los costos que implique el cumplimiento del anteproyecto de metas, así como sus principales beneficios.

El Departamento de Economía Ambiental (DEA), encargado de la realización del AGIES, está trabajando en el levantamiento de los insumos necesarios para la conformación de la situación actual o línea base y la evaluación de los impactos asociados a las metas que se establecerán para el producto prioritario baterías. Actualmente, se cuenta con información general de la línea base para el año 2016 (GESCAM, 2017), sin embargo, es necesario actualizarla al 2019 y complementarla con un mayor nivel de **detalle para el establecimiento de una situación actual lo más cercana a la realidad. Además, se requiere incorporar antecedentes respecto de los impactos ambientales asociados al proceso de manejo que involucrará el establecimiento de metas, de tal forma de generar insumos en el proceso de diseño regulatorio.**

Por estos motivos, se requiere un levantamiento de antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para productos prioritarios contenidos en la Ley N° 20.920.

¹ Según el Artículo 25 del Decreto Supremo N°8 del 2017 del MMA, Reglamento que regula el Procedimiento de Elaboración de los Decretos Supremos establecidos en la Ley N° 20.920.

2. Objetivos y alcance del estudio

De acuerdo a las bases técnicas los objetivos del estudio son los siguientes:

2.1 Objetivo general

Actualizar línea base e identificar, cuantificar y valorizar los impactos ambientales específicos para el producto prioritario baterías, contenidos en la Ley N°20.920.

2.2 Objetivos específicos

- a) Actualizar, complementar y sistematizar la información necesaria para generar la línea base relativa al proceso de gestión de las baterías fuera de uso (BFU), construyendo particularmente la información necesaria para el uso de baterías en el sector industrial.
- b) Identificar, cuantificar y valorizar impactos ambientales del manejo de los residuos de baterías.

2.3 Alcance del informe

El presente informe corresponde a la metodología y resultados asociados a todas las actividades desarrolladas para dar cumplimiento a los objetivos del estudio. De esta forma entre los capítulos 3 y 4 se realiza una revisión y análisis de los estudios previos. Entre los capítulos 5 y 8 se realiza una actualización de las principales variables relacionadas con el mercado de baterías y la generación de baterías fuera de uso (BFU) en Chile hasta el año 2019. En el capítulo 9 se presenta una proyección de la generación de BFU hasta el año 2030. Por su parte, en el capítulo 10 se presentan los antecedentes asociados a los impactos ambientales unitarios asociados a las diferentes formas de gestión y disposición de las BFU. Finalmente, en el capítulo 11 se presentan las principales conclusiones del informe, destacando los principales hallazgos, sus limitaciones e implicancias.

Los resultados presentados en el presente estudio corresponden a las mejores estimaciones realizadas por el equipo consultor correspondientes al mercado de baterías y la gestión de BFU. Como toda modelación, los resultados de la estimación están limitados por los supuestos y metodologías, las cuales son explicitadas en el presente informe. De forma complementaria, junto con el presente informe se adjuntan el modelo desarrollado en el software de modelación Analytica, además de todas las bases de datos utilizadas.

Al respecto cabe destacar, que los resultados fueron contrastados utilizando como comparación diferentes aproximaciones y estimaciones realizadas en los estudios previos, permitiendo verificar que las estimaciones son razonables en cuanto a su magnitud. Aun así, es posible que existan desviaciones de los valores reales.

3. Revisión de literatura nacional

De la revisión preliminar de estudios desarrollados a nivel nacional se destacan los siguientes tres estudios, que representan los últimos esfuerzos relevantes para la conformación de una línea base:

- GESCAM 2017: Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para los productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la Ley 20,920 (GESCAM, 2017)
- EY 2017: Asesoría para la implementación de la responsabilidad extendida del productor (REP) en Chile (EY, 2017)
- GreenLab 2018: Valorización contingente para estimar beneficios ambientales asociados a los residuos de productos prioritarios contenidos en la Ley REP (GreenLab-Dictuc, 2018)

Estos estudios son caracterizados de acuerdo a su contexto, objetivo, metodología y resultados en las secciones siguientes. De forma adicional, se considera relevante incluir en el análisis exhaustivo antecedentes anteriores que, si bien han servido de base para el desarrollo de los estudios señalados, pueden contar con antecedentes relevantes que no hayan sido incluidos. Entre estos se destacan:

- Diagnóstico de importación y distribución de baterías de plomo ácido usadas (Ingenieros Consultores RYA, 2009)
- Evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la REP en Chile (Ecoing, 2011)

Los estudios referenciados fueron revisados de forma exhaustiva, de modo de poder destacar el contexto, los objetivos, la metodología, y los principales resultados obtenidos en cada uno, **respecto a la caracterización del mercado chileno de baterías y la valorización del impacto ambiental de la disposición adecuada o inadecuada de BFU.**

3.1 Estudio GESCAM, 2017

3.1.1 Objetivos del estudio

El objetivo general del estudio consiste en: Contar con antecedentes metodológicos y técnicos para la evaluación económica de metas de recolección y valorización y su rentabilización para productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

1. Realizar una caracterización actualizada del mercado del producto prioritario neumáticos, aceites lubricantes y baterías, sus categorías y subcategorías.

2. Caracterizar y sistematizar los sistemas de recolección y valorización existentes en el país y proponer una estrategia para abordar metodológicamente potenciales sistemas futuros.
3. Elaborar una propuesta metodológica para la evaluación económica, ambiental y social de metas de recolección y valorización para los residuos de los productos prioritarios neumáticos, aceites lubricantes y baterías, contenidos en la Ley N° 20.920.
4. Proponer y evaluar metas de recolección y valorización para neumáticos, aceites lubricantes y baterías.

3.1.2 Metodología utilizada

Para efectos de investigar el mercado se realizó una caracterización de las actividades y procesos involucrados en el ciclo de vida de cada uno de los productos y de los residuos de los productos prioritarios objeto de este estudio, identificando puntos de generación, distribución, recolección, transporte, pretratamiento, tratamiento de la recuperación y reciclaje de estos residuos.

La información recabada se puede catalogar según fuentes primarias, levantada mediante entrevistas a los actores relevantes del mercado e información de fuentes secundarias levantada a través de revisión bibliográfica. Para la caracterización y dimensionamiento del mercado de los productos prioritarios, se utilizó la BD de Importaciones de Aduana, identificando por Códigos Arancelarios en las glosas de importaciones de baterías.

Respecto al uso de baterías, en el estudio se identificaron tres tipos de baterías de plomo-ácido de acuerdo a su aplicación: Baterías de Arranque, utilizadas en el parque automotriz, Baterías de Tracción, utilizadas en vehículos y maquinaria eléctrica, y Baterías Estacionarias, con uso en comunicaciones, alarmas, e iluminación, entre otros.

La situación general de los residuos del sector transporte en Chile, pudo analizarse a través de estudios que se han desarrollado para el MMA y el Consejo de Producción Limpia. En el estudio desarrollado por GESCAM (GESCAM, 2015), “Estrategia Sostenible de Producción Limpia y Tratamiento de Residuos para la Industria Generadora de Neumáticos, Baterías y Aceites Lubricantes”, se identificaron variables relevantes que permitieron establecer factores de generación de residuos para ALU, BFU, y NFU, dependiendo del tipo de vehículo, y la actividad que desarrollaba. A partir de dichos factores, se cuantificó la generación de los residuos del transporte a nivel nacional, regional y comunal, utilizando como base la distribución de vehículos a través de la Encuesta Nacional de Vehículos en Circulación del INE.

Se identificó que las baterías entran al país como componente de un vehículo o maquinarias importada, o bien como producto de reposición para el reemplazo de baterías que han agotado su vida útil. De acuerdo a la base de datos de importaciones de Aduana, durante el año 2016 se importaron 2,202,762 unidades de baterías a granel de todo tipo, correspondiendo el 70% a

baterías de uso automotriz y el 30% restante a baterías de tracción o de uso estacionario. Existe una proporción no menor de importación de partes y piezas que alcanza las 458,973 unidades.

Actualmente, RAM es la única empresa en Chile que está autorizada para reciclar baterías de plomo y dispone de una capacidad de procesamiento autorizada de 49,476 [toneladas/año], lo que equivale a aproximadamente 4.1 [miles de ton de BFU/mes]². Sin embargo, durante todo el período que ha sido la única planta autorizada en el país, no ha sobrepasado las 2 [mil ton de BFU/mes], lo que corresponde a menos del 50% de su capacidad autorizada. Las BFU restantes tienen destino desconocido, pudiendo ser éste la exportación ilegal, la fundición ilegal o depósito en lugares no autorizados.

Para efectos de conocer la participación de los distintos tipos de batería en el mercado nacional, se han identificado dos variables fundamentales que guardan relación con el tipo de tratamiento que reciben una vez finalizada la vida útil, y con su peso promedio, dependiendo del vehículo o maquinaria a la cual está destinado. La categoría principal las distingue en relación al material activo con que están elaboradas, esto es, **Con Plomo y Sin Plomo**; y la categoría secundaria, las clasifica por tipo de uso, su Tipo, esto **Arranque, Tracción o Estacionaria**, lo cual permite conocer su destino (vehículo de transporte, vehículo industrial o maquinaria industrial) y estimar su peso promedio. Esto permite cuantificar y proyectar la generación de BFU en función de su actividad y vida útil.

La batería automotriz, representaría aproximadamente el 70% de las importaciones anuales, y se puede definir otra subcategoría que se relaciona con el tipo de vehículo para el que ha sido diseñada. La norma americana, permite distinguir dos tipos de batería, la caja 42 y la caja 27, la diferencia entre ambas cajas es su dimensión y su peso. Las baterías a tracción y las estacionarias o de reserva se asocian al sector industrial y representan el 30% restante de las importaciones anuales. Las baterías estacionarias presentan gran variabilidad en cuanto a dimensión y peso, sin embargo, tienen en común una extensa vida útil, de ser mantenidas correctamente a la temperatura adecuada.

En base a estas variables de clasificación, se identificaron las glosas de importación asociadas, como se muestra en la Tabla 3-1 y Tabla 3-2. Al respecto se destaca que los detalles presentados en la Tabla 3-2 responden a supuestos realizados por el estudio y sobre los cuales se construyen los resultados posteriores.

² En la práctica, de acuerdo, a lo levantado en entrevista directa con representantes de la empresa, la capacidad de tratamiento autorizada es de hasta 2,680 [t/mes] de componentes plomados, de acuerdo a la RE 8862/2015 de la SEREMI de Salud. Considerando una proporción de 65% de componentes plomados en las baterías, se obtiene las 4.1 [miles de t BFU/mes] referenciadas por GESCAM.

Tabla 3-1 Categorías Principales de Baterías, por Glosa de Importación

Producto Prioritario	Categoría	Característica	Posición Arancelaria	Descripción glosa de importación
Baterías	C1	Contiene Plomo	8507.1010	Acumuladores eléctricos de plomo, que funcionen con electrolito líquido
			8507.2000	Los demás acumuladores de plomo
			8507.1090	Los demás acumuladores eléctricos, de plomo, del tipo utilizados para arranque
	C2	No Contiene Plomo	8507.3000	Acumuladores de níquel-cadmio
			8507.4000	Acumuladores de níquel-hierro
			8507.8000	Los demás acumulares eléctricos
			8507.9000	Partes de acumuladores eléctricos

Fuente: Tabla 30, p.86 (GESCAM, 2017)

Tabla 3-2 Categorías Secundarias de Baterías, por Glosa de Importación

Producto Prioritario	Categoría	Posición Arancelaria	Subcategoría	Característica Técnica	Uso	Rango de peso
Baterías	C1	8507.1010	Arranque (Caja 42)	35-55 Ah, 12 volt, 2-4 años vida útil	Vehículos livianos del tipo sedán, citycar, station wagon	8-13 kg
		8507.2000	Arranque (Caja 27)	60-80 Ah, 12 volt, 2-4 años de vida útil	Vehículos livianos tipo furgón, camioneta, SUV, minibús, etc. Y vehículos pesados y OTR.	15-24 kg
		8507.1090	Tracción	140-220 Ah, 2-6 volt, 0.7-2 años vida útil	Gran variedad de uso vehicular de tracción, industrial	17-50 kg/celda
			Estacionaria	250-1200 Ah, 12 volt, 10-20 años vida útil	Telecomunicaciones. Centrales eléctricas, almacenamiento.	400 kg - 1,280 kg
	C2	8507.3000	Otros Usos	1,2 volt	Equipamiento médico, radiocontrol, equipos de seguimiento, herramientas profesionales (construcción, agricultura, etc.)	21-220 gr
		8507.4000		55-500 Ah, 30-40 años vida útil	Uso limitado, actualmente en paneles solares y turbinas eólicas.	3-20 kg
		8507.8000				
	8507.9000					

Fuente: Tabla 31, p.87 (GESCAM, 2017)

En base a estas categorías, se procesó la Base de Datos de importaciones de los años 2014, 2015 y 2016, obteniéndose resultados para el 2016, en participación de mercado por empresa y por país de origen, en millones de dólares FOB, según categoría de Batería. Los resultados se presentan en la Sección 3.1.3.

Para cuantificar las Baterías Fuera de Uso (BFU), se consideró que la vida útil de una batería en servicio corresponde al periodo de tiempo o al número de ciclos de carga/descarga que la batería puede soportar hasta que su capacidad sea insuficiente para cubrir las necesidades para las que fue diseñada. La vida de una batería varía considerablemente en función de factores tales como

la composición de las placas; modo de empleo de esta y profundidad de las descargas, y mantenimiento.

Para la estimación de la demanda anual de baterías de plomo ácido, la industria automotriz consideraba como parámetro que el parque vehicular realiza un recambio anual que alcanza el 50%, lo que equivale a decir que, en promedio, las baterías de arranque en Chile tienen una vida útil de 2 años. Con el objeto de mejorar la estimación de la cantidad de baterías generadas cada año, este consultor introdujo mayor especificidad a este factor genérico, clasificando los vehículos según su tipo y actividad, lo que va en directa relación con su duración, puesto que ésta depende del número de partidas a la que se la someta.

Se tomó en consideración que el sector automotriz utiliza dos tipos de baterías, formato de Caja 42, con un peso que varía entre los 8 y los 13 kg, para lo cual se consideró un promedio de 10.5 kg; y el formato Caja 27, que tiene un peso promedio de 17 kg. Respecto a los vehículos pesados (buses y camiones), dependiendo de su sistema de arranque, pueden requerir de mayor voltaje o mayor capacidad de carga, por lo tanto, funcionan con 2 o 4 baterías conectadas en serie o en paralelo. Par efectos del estudio, se supuso que estos vehículos utilizan dos baterías de formato Caja 27, es decir, un peso promedio de 34 kg.

De acuerdo a lo anterior, las variables utilizadas para la determinación de factores de generación de BFU, en unidades y en peso, se presentan en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Factor de Generación de BFU, según tipo de vehículo y actividad

Tipo de Vehículo	Baterías por vehículo	Plazo duración	Factor generación	Peso promedio	Factor generación
	[unidades]	[años]	[unidad/año]	[kg/unidad]	[kg/año]
Vehículos Livianos Uso Particular (Caja 42)	1	3	0.33	10.5	3.50
Vehículos Livianos Uso Particular (Caja 27)	1	3	0.33	17	5.67
Vehículos Livianos Uso Laboral (Caja 42)	1	2	0.5	10.5	5.25
Vehículos Livianos Uso Laboral (Caja 27)	1	2	0.5	17	8.50
Vehículos Transporte Pasajeros	2	2	1.0	17	17.00
Vehículos de Transporte de Carga	2	2	1.0	17	17.00
Tractor, vehículos a tracción	1	2	0.5	38	19.00

Fuente: Tabla 34, p.94 (GESCAM, 2017)

Para efectos de aplicar estos factores a la base de datos del Parque Automotriz, a continuación, se presenta una clasificación del mismo, según tipo de vehículo, actividad y tipo de batería utilizada, obteniéndose la distribución a nivel nacional observada en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4 Distribución Parque Automotriz según Tipo de Vehículo, Actividad y Tipo de Batería, año 2016.

Región	Automóviles livianos				Transporte personas (Superior a 160 Ah)	Transporte de carga (Superior a 160 Ah)	Vehículos OTR (A tracción, Agrícolas y Otros) 40-75 Ah	Total Vehículos 2016
	Uso Particular		Uso Laboral					
	Caja Tipo 42 (55-60 Ah)	Caja Tipo 27 (80-90 Ah)	Caja Tipo 42 (55-60 Ah)	Caja Tipo 27 (80-90 Ah)				
I de Tarapacá	90,505	19,326	4,091	827	1,220	4,671	393	121,033
II de Antofagasta	99,894	40,525	5,415	2,230	3,191	10,251	1,185	162,691
III de Atacama	49,820	27,598	2,760	680	1,562	8,226	877	91,523
IV de Coquimbo	126,212	57,726	5,780	1,657	2,092	8,667	880	203,014
V de Valparaíso	355,096	116,088	11,701	2,829	6,282	18,337	1,794	512,127
VI de O'Higgins	167,634	73,488	5,270	2,951	3,825	12,998	2,238	268,404
VII del Maule	194,685	101,975	4,424	2,034	3,903	16,737	3,493	327,251
VIII del Biobío	320,877	156,931	7,152	4,177	7,422	23,403	4,337	524,299
IX de la Araucanía	120,904	78,169	3,611	1,803	3,136	9,953	2,187	219,763
X de Los Lagos	122,432	69,661	5,126	1,481	3,398	10,850	1,953	214,901
XI de Aysén	20,685	13,006	663	480	272	1,956	226	37,288
XII de Magallanes y La Antártida	45,633	14,206	2,354	863	520	2,833	676	67,085
XIII Metropolitana	1,419,690	380,561	43,129	14,649	15,174	60,183	6,365	1,939,751
XIV de Los Ríos	51,685	28,036	1,989	784	1,273	4,341	984	89,092
XV de Arica y Parinacota	56,482	11,131	3,246	426	675	2,811	420	75,191
Total País	3,242,234	1,188,427	106,711	37,871	53,945	196,217	28,008	4,853,413

Fuente: Tabla 35, p.95 (GESCAM, 2017) en base a Parque Automotriz del INE.

Para el sector minero, en cambio, se determinaron factores de generación en base a las toneladas de mineral fino procesado y/o en base a las cifras de importaciones, cuando no se obtuvo una buena correlación con la realidad a partir de dichos factores.

En el caso de las BFU generadas por el sector minero, se determinó un Factor de Generación en base a las toneladas de BFU declaradas y las toneladas métricas de mineral fino procesado (TMF). Para estos efectos, se utilizaron los datos de la Encuesta del Consejo Minero de 2002, estableciéndose un Factor de Generación de 0.000745 [ton BFU/TMF]. Sin embargo, al aplicar este factor al total de TMF de la minería, se obtuvieron cifras inconsistentes, dado que la cantidad de baterías obtenida bajo este supuesto supera con creces la cantidad de baterías importadas al

país durante el mismo año. Por lo tanto, para determinar la generación de BFU asociada al sector minero, se va a utilizar el análisis de mercado de la empresa DURACELL, en base a los registros de importación, que la sitúa en un 7%. Por lo tanto, de acuerdo al estudio de AMPHOS21 que señala que durante el 2014 se habrían consumido 1,684,186 unidades, se tiene que durante el 2016 se habrían generado 2,446 toneladas de BFU, considerando un peso promedio de 20 kilos por unidad.

Respecto al sector industrial, en el estudio de AMPHOS21 (Amphos21, 2015) , "Diagnóstico Sectorial de Baterías y Acumuladores de Plomo en General", se estimó que durante el año 2014 se importaron 114,530 unidades de este tipo de baterías, en base al análisis de datos de importaciones de Aduana. Además, se consideró que el peso promedio de cada una de estas baterías era de 120 kg y le asignó una vida útil de 8 años. En base a estos parámetros, se estimó la generación de BFU del sector industrial, para el año 2014, alcanzando las 13,744 toneladas, lo que proyectado al 2016 alcanza la cifra de 14,257 toneladas.

Además, las baterías de uso industrial tienen una amplia variedad de tamaños y pesos, tales como las que se usan en centrales telefónicas, celdas de telefonía celular, servicios auxiliares en subestaciones transformadoras, UPS (sistemas ininterrumpidos de energía), iluminación de emergencia, entre muchas otras y, según la bibliografía especializada, su peso puede variar entre los 8 y los 170 kg, y su vida útil entre los 12 y los 20 años.

Por otra parte, según informa RAM, única empresa autorizada para reciclar de baterías de plomo-ácido en Chile, en el año 2015 se procesaban 2,300 ton/mes en la planta de Calama, mientras que durante 2016 y 2017, el promedio alcanza las 2,400 toneladas mensuales, lo que permite proyectar un total de 28.800 toneladas de BFU anuales. De acuerdo a las estadísticas de retiro y recepción de RAM, la corriente de BFU industrial sólo alcanza el 10% del total, es decir, la componente industrial ellos la estiman en 2,880 ton/año³. Por otra parte, según las estimaciones de RAM, el volumen total de BFU de todo tipo que ellos procesan correspondería al 85% de la generación anual, lo que permite deducir que habría un 15% de BFU con destino desconocido, lo cual equivale 5,082 toneladas. Al momento de estimar la generación y destino de las BFU, GESCAM toma en cuenta las estimaciones realizadas por RAM, y las complementa con las estimaciones de AMPHOS21 (Amphos21, 2015).

3.1.3 Resultados obtenidos

3.1.3.1 Caracterización de mercado

³ En conversación con RAM en el presente informe, se mantiene que dicha proporción no habría variado significativamente, manteniéndose en el rango de 180-200 [t/mes].

En base a los datos procesados de la BD de importaciones de los años 2014, 2015 y 2016, se obtuvieron los siguientes resultados para el 2016, en participación de mercado por tipo de batería en millones de dólares FOB.

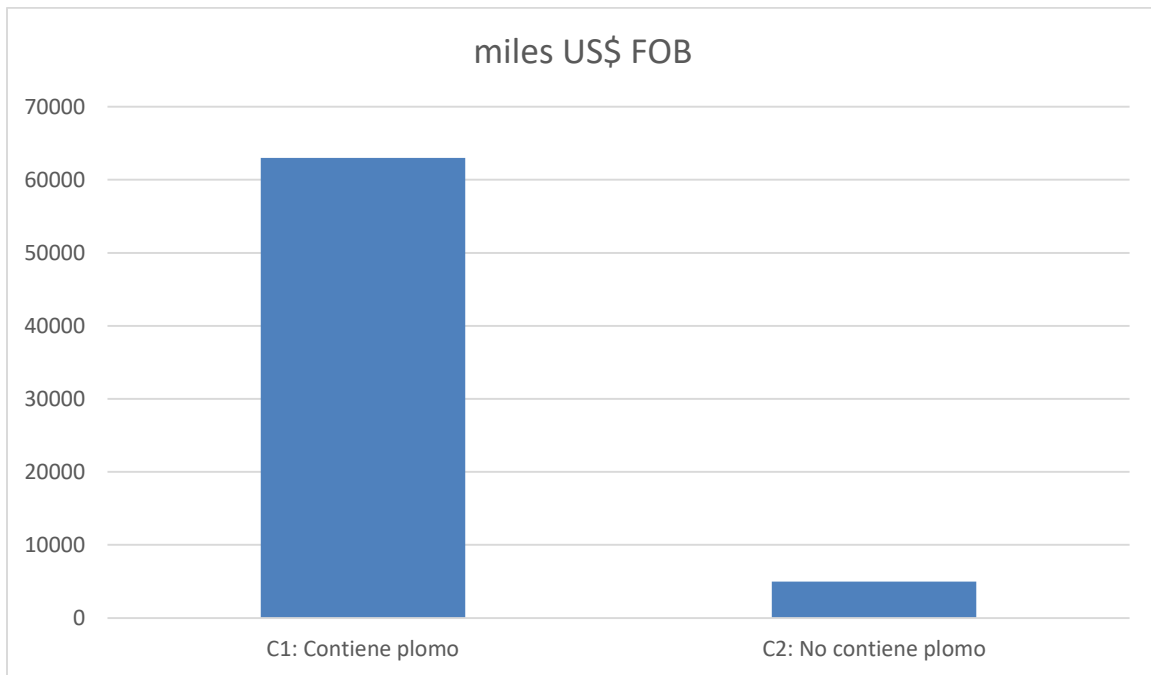


Figura 3-1 Participación de mercado de Baterías, por Categoría, de acuerdo a Glosa Importación, 2016

Fuente: (GESCAM, 2017)

Respecto a la proyección de las importaciones de baterías en Chile, basado en el crecimiento del PIB, la evolución de las importaciones de baterías en Chile sería la siguiente:

Tabla 3-5 Proyección de las importaciones de baterías en Chile

Año	PIB	Baterías [unidades]
2016	1.6%	2,202,762
2017	1.75%	2,241,310
2018	3.25%	2,314,153
2019	3.5%	2,395,148

Fuente: (GESCAM, 2017)

Al aplicar los Factores de Generación de BFU presentados en la Tabla 3-3, se obtienen la cantidad de BFU generadas por el parque vehicular en unidades y en toneladas para el año 2016 y su proyección 2017-2019, basado en el crecimiento del PIB, los resultados se presentan en la Tabla 3-6 y la Tabla 3-7.

Tabla 3-6 Generación de BFU, por región, según tipo de vehículo y actividad, año 2016 y Proyección 2017-2019 [unidades/año]

Región	Automóviles livianos				Transporte de personas (superior a 160 Ah)	Transporte de carga (superior a 160 Ah)	Vehículos Tracción, Agrícolas y Otros 40-75 Ah	BFU Año 2016 [unidad/año]	Proyección [unidad/año]		
	Uso Particular		Uso Laboral						2017	2018	2019
	Caja 42 (55 Ah)	Caja 27 (80-90 Ah)	Caja 42 (55 Ah)	Caja 27 (80-90 Ah)							
Factor Generación (unidades/año)	0.33	0.33	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5				
I de Tarapacá	30,168	6,442	2,046	414	1,220	4,671	197	45,157	45,157	47,440	49,101
II de Antofagasta	33,298	13,508	2,708	1,115	3,191	10,251	593	64,663	65,795	67,933	70,311
III de Atacama	16,607	9,199	1,380	340	1,562	8,226	439	37,753	38,413	39,662	41,050
IV de Coquimbo	42,071	19,242	2,890	829	2,092	8,667	440	76,230	77,564	80,085	82,888
V de Valparaíso	118,365	38,696	5,851	1,415	6,282	18,337	897	189,842	193,165	199,442	206,423
VI de O'Higgins	55,878	24,496	2,635	1,476	3,825	12,998	1,119	102,427	104,219	107,606	111,372
VII del Maule	64,895	33,992	2,212	1,017	3,903	16,737	1,747	124,502	126,681	130,768	135,376
VIII del Biobío	106,959	52,310	3,576	2,089	7,422	23,403	2,169	197,927	201,391	207,936	215,214
IX de la Araucanía	40,301	26,056	1,806	902	3,136	9,953	1,094	83,247	84,704	87,457	90,518
X de Los Lagos	40,811	23,220	2,563	741	3,398	10,850	977	82,559	84,004	86,734	89,770
XI de Aysén	6,895	4,335	332	240	272	1,956	113	14,143	14,390	14,858	15,378
XII de Magallanes y La Antártida	15,211	4,735	1,177	432	520	2,833	338	25,246	25,688	26,522	27,451
XIII Metropolitana	473,230	126,854	21,565	7,325	15,174	60,183	3,183	707,512	719,894	743,290	769,305
XIV de Los Ríos	17,228	9,345	995	392	1,273	4,341	492	34,066	34,662	35,789	37,041
XV de Arica y Parinacota	18,827	3,710	1,623	213	675	2,811	210	28,070	28,561	29,489	30,521
Total País	1,080,745	396,143	53,356	18,936	53,946	196,218	14,005	1,818,344	1,847,095	1,905,043	1,971,719

Fuente: Tabla 36, p.96 (GESCAM, 2017)

Tabla 3-7 Generación de BFU, por región, según tipo de vehículo y actividad, año 2016 y Proyección 2017-2019 [ton/año]

Región	Automóviles livianos				Transporte de personas (superior a 160 Ah)	Transporte de carga (superior a 160 Ah)	Vehículos Tracción, Agrícolas y Otros 40-75 Ah	BFU Año 2016 [ton/año]	Proyección [ton/año]		
	Uso Particular		Uso Laboral						2017	2018	2019
	Caja 42 (55 Ah)	Caja 27 (80-90 Ah)	Caja 42 (55 Ah)	Caja 27 (80-90 Ah)							
Factor Generación (kg/año)	3.5	5.67	5.3	8.5	17.0	17.0	19.0				
I de Tarapacá	317	110	21	7	21	79	7	562	572	591	612
II de Antofagasta	350	230	28	19	54	174	23	878	893	922	954
III de Atacama	174	156	14	6	27	140	17	534	543	561	581
IV de Coquimbo	442	327	30	14	36	147	17	1,013	1,013	1,064	1,101
V de Valparaíso	1,243	658	61	24	107	312	34	2,439	2,439	2,562	2,652
VI de O'Higgins	587	416	28	25	68	221	43	1,384	1,384	1,454	1,505
VII del Maule	681	578	23	17	66	285	66	1,717	1,717	1,804	1,867
VIII del Biobío	1,123	889	38	36	126	398	84	2,692	2,692	2,828	2,927
IX de la Araucanía	423	443	19	15	53	169	42	1,164	1,164	1,223	1,266
X de Los Lagos	429	395	27	13	58	184	37	1,142	1,142	1,200	1,242
XI de Aysén	72	74	3	4	5	33	4	196	196	206	213
XII de Magallanes y La Antártida	160	81	12	7	9	48	13	330	330	346	359
XIII Metropolitana	4,969	2,157	226	125	258	1,023	121	8,878	8,878	9,327	9,654
XIV de Los Ríos	181	159	10	7	22	74	19	471	471	495	512
XV de Arica y Parinacota	198	63	17	4	11	48	8	349	349	366	379
Total País	11,348	6,734	560	322	917	3,336	532	23,749	24,165	24,950	25,824

Fuente: Tabla 37, p.97 (GESCAM, 2017)

Si se considera que la generación anual de BFU del parque automotriz debiera ser similar a la importación de baterías de arranque, la estimación de BFU obtenida a través de los Factores de Generación de GESCAM muestra bastante consistencia con la realidad, puesto que, según cifras obtenidas de Aduana, durante el 2016 se importaron aproximadamente 2,202,762 de unidades de baterías de todo tipo, correspondiendo el 70% a baterías de plomo ácido. Esta cifra indica que aproximadamente 1,541,933 debieran haber sido de plomo ácido, siendo la cifra estimada por los Factores de Generación un 17% superior.

Para la generación de BFU asociada al sector minero, se utilizan las cifras del estudio de DURACELL que sitúa en un 7% las baterías de uso industrial dentro de las importaciones de Aduanas. Al distribuir esta cifra por región y al proyectarlas según la evolución del PIB, suponiendo que la generación de BFU guarda una correlación directa con las toneladas métricas de mineral fino procesado (TMF) por las principales faenas mineras del país, se obtiene lo siguiente.

Tabla 3-8 Distribución de BFU minero, en función de la Producción de Cobre y Hierro 2015, por Región [ton BFU/año]

Región	TMF 2015	Distribución	BFU 2016	BFU 2017	BFU 2018	BFU 2019
			[ton BFU/TMF]			
I Tarapacá	579,596	4%	100	101	103	106
II Antofagasta	3,108,358	22%	534	544	552	571
III Atacama	8,843,388	62%	1,520	1,547	1,569	1,624
IV Coquimbo	508,007	4%	87	89	90	93
V Valparaíso	295,323	2%	51	52	52	54
VI O'Higgins	487,153	3%	84	85	86	89
Metropolitana	401,715	3%	69	70	71	74
XV Arica	5,914	0%	1	1	1	1
VII Del Maule	17	0%	0	0	0	0
XI Aysén	831	0%	0	0	0	0
Total	14,230,302	100%	2,446	2,489	2,525	2,614

Nota: El valor 0 implica que la aproximación no alcanza a la unidad, es decir, el valor es menor a 0.5. Este valor es diferente al cero absoluto representado por un "-".

Fuente: GESCAM, 2017 en base a datos del Anuario SERNAGEOMIN, y proyección del PIB 2017-2019 del Banco Central.

En función de los antecedentes presentados en este estudio, la Tabla 3-9 compara las estimaciones de generación de BFU estimadas por GESCAM, las realizadas por RAM, en base a sus registros de recolección y procesamiento, y las de AMPHOS 21 (Amphos21, 2015) para el sector industrial.

Tabla 3-9 Comparación estimaciones Generación BFU, año 2016.

Origen de las BFU	GESCAM-RAM-AMPHOS	RAM	GESCAM
	[ton BFU/año]	[ton BFU/año]	[ton BFU/año]
Autos y camionetas	18,964	25,920	18,964
Camiones y buses	4,253		4,253
Vehículos Agrícolas y Otros	532		532
Sector Minero	2,446		2,446
Sector Industrial	7,687-14,257	2,880	10,972
Destino desconocido	-	5,082	-
Generación total	33,882-40,452	33,882	37,167

Fuente: GESCAM, 2017

Como se observa, existe una diferencia de 16% entre ambas estimaciones. Si se analizan las cifras, se observa que los Factores de Generación GESCAM, basados en la aplicación de factores de generación al parque automotriz, es consistente con la información entregada por RAM, existiendo un diferencial de 10% que se podría explicar a través de la pérdida de BFU con destino desconocido (26,195 ton versus 25,920 ton).

La mayor diferencia radica en la estimación de las BFU asociadas al sector industrial, lo cual se explica por las diferentes metodologías aplicadas para estimar este valor. Mientras RAM informa que el 10% de las baterías que llegan a la planta son de origen industrial: 2,880 [ton/año]⁴, AMPHOS estima esta cifra en 14,257 toneladas en base a una interpretación de las cifras de la base de datos de importaciones.

3.1.3.2 Valorización del impacto ambiental

Las baterías poseen dos sustancias peligrosas: el electrolito ácido y el plomo. El electrolito ácido es corrosivo, tiene alto contenido de plomo disuelto en forma de partículas, y puede causar quemaduras en la piel y los ojos. Por su parte, el plomo y sus compuestos (dióxido de plomo y sulfato de plomo entre otros) son altamente tóxicos para la salud humana, ingresan al organismo por ingestión o inhalación y se transportan por la corriente sanguínea acumulándose en todos los órganos, especialmente en los huesos. La exposición prolongada puede afectar el sistema nervioso central, cuyos efectos van desde sutiles cambios psicológicos y de comportamiento, hasta graves efectos neurológicos, siendo los niños la población en mayor riesgo. Cuando el plomo entra al medio ambiente no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua, pudiendo permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años.

Los receptores afectados, corresponden a los componentes específicos del medio ambiente que son directamente afectados por la acción y agente de daño. En el caso de la disposición

⁴ Estimaciones presentadas en el estudio de GESCAM. Se destaca que en base a la entrevista se aclara que la estimación actual de RAM se mantiene en ese orden.

inadecuada de BFU (tales como depósito en lugares no autorizados, fundiciones ilegales o acopio temporal sin las normas de seguridad requeridas), los receptores o componentes potencialmente afectados son nuevamente los ecosistemas, terrestre y acuático, teniendo sin duda impacto en las Comunidades y en las Poblaciones respectivas.

El plomo está presente de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones presentes en el ambiente son debido a los seres humanos y la industrialización de las sociedades. El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y terrestres. Los crustáceos son altamente vulnerables al plomo, incluso con pequeñas concentraciones pueden presentar grandes daños en su salud. Por otra parte, se ha demostrado que las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbados tras interferir con el plomo, siendo este organismo una fuente muy importante de producción de oxígeno en los océanos y es el alimento de muchas especies marinas.

Las funciones del suelo son alteradas por la intervención del plomo, especialmente las zonas de cultivo cercanas a la industria relacionada, donde concentraciones extremas pueden estar presentes. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento tras la propagación de las partículas, las cuales se acumulan primariamente en las hojas por deposición atmosférica. El plomo presente en la hoja rompe la cutícula y pasa al interior de la misma, se acumula en las vesículas y puede originar efectos como: Inhibición de la mitosis y por tanto del crecimiento de la planta, inhibición de la síntesis del ATP y del rendimiento energético, disminución de la viabilidad de las semillas.

En la actualidad, la fuente de exposición al plomo más directa de la población es a través de los acumuladores eléctricos o baterías y particularmente aquellas en desuso dispuestas informalmente o durante un proceso de tratamiento o reciclaje, sin las medidas de seguridad necesarias. En este caso, los efectos directos sobre las personas que pueden tener el plomo y también el ácido sulfúrico presente en una batería se ven en la Tabla 3-10.

Tabla 3-10 Impactos de los componentes de las BFU en la Población.

Impacto en la población	Ácido sulfúrico	Compuestos de plomo
Inhalación	Respirar vapores o niebla de ácido sulfúrico puede causar irritación en las vías respiratorias	La inhalación del polvo o vapores puede causar irritación en vías respiratorias y pulmones.
Ingestión	Puede causar una irritación severa en boca, garganta, esófago y estómago.	Su ingestión puede causar severo dolor abdominal, náusea, vómito, diarrea y calambres. La ingestión aguda puede llevar rápidamente a toxicidad sistémica.
Contacto con la piel	El ácido sulfúrico causa quemaduras, úlceras e irritación severa.	No se absorben por la piel.
Contacto con los ojos	Causa irritación severa, quemaduras, daño a las córneas y ceguera.	Puede causar irritación.
Exposición crónica (largo plazo)	Posible erosión del esmalte de los dientes, inflamación de nariz, garganta y tubos bronquiales.	Anemia, Neuropatía, particularmente de los nervios motores, caída de la muñeca; daño a los riñones y cambios reproductivos en hombres y mujeres.

Fuente: GESCAM, 2017 en base a CONAMA-GTZ, "Guía Técnica sobre Manejo de Baterías de Plomo Ácido Usadas", 2009.

El plomo contenido en las baterías es un recurso no renovable de gran valor económico que puede reciclarse de manera indefinida, por lo tanto, los principales impactos ambientales son:

- **Recuperación de materia prima secundaria:** El reciclaje de una batería permite reciclar el 100% del plomo contenido en la misma, evitando la extracción de mineral virgen. Además, permite recuperar el polipropileno de la carcasa plástica, permitiendo recuperar un 70% del mismo.
- **Disminución GEI y Ahorro de Energía:** La disminución en la emisión de gases efecto invernadero (GEI) y uso de energía que se generan en la etapa de elaboración y uso de las baterías, se puede representar de la siguiente forma:

Tabla 3-11 Reducción de GEI por Valorización de BFU

Item	Plomo reciclado vs Extracción
Reducción de GEI [ton CO2/ton]	1.61
Ahorro de Energía [GJ/ton]	9.87

Fuente: GESCAM, 2017 en base a Ecoing "Evaluación Económica, Ambiental y Social de la Implementación de la REP en Chile", 2011.

Esto quiere decir que por cada tonelada de plomo reciclado se reducen 1,61 toneladas de CO₂ emitido a la atmósfera respecto del plomo elaborado directamente del mineral, contribuyendo de esta manera a cumplir los compromisos de Chile en esta materia. Por otra parte, el reciclaje de plomo disminuye fuertemente el uso de energía, puesto que cada tonelada de plomo obtenido a partir del reciclaje ahorra 9,87 GJ respecto de la fabricación de una tonelada de plomo virgen.

3.2 Estudio GreenLab, 2018

3.2.1 Objetivos del estudio

El objetivo general del estudio consiste en estimar la disposición a pagar por beneficios medioambientales asociados a evitar la disposición final inadecuada de residuos de productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, a nivel nacional, aplicando el método de valoración contingente.

Los objetivos específicos se presentan a continuación:

1. Desarrollo de investigación inicial y diseño de instrumento de medición, junto con estimar la disposición inadecuada de cada uno de los productos prioritarios mencionados en el objetivo general.
2. Diseño y confección de encuesta para ejercicio de valoración contingente a nivel nacional de productos prioritarios mencionados en el objetivo general.
3. Aplicación de instrumento diseñado y procesamiento de información levantada en terreno.
4. Análisis de datos recopilados y propuesta de valores de disposición a pagar por beneficios medioambientales asociados a evitar la disposición final inadecuada.

3.2.2 Metodología utilizada

Durante este estudio, se realizó una revisión bibliográfica y comparación de resultados para estudios relacionados al desarrollo de la Ley REP en el país. Los estudios consultados corresponden a:

- Diagnóstico de importación y distribución de baterías de plomo ácido usadas (Ingenieros Consultores RYA, 2009)
- Evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la REP en Chile (Ecoing, 2011)
- Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para los productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la Ley 20.920 (GESCAM, 2017)

En los estudios consultados, la estimación de generación de BFU se basa en el parque automotriz, a partir de este se obtiene la cantidad de baterías que existen en el mercado y se balancea con la importación y exportación. Hasta el 2009 la demanda total de baterías de plomo ácido en Chile fue satisfecha por la importación, por lo cual la cantidad de baterías se calcula según los ingresos de la aduana (Ingenieros Consultores RYA, 2009).

En general todas las metodologías revisadas utilizan como base el número de baterías obtenidas a partir del parque automotriz, con diferentes factores que llevan al recambio de esta batería, como por ejemplo la vida útil. La vida útil de una batería es el período de tiempo en años o la

cantidad de ciclos de carga y descarga que puede soportar hasta que su capacidad sea insuficiente para cubrir las necesidades para las que fue diseñada.

Los principales factores que afectan la vida útil de una batería son: composición de las placas, modo de empleo y profundidad de las cargas, mantenimiento. Otros supuestos relevantes que consideran los estudios en su estimación son el peso promedio de una batería y su composición (porcentaje de plomo, ácido y otros componentes).

El primer estudio (Ingenieros Consultores RYA & GTZ, 2009) considera las siguientes fuentes para la cuantificación de las baterías en el país:

- Importaciones de acumuladores de plomo (histórica): según información de la aduana, incluyendo todos los acumuladores de plomo.
- Parque de vehículos motorizados en circulación (a partir de datos de INE)
- Importación de vehículos nuevos: tractores, automóviles para transporte de mercancía, personas y usos especiales (grúas, camiones de bombero, coches radiológicos, etc.), carretillas de transporte de mercancía a corta distancia, motocicletas y velocípedos
- Exportación de baterías nuevas (las mismas partidas que para la importación)
- Exportación de baterías vehículos nuevas (las mismas partidas que para la importación)
- Exportaciones de desechos de baterías de plomo usadas: se consideran relevantes las partidas de la aduana correspondientes a plomo refinado, plomo en bruto, desperdicios y desechos de plomo y demás manufacturas de plomo

Por su parte, (Ecoing, 2011), en la estimación de las baterías fuera de uso y sus destinos, utiliza sólo la información de baterías de vehículos que cumplen con su vida útil, sin considerar las baterías eléctricas y sin considerar la importación directa de baterías. Esto tiene sentido al considerar que la principal fuente de las BFU son los vehículos, y las baterías importadas son para el reemplazo de aquellas que ya cumplieron con su vida útil.

Por último, (GESCAM, 2017) incluye en la consideración de BFU las partidas de aduana correspondientes a baterías sin plomo.

3.2.3 Resultados obtenidos

La Tabla 3-12 presenta una comparación de los supuestos base que permiten la estimación de la generación de BFU según los diferentes estudios analizados. Es importante destacar que estos supuestos son la principal fuente de las diferencias que existen en la estimación final de generación de residuos (GreenLab-Dictuc, 2018).

Tabla 3-12 Supuestos utilizados por las diferentes metodologías para la cuantificación de BFU

Peso promedio por batería	Porcentaje del peso de la BFU correspondiente al plomo	Vida útil promedio de las baterías	Fuente
18 kg	70%	2.5 años ^a	(Ecoing, 2010; Ingenieros Consultores RYA, 2009)
17 kg	82%	2 años	(Ecoing, 2011)
8-13 kg ^b	65-75%	2 a 4 años	(GESCAM, 2017)

(a) En algunas figuras (Figura 2.1) se utiliza una vida útil promedio de 2 años, mientras en cálculos se utiliza 2.5 años (página 58)

(b) El peso de la batería en este estudio varía según la partida de la aduana, sin embargo, el peso señalado corresponde a vehículos livianos (8507.1010)

Fuente: GreenLab, 2018

Los supuestos utilizados por cada estudio presentan diferencias notorias, pero esto se debe principalmente a la segregación de la información manejada (se utilizan valores promedio que reúnen muchos tipos de baterías diferentes), ya que el último estudio (GESCAM, 2017) realiza la estimación de generación con mayores categorías de baterías, asignando a cada una características específicas, no así los estudios previos que generalizaban la categorización a un solo tipo de batería vehicular.

La aplicación de los supuestos presentados en la tabla previa, en conjunto con la estimación del parque automotriz y el balance de importación y exportación, entregan como resultado la estimación de la generación anual de BFU, expuestos en la Tabla 3-13 y en la Tabla 3-14. La Tabla 3-14 presenta la última estimación de generación de BFU realizada en Chile, por la consultora GESCAM (GESCAM, 2017).

Tabla 3-13 Estimaciones de destino de BFU según diferentes fuentes para el año 2008

Destino	MMA et al., 2011, fig. 9)	(Ecoing, 2011)		(Ingenieros Consultores RYA, 2009) ^b		(Ecoing, 2010)	
	Porcentaje	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas
TOTAL BFU	100%	100%	26,100	100%	33,194	100%	26,100
Valorización energética	3% ^a	3%	772			2.96%	772
Reciclaje de plomo y plástico	4%	4%	1,044			4%	1,044
Relleno de seguridad	4%	3.2%	859			3.29%	859
Exportación	41.9%	41.9%	10,933			41.89%	10,933
Desconocido	47.1%	47.9%	12,492	34.64%	11,500	47.86%	12,492

(a) Co-incineración de electrolito

(b) Calculado bajo el supuesto de vida útil promedio de 2 años y 18 kg de peso

Fuente: GreenLab, 2018

Tabla 3-14 Estimaciones de destino de BFU para el año 2016

Destino	Baterías Fuera de Uso					
	BFU vehicular		BFU Industrial		Total BFU	
	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas
Generación bruta BFU	100%	23,749	100%	13,418	100%	37,167
Prep. Reutilización (regeneración)	0.00%	-		S/I	0.00%	-
Reciclaje (plomo)	109%	25,920	21.46%	2,880	77.49%	28,800
Valorización energética	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-
Desconocido	-	-	78.54%	10,538	22.51%	8,367

(a) Esta categoría incluye las BFU de uso en minería

Fuente: GreenLab, 2018 en base a GESCAM, 2017

Las estimaciones de la Tabla 3-13 y Tabla 3-14 presentan importantes diferencias, en particular para la disposición de BFUs en destinos desconocidos, variando de un 47% a un 20%. Esto se debe principalmente a que el 2010 fue dictado el Decreto N° 2 del Ministerio de Salud (Ministerio de Salud y Subsecretaría de Salud Pública, 2010) que, siguiendo los lineamientos del Convenio de Basilea, prohíbe el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, en este caso, baterías de plomo usadas, desde Chile a otros países no OCDE, mientras exista capacidad de procesamiento en Chile (previamente se exportaban BFU a Venezuela, Perú y Corea del Sur) (GESCAM, 2017). Por este motivo el gran volumen de baterías exportadas se redireccionó a la planta de reciclaje de plomo existente (que nunca ha funcionado a más de 50% de su capacidad autorizada).

3.3 Estudio EY, 2017

3.3.1 Objetivos del estudio

El estudio aborda tres componentes requeridos por el Ministerio. El primer componente consiste en la identificación y análisis de elementos y criterios para la elaboración del Decreto, referente a los productos prioritarios en estudio. El segundo componente dice relación con la presentación de tablas comparativas que analizan cada uno de los elementos y criterios identificados en 3 países seleccionados, incluyendo una recomendación para su aplicación en Chile. Finalmente, el tercer componente describe los resultados del taller realizado con actores relacionados con los tres productos prioritarios, incluyendo principales aportes, comentarios, consideraciones y preguntas del taller, así como las principales discusiones y conclusiones (EY, 2017).

3.3.2 Metodología utilizada

Para poder cuantificar la oferta nacional, o puesta en el mercado de las baterías de ácido plomo, se recurre al informe de importación que provee el Servicio Nacional de Aduanas, mediante los siguientes códigos arancelarios (EY, 2017):

- 8507.1010: Baterías de plomo-electrolito
- 8507.1090: Las demás de plomo
- 8507.2000: Los demás acumuladores

Las cantidades que se reflejan en la exportación provienen regularmente de las mismas empresas líderes en el mercado de importaciones con operaciones comerciales en países vecinos. Por economía de escala importan y luego reexportan a sus filiales o aliados comerciales en el extranjero. Dado que en Chile no se producen baterías, este es el origen de las baterías exportadas.

Respecto a los principales actores del mercado de baterías de ácido plomo, el mercado chileno está compuesto sólo por importadores, siendo sus principales actores las empresas en el rubro de baterías de ácido plomo de arranque y tracción (EY, 2017). Los principales actores, según datos del Servicio Nacional de Aduanas son:

Tabla 3-15 Principales importadores de baterías de arranque y tracción 2015

Importador	Tipo	Unidades	Porcentaje
DERCO S.A.	Baterías de A-P	374,256	22%
AUTOMOTORES GILDEMEISTER S.A.	Baterías de A-P	361,746	22%
EMASA COMERCIAL S.A.	Baterías de A-P	270,512	16%
SERV. LUCAS BLANDFORD S.A.	Baterías de A-P	243,791	15%
GENERAL MOTORS CHILE INDUSTRIA	Baterías de A-P	62,486	4%
BATERIAS CYCLON LIMITADA	Baterías de A-P	44,277	3%
BATERIAS ETNA CHILE SA. AGENC	Baterías de A-P	27,379	2%
SALINAS Y FABRES S.A.	Baterías de A-P	29,160	2%
OTROS	Baterías de A-P	238,163	14%

Baterías de A-P: Baterías de arranque de Plomo + las demás de plomo (8507. 1010-1090)

Fuente: EY, 2017 en base a Servicio Nacional de Aduanas

Para el caso particular de este estudio, y de acuerdo a las diferentes entrevistas realizadas a los proveedores de baterías al mercado, la vida útil para las baterías de vehículos fluctúa entre los 2 y 5 años, por lo cual se define una vida útil promedio de 3 años. Sin embargo, para el caso particular de los acumuladores de plomo estacionarios UPS esta varía entre 1,200 y 1,500 ciclos, lo que corresponde aproximadamente a 8 años (EY, 2017).

Las nuevas generaciones de baterías (desde el año 2000 en adelante), vienen selladas y con automantenimiento, lo que implica que el producto en sí no sufre un desgaste de material, por lo que no existe una merma en su peso desde la instalación como producto nuevo y el término de su vida útil (EY, 2017).

Para la estimación de los residuos BFU generados se ha considerado un peso promedio ponderado, dando como resultado el peso de 19,3 Kg (EY, 2017). Esta ponderación se puede ver en la Tabla 3-17.

3.3.3 Resultados obtenidos

3.3.3.1 Caracterización del mercado

Basado en los datos de importaciones y exportaciones que provee el Servicio Nacional de Aduanas de Chile, se obtienen las cifras de la Tabla 3-16.

Tabla 3-16 Baterías puestas en el mercado nacional (cifras en unidades)

	2011	2012	2013	2014	2015
Importación	3,292,833	3,121,951	3,829,154	2,979,673	3,501,818
Exportación	103,254	28,893	4,387	22,926	25,915
Puesto en el mercado	3,189,579	3,093,058	3,824,767	2,956,747	3,475,903

Fuente: EY, 2017 en base a Servicio Nacional de Aduanas

A continuación, se muestra la tabla de demanda total de baterías utilizada para calcular el peso ponderado de BFU del parque automotriz.

Tabla 3-17 Peso ponderado de Baterías del parque automotriz 2014

Tipos de motorizados	Total demanda 2014	% del total de la demanda	Peso de batería [kg]	Peso porcentual
Automóvil y station wagon	930,065	0.567	14	7.943
Todo Terreno	33,342	0.020	24	0.488
Furgón	59,715	0.036	24	0.874
Minibús	10,155	0.006	24	0.149
Camioneta	264,697	0.161	24	3.875
Motocicletas y similares	55,959	0.034	2	0.068
Otros con motor	452	0.000	1	0.000
Taxi básico	35,593	0.022	14	0.304
Taxi colectivo	59,269	0.036	14	0.506
Taxi turismo	8,646	0.005	14	0.074
Minibús, transporte colectivo	5,509	0.003	41	0.138
Minibús, furgón escolar y trabajadores	5,309	0.003	41	0.133
Bus, transporte colectivo	32,009	0.020	50	0.976
Bus, transporte escolar y trabajadores	3,051	0.002	50	0.093
Camión simple	98,001	0.060	50	2.989
Tractocamión	28,369	0.017	38	0.658
Tractor agrícola	3,050	0.002	38	0.071
Otros con motor	6,013	0.004	1	0.004
Total	1,639,203			19.3

Fuente: EY, 2017

De acuerdo a estos datos se obtiene la generación de BFU de baterías de ácido plomo que aporta el parque automotriz multiplicando unidades de baterías importadas por el factor del peso promedio ponderado, como se muestra en la siguiente Tabla (EY, 2017).

Tabla 3-18 Generación de residuo de baterías de ácido plomo

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
BFU [unidades]	1,173,640	1,180,821	1,317,468	1,464,273	1,381,502	1,406,155	1,435,619	1,639,203
Residuo [tons]	22,651	22,790	25,427	28,260	26,663	27,139	27,707	32,505

Fuente: EY, 2017 en base a INE y Servicio Nacional de Aduanas

Para los demás acumuladores, se considera un peso promedio de 120 kilos, obteniéndose la generación de residuos presentada en la Tabla 3-19. De la revisión del estudio no queda claro el método en que se estimó el número de unidades de BFU, es posible que dicha estimación provenga de las importaciones de baterías diferentes a plomo.

Tabla 3-19 Generación de residuos demás de plomo, demás acumuladores

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Consumo (unidades)	103,665	138,129	102,796	158,616	162,727	151,821	215,023	114,530
Residuo [toneladas]	12,440	16,575	12,336	19,034	19,527	18,219	25,803	13,744

Fuente: EY, 2017 en base a INE y Servicio Nacional de Aduanas

Por último, suponiendo un crecimiento promedio de un 3% del parque automotriz, la proyección de generación de BFU sería la identificada en la Figura 3-2. La cantidad total abarca todas las toneladas de los 3 códigos arancelarios.

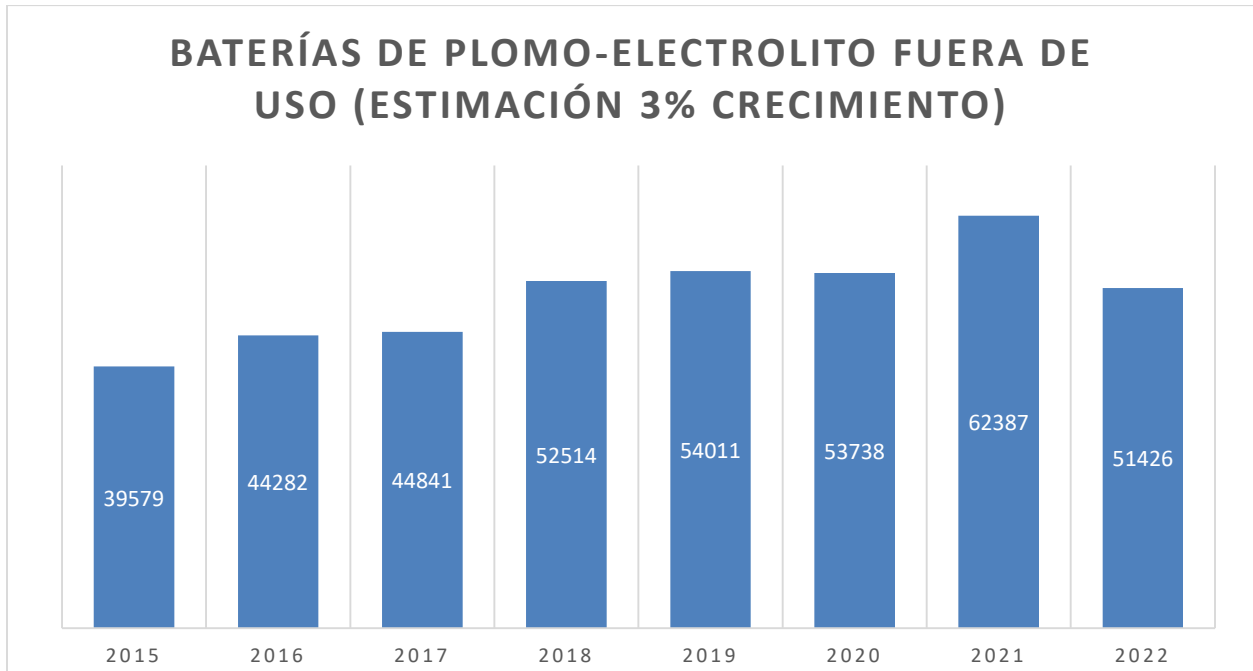


Figura 3-2 Generación anual de BFU – plomo [tons]

Fuente: EY, 2017 en base a INE y Servicio Nacional de Aduanas

La gestión de los residuos generados a partir de las baterías fuera de uso en Chile se realiza mayoritariamente por el canal informal. La única planta que posee la capacidad para realizar el ciclo completo de reciclaje de la batería fuera de uso informa que principalmente se abastece de gestores informales, siendo la relación 9:1 respecto al residuo que recibe del canal informal, frente al canal formal.

El principal gestor recolector de baterías mediante el canal formal es la empresa Ecovalor, ligada a las empresas Derco y Gildemeister. También destaca la empresa Recimat dedicada a la logística de BFU, ligada a la fundición RAM, en alianza con la empresa Inppamet, fabricante de ánodos para la minería.

Estas dos empresas Ecovalor y Recimat, realizan gestiones en la Región Metropolitana y los principales conglomerados urbanos del país. Sin embargo, el fuerte de la recolección está en

manos de organizaciones informales que se ubican en las ciudades principales y se abastecen de baterías provenientes de chatarreros, quienes compran las baterías fuera de uso a recicladores de base o empleados de talleres que reemplazan estas baterías fuera de uso por productos nuevos.

Respecto a la planta de valorización de baterías fuera de uso, RAM, es la única planta en Chile capaz de proporcionar una solución completa al proceso de reciclaje de las BFU. La planta tiene una capacidad declarada de gestionar hasta 32,000 toneladas anuales⁵. Pero, como promedio anual, la planta está recibiendo cerca de 20,400 toneladas. Por su parte, la empresa Ecovalor recolecta anualmente cerca de 1,700 toneladas.

Debido a que este residuo tiene un valor positivo en el mercado se desarrolla una activa gestión informal. Actualmente, RAM paga el 19% del LME Plomo (London Metal Exchange) puesto en Santiago para los recolectores formales, pero el precio informal varía según el mercado de metales, la demanda nacional y continental, y la activa gestión de los compradores informales para mercados internacionales que incentivan el contrabando de plomo, con las externalidades negativas que genera el comercio y proceso informal de obtención del plomo realizada por fundiciones y acopios clandestinos.

El flujo del residuo de las BFU provenientes sólo del sector automotriz (32,300 ton de los 44,282 ton), se puede describir con los siguientes esquemas, según sea el caso de la gestión informal o formal respectivamente, como se muestra en la Figura 3-3 y en la Figura 3-4. El consorcio de baterías no maneja información de mercado y del destino de los acumuladores o baterías estacionarias.

⁵ En la práctica la capacidad aprobada es 2,860 [ton/mes] de componentes plomados, RE 8862/2015 de la SEREMI de Salud. Esto es equivalente a las 32 mil [ton/año] al mes de componentes plomados citados o a 49.5 miles [ton/año] de baterías.

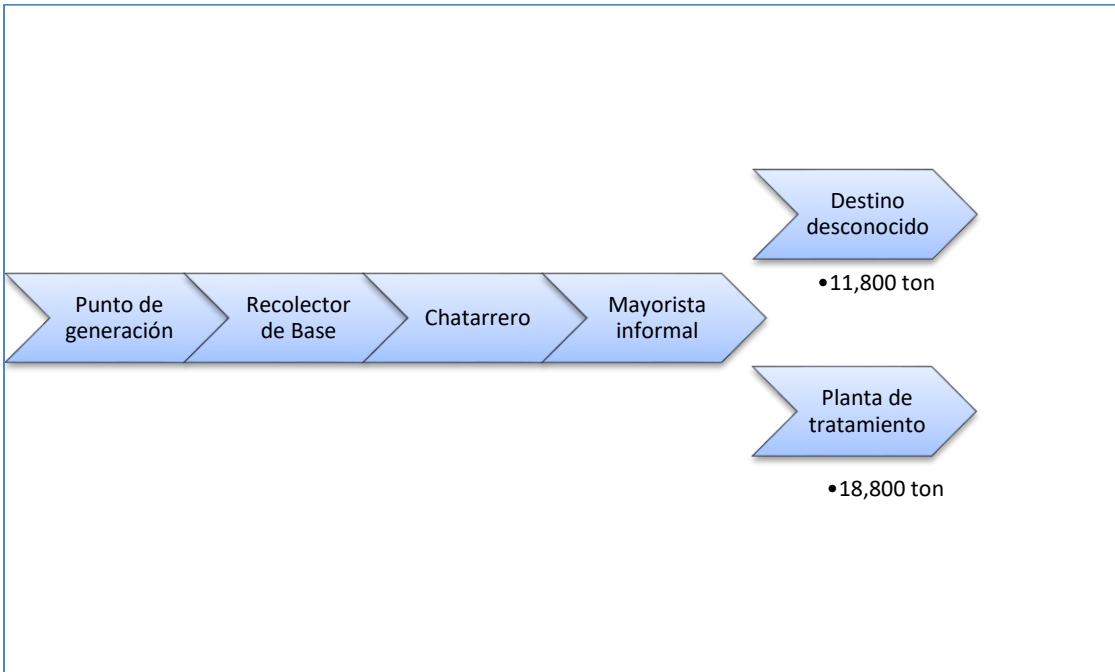


Figura 3-3 Flujo de BFU Informal anual 2016

Fuente: EY, 2017 según entrevista a RECIMAT

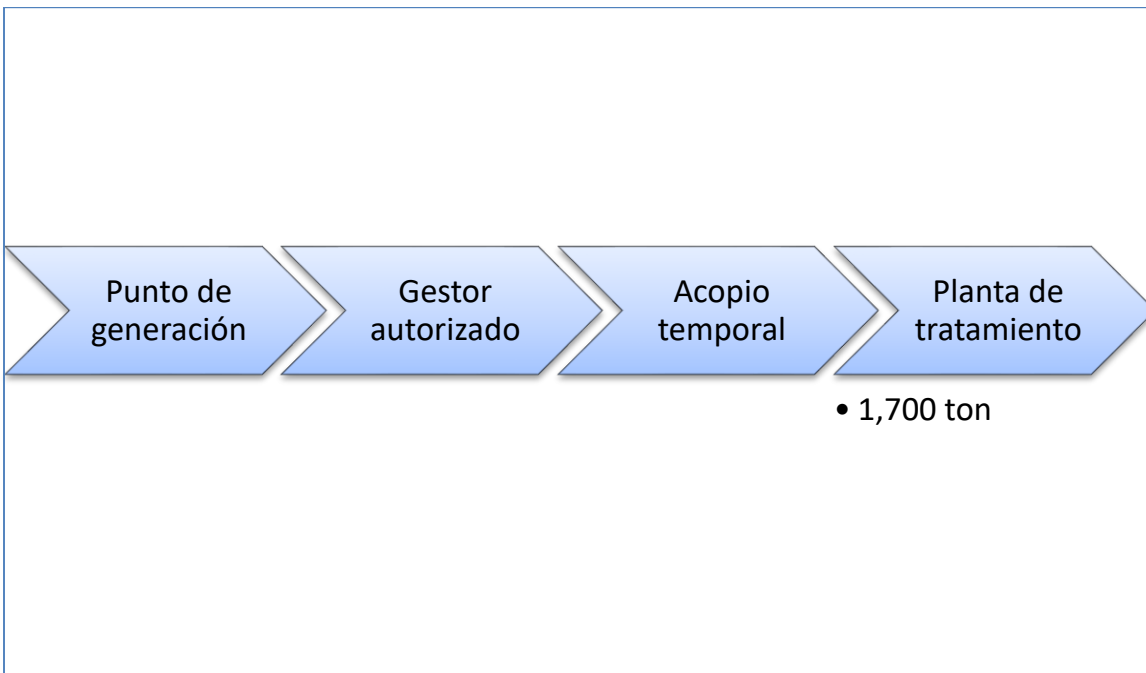


Figura 3-4 Flujo de BFU Formal anual 2016

Fuente: EY, 2017 en base a Autoridad Sanitaria y RECIMAT

3.4 Estudio RYA, 2009

3.4.1 Objetivos del estudio

El objetivo general del estudio, conforme a los términos de referencia del mismo, es disponer de un conocimiento profundo y de indicadores, formulados sobre dicho conocimiento, para distintos ámbitos vinculados al manejo de baterías de plomo ácido y baterías de plomo usadas.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

1. Recopilación de información general del rubro.
2. Contar con una caracterización económica.
3. Contar con un diagnóstico de la situación actual en Chile y una comparación con experiencias a nivel internacional.
4. Definición de indicadores para medir eficientemente los cambios en el rubro.

3.4.2 Resultados obtenidos

En particular, este estudio presenta información relevante sobre los daños asociados a la disposición incorrecta de baterías. Los riesgos más importantes y efectos nocivos sobre la salud de las personas, según vía de exposición, son:

- **Inhalación:**

Ácido sulfúrico: Respirar vapores o niebla de ácido sulfúrico puede causar irritación en las vías respiratorias.

Compuestos de plomo: La inhalación del polvo o vapores puede causar irritación en vías respiratorias y pulmones.

- **Ingestión:**

Ácido sulfúrico: Puede causar una irritación severa en boca, garganta, esófago y estómago.

Compuestos de plomo: Su ingestión puede causar severo dolor abdominal, náusea, vómito, diarrea y calambres. La ingestión aguda puede llevar rápidamente a toxicidad sistémica.

- **Contacto con la piel:**

Ácido sulfúrico: El ácido sulfúrico causa quemaduras, úlceras e irritación severa.

Compuestos de plomo: No se absorben por la piel.

- **Contacto con los ojos:**

Ácido sulfúrico: Causa irritación severa, quemaduras, daño a las córneas y ceguera.

Compuestos de plomo: Pueden causar irritación.

- **Sobre exposición aguda (por una vez):**

Ácido sulfúrico: Irritación severa de la piel, daño a las córneas que puede causar ceguera, e irritación al tracto respiratorio superior.

Compuestos de plomo: Síntomas de toxicidad incluyen dolor de cabeza, fatiga, dolor abdominal, pérdida de apetito, dolor muscular y debilidad, cambios de patrones de sueño e irritabilidad.

- **Sobre exposición crónica (largo plazo):**

Ácido sulfúrico: Posible erosión del esmalte de los dientes, inflamación de nariz, garganta y tubos bronquiales.

Compuestos de plomo: Anemia; neuropatía, particularmente de los nervios motores, caída de la muñeca; daño a los riñones y cambios reproductivos en hombres y mujeres.

- **Carcinogenicidad:**

Ácido sulfúrico: La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado la exposición ocupacional a vapores de ácidos inorgánicos fuertes que contienen ácido sulfúrico, como carcinogénica para los humanos (Grupo 1). Esta clasificación no aplica al electrolito de las baterías, sin embargo, las recargas con corrientes excesivamente altas durante periodos de tiempo prolongados, de baterías sin las tapas de venteo bien puestas, puede crear una atmósfera de neblina de ácido inorgánico fuerte con contenido de ácido sulfúrico.

Compuestos de plomo: La IARC clasifica el plomo y sus compuestos dentro del Grupo 2B “posiblemente carcinogénicos en humanos”.

Arsénico: El arsénico es una sustancia cancerígena humana conocida; clasificado por la IARC en el Grupo 1.

- **Fuego y explosión:**

La liberación de hidrógeno, incluso con la batería en estado de reposo, es inherente a la reacción química que se produce en aquella, por lo tanto, la emanación de este gas inflamable es inevitable. La emanación de hidrógeno y proximidad de un foco de ignición (cigarro encendido, flama o chispa) pueden causar la explosión de una batería con la proyección violenta tanto de fragmentos de la caja como del electrolito líquido corrosivo. Las chispas se pueden producir internamente en el seno de la batería por cortocircuitos causados por un deficiente estado de la misma, ya sea por desprendimiento de materia activa, por acumulación de algunas impurezas, por comunicación entre los apoyos o por deformaciones de éstas, así como por avería en algún separador; circunstancias que pueden deberse a defectos de fabricación, mantenimiento incompleto o al trato dispensado a la batería. Las chispas externas tienen lugar por la manipulación de herramientas durante el montaje o desmontaje, la conexión de pinzas de cables de emergencia, la electricidad estática, las abrazaderas flojas, la carga insuficiente, la sobrecarga y por dejar objetos metálicos encima de la batería.

- **Reactividad:**

Ácido sulfúrico: El contacto del electrolito con combustibles y materiales orgánicos puede causar fuego y explosión. También reacciona violentamente con agentes reductores fuertes, metales, gas trióxido de azufre, oxidantes fuertes y agua. El contacto con metales puede producir humos tóxicos de dióxido de azufre y puede liberar gas hidrógeno inflamable.

Compuestos de plomo: Se debe evitar el contacto con ácidos fuertes, bases, haluros, halogenados, nitrato de potasio, permanganato, peróxidos y agentes reductores.

Cuando el plomo entra al medio ambiente no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua. Una vez que el plomo entra a la atmósfera, puede viajar larga distancia si las partículas de plomo son muy pequeñas. El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas superficiales. Una vez que el plomo cae al suelo, se adhiere fuertemente a partículas en el suelo y permanece en la capa superior del suelo. Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia. El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años. Los niveles de plomo pueden ser más altos en plantas y animales en áreas donde el aire, el agua o el suelo están contaminados con plomo (RYA y GTZ, 2009).

Dependiendo del grado de mecanización de las instalaciones de eliminación de baterías, se estima que pueden surgir los siguientes riesgos ambientales (Vest, H., 2002):

- Contaminación de suelo y aguas subterráneas por el ácido derramado al vaciar los acumuladores.
- Dispersión del polvo de plomo por el viento, si se almacenan los acumuladores triturados sin protección.
- Producción de bastantes emisiones atmosféricas (por ejemplo, polvo con contenido de plomo, hollín, SO₂, cloruros, dioxinas, etc.) al fundir los residuos de acumuladores, debido a:
 - El procesamiento de acumuladores completos incluyendo sus partes plásticas (caja, separadores de PVC, en los tipos antiguos);
 - La eliminación inadecuada de gases y vapores durante el proceso de fusión y refinación;
 - La ausencia de tratamiento o el tratamiento inadecuado de los gases de combustión.
- Uso de escoria soluble en agua sin el diseño adecuado de tiradero, que evite la lixiviación y la formación de polvos.
- Almacenamiento a cielo abierto de escoria y cenizas del proceso de refinación.
- Vertido de residuos a cielo abierto, como por ejemplo cajas de acumuladores y separadores de PVC.

La informalidad en el manejo de residuos en general representa riesgos significativos para la salud y el medio ambiente. La participación de operadores informales está asociada no sólo al contrabando de residuos, sino que a condiciones de empleo inadmisibles desde el punto de vista de la seguridad social, sanitario y laboral; contaminación ambiental producida por el descarte en forma incontrolada de los residuos en los cursos de agua, la quema a cielo abierto o el vertido en el terreno de residuos peligrosos sin control y sin ninguna medida de protección ambiental; y la generación de sitios contaminados difíciles de identificar (RYA y GTZ, 2009).

3.5 Estudio Ecoing, 2011

3.5.1 Objetivos del estudio

El objetivo general de este estudio es evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales asociados a la implementación de la REP en Chile, para los siguientes productos fuera de uso:

- Neumáticos fuera de uso (NFU)
- **Baterías fuera de uso (BFU)**
- Aceites y lubricantes usados (ALU)
- Residuos electrónicos (RE), específicamente:
 - Equipos de informática, incluyendo PCs, notebooks, monitores e impresoras
 - Celulares

3.5.2 Metodología utilizada

Toda la metodología utilizada en el estudio se puede encontrar en la sección de Anexos, Estudio Ecoing, 2011. A continuación, se presenta la metodología específica para el producto prioritario Baterías y la generación de BFU.

Para la caracterización del producto, se tomó en cuenta lo siguiente:

Para el estudio de las BFU, el estudio se restringe a baterías de arranque para vehículos, del tipo plomo ácido.

La vida útil promedio de una batería de plomo-ácido es de 2 a 4 años, lo que depende de la forma de uso del vehículo, ya que mientras más partidas se realicen, mayor requerimiento tendrá la batería.

En el año 2008 la estructura del mercado registra aproximadamente 300 importadores de baterías, de los cuales 30 concentran una participación del 86% del mercado y sólo 10 dan cuenta del 65% de las importaciones. A lo largo del país existen alrededor de 600 puntos de venta de insumos para vehículos y más de mil talleres de reparación de automóviles, llegando a más de 1,600 potenciales puntos de recepción de baterías usadas.

Durante el año 2008 se registró un parque vehicular de 2.9 millones unidades; considerando un recambio anual de las baterías en un 50%, se llega a una comercialización aproximada de 1,450,000 baterías por año. Esto equivale a una **demanda anual de 1 batería por cada 11 habitantes aproximadamente**. Considerando un peso promedio por batería de 17 kg, se llega a un peso total comercializado y transportado de 24,660 toneladas durante ese mismo año. El valor de las ventas del año 2008 fue estimado en 80 millones de dólares, equivalente a un valor promedio de 55 dólares por batería.

Para la evaluación de los impactos se suponen los siguientes destinos para los residuos recogidos:

- Prohibición de la exportación: Se supone la valorización del cien por ciento dentro del país.
- Valorización: El cien por ciento de las BFU será procesada en las dos plantas de reciclaje existentes y autorizadas en Calama (RAM) y San Antonio (TECNOREC), que cuentan con suficiente capacidad para procesar la totalidad de las BFUs generados en Chile.
- Destinos de materiales recuperados: El plomo recuperado y refinado se comercializa como materia prima en el extranjero o mercado interno; el plástico se lava y recicla en el mercado interno; el electrolito se neutraliza, la escoria y los otros residuos se disponen en rellenos autorizados.



Figura 3-5 Destinos supuestos para los BFU recogidos

Fuente: Ecoing, 2011

Generalmente, el recambio de las baterías se efectúa en talleres mecánicos especializados, sean estos externos, como en el caso de los vehículos particulares, o propios, como en caso de las empresas de transporte y carga, pero también se generan en desarmaduras.

Desde estos lugares, aproximadamente la mitad de las BFU desaparece en “destinos desconocidos” y más que 40% es exportado a países vecinas, supuestamente para su valorización. El resto, aproximadamente el 10%, es manejado de la siguiente manera:

- Reciclaje: Desmantelamiento y posterior recuperación del plomo en fundiciones y del plástico en plantas de reciclaje.
- Valorización energética: Mezcla del electrolito con sustancias de alto poder calorífico para su uso como combustibles alternativo y coincineración en las plantas cementeras.
- Rellenos de seguridad: Disposición de la fracción peligrosa no valorizada.

3.5.3 Resultados obtenidos

A continuación, se presentan los principales resultados del estudio respecto a la caracterización del mercado de baterías, gestión de BFU, y valorización de impactos ambientales de la disposición de BFU.

3.5.3.1 Caracterización y proyección de mercado

Para la proyección del mercado, se estima un incremento anual inicial del 4% del mercado de venta de las baterías, relacionado con el crecimiento del parque automotriz proyectado, que se duplica en 23 años.

Tabla 3-20 Proyección del parque vehicular y venta de baterías

Año	N° de Vehículos			N° de baterías	
	Livianos	Transporte Personas	Transporte Carga	Total	Per Cápita
2008	2,659,679	45,033	196,769	1,450,000	0.09
2015	3,500,000	59,260	258,935	1,909,000	0.11
2020	4,258,000	72,100	315,034	2,323,000	0.13

Fuente: Ecoing, 2011 basado en proyección del INE

3.5.3.2 Manejo actual de residuos

Respecto a los destinos para el manejo de las BFU, el mercado actual tiene la siguiente distribución:

Tabla 3-21 Cantidades y destinos de las BFU en Chile (año 2008)

Unidades	BFU generados	Reciclaje	Valorización energética	Relleno de seguridad	Exportación	Destino desconocido
N°	1,450,000	57,994	42,878	47,749	607,374	694,004
Toneladas	26,100	1,044	772	859	10,933	12,492
Porcentaje (en peso)	100%	4%	3%	3.2%	41.9%	47.9%

Fuente: Ecoing, 2011 en base a Ingenieros RYA Consultores, 2009

El recolector o reciclador primario juega un rol relevante en la recolección de las BFU, dado el elevado precio del plomo. Por lo tanto, los usos alternativos de los residuos de baterías podrían explicar parte del casi 48% del producto con “destino desconocido”.

3.5.3.3 Proyección de la generación de BFU

En función de la evolución del parque vehicular y de acuerdo a la estimación de la vida útil de las baterías se establece la siguiente proyección de las BFU:

Tabla 3-22 Proyección de la generación de BFU

Año	BFU (unidades)	BFU (ton)
2008	1,450,741	24,663
2015	1,909,076	32,454
2020	2,322,682	39,486

Fuente: Ecoing, 2011

3.5.3.4 Aspectos ambientales

De acuerdo al análisis del ciclo de vida efectuado para las baterías, la etapa más crítica corresponde al uso del producto, dado que involucra los mayores consumos de energía, insumos y generación de CO₂. Considerando sólo el último segmento del ciclo, a partir de la generación de las BFU (residuos), la etapa más crítica corresponde a su disposición en “destino desconocido”, dado el muy alto porcentaje que sigue esa vía.

Las baterías fuera de uso se clasifican como un residuo peligroso, según el reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos (D.S.148/03, artículos 18 y 90), ya que poseen electrolito (ácido sulfúrico) y plomo, por lo que existen riesgos y daños por su gestión inadecuada, entre los que se cuentan.

- El electrolito es corrosivo y el plomo es altamente tóxico para la salud humana y el ambiente. Ambos son clasificados como desechos peligrosos bajo el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos de Desechos Peligrosos y su Eliminación.
- Se generan impactos ambientales por contaminación de suelo y aguas por el ácido derramado al vaciar los acumuladores y por la dispersión del polvo de plomo por el viento al guardar los acumuladores triturados sin protección.

- Se producen emisiones atmosféricas (por ejemplo, polvo con contenido de plomo, hollín, SO₂, cloruros, dioxinas, etc.) al fundir los desechos de acumuladores, debido a procesamiento de todo el acumulador, incluyendo sus partes orgánicas (caja, separadores de PVC, en los tipos antiguos) o por eliminación inadecuada de gases y vapores durante el proceso de fusión y refinación.

Basado en la composición de las baterías, el potencial de recuperación de materias secundarias se presenta en la Tabla 3-23.

Tabla 3-23 Recuperación actual de BFU y potencial de recuperación de materias secundarias (año 2008)

Material	Contenido (ton/ton)	Cantidad total (ton)	Recuperación actual (ton)	Potencial de recuperación (ton)
Plomo	0.65	16,965	8,845	8,120
Electrolito	0.25	6,525	3,402	3,123
Separadores de plástico	0.05	1,305	680	625
Cajas de plástico	0.05	1,305	680	625
Total	1	26,100	13,608	12,492

Fuente: Ecoing, 2011

Observando los datos anteriores, se podrían recuperar sobre 8,000 toneladas de plomo y sobre 1.200 toneladas de plástico, las que actualmente no se están aprovechando de forma adecuada. Considerando que está proyectado prohibir la exportación de los BFU, a estas cifras se debe agregar otro 40% más (proveniente del flujo de recuperación actual), debido al material que comenzaría a ser valorizado en Chile.

3.5.3.5 Conclusiones del diagnóstico

Las principales conclusiones del diagnóstico realizado a la situación actual en el país, respecto a la generación y disposición de BFU son las siguientes:

- Anualmente se generan aproximadamente 1.5 millones de BFU, equivalente a casi 25,000 toneladas o aproximadamente 0.09 [BFU/habitante-año].
- En Chile, aproximadamente el 7% de los BFU se valoriza (3% energéticamente y 4% reciclaje) y el 3% se dispone en rellenos de seguridad. Alrededor del 42% se exporta y el 48% de los BFU tiene un “destino desconocido”.
- Los principales impactos ambientales se generan durante la etapa de uso de las baterías, seguido por la etapa de eliminación de las BFU, y se relacionan con las emisiones de CO₂ (cambio climático) y el uso de energía.
- El sector informal juega un rol importante en la recuperación o posterior valorización de las BFU, dado el elevado precio del plomo a nivel nacional e internacional. No obstante,

como se trata de un residuo peligroso, existen riesgos para la salud de las personas durante su manipulación.

- Existe una percepción y actitud positiva de parte de los productores, importadores y consumidores acerca de la implementación de la REP.
- Existen iniciativas de recuperación de los BFU por parte de los principales productores y de gestores de residuos, que potenciarían la implementación de la REP.

3.5.3.6 Evaluación de los impactos

Tomando en cuenta las consideraciones y supuestos planteados, se determinaron los siguientes escenarios y metas de recuperación para la evaluación de los impactos:

Tabla 3-24 Balance de masa de las BFU, según escenario y metas de recuperación

BFU	Valor base	Escenario 1		Escenario 2	
	2008	2015	2020	2015	2020
Datos base					
Total BFU (ton)	26,100	32,454	39,486	32,454	39,486
Recuperación proyectada					
Meta de recuperación (%)	-	60	75	70	90
BFU recogidos (N°)	800,000	1,145,500	1,742,050	1,336,360	2,090,500
BFU recogido (ton)	13,608	19,480	29,620	22,720	35,540
Destino desconocido (ton)	12,492	12,974	9,866	9,734	3,946
Destinos supuestos de BFU recogido					
Plantas de reciclaje existentes (ton)	1,816	19,480	29,620	22,720	35,540
Recuperación de principales materias primas secundarias					
Plomo recuperado (ton)	690	10,130	15,402	11,814	18,481
Plástico recuperado (ton)	0	1,753	2,666	2,045	3,199
Residuos a relleno seguridad (ton)	1,126	3,896	5,924	4,544	7,108
Residuos a relleno industrial (ton)	0	3,701	5,628	4,317	6,753

Fuente: Ecoing, 2011

Aplicando los datos del balance de masa en el análisis del ciclo de vida de las BFU, se obtienen los siguientes resultados para energía (GJ), emisión de dióxido de carbono (ton CO₂) y la generación de productos y residuos (ton) por tonelada de las BFU recuperados:

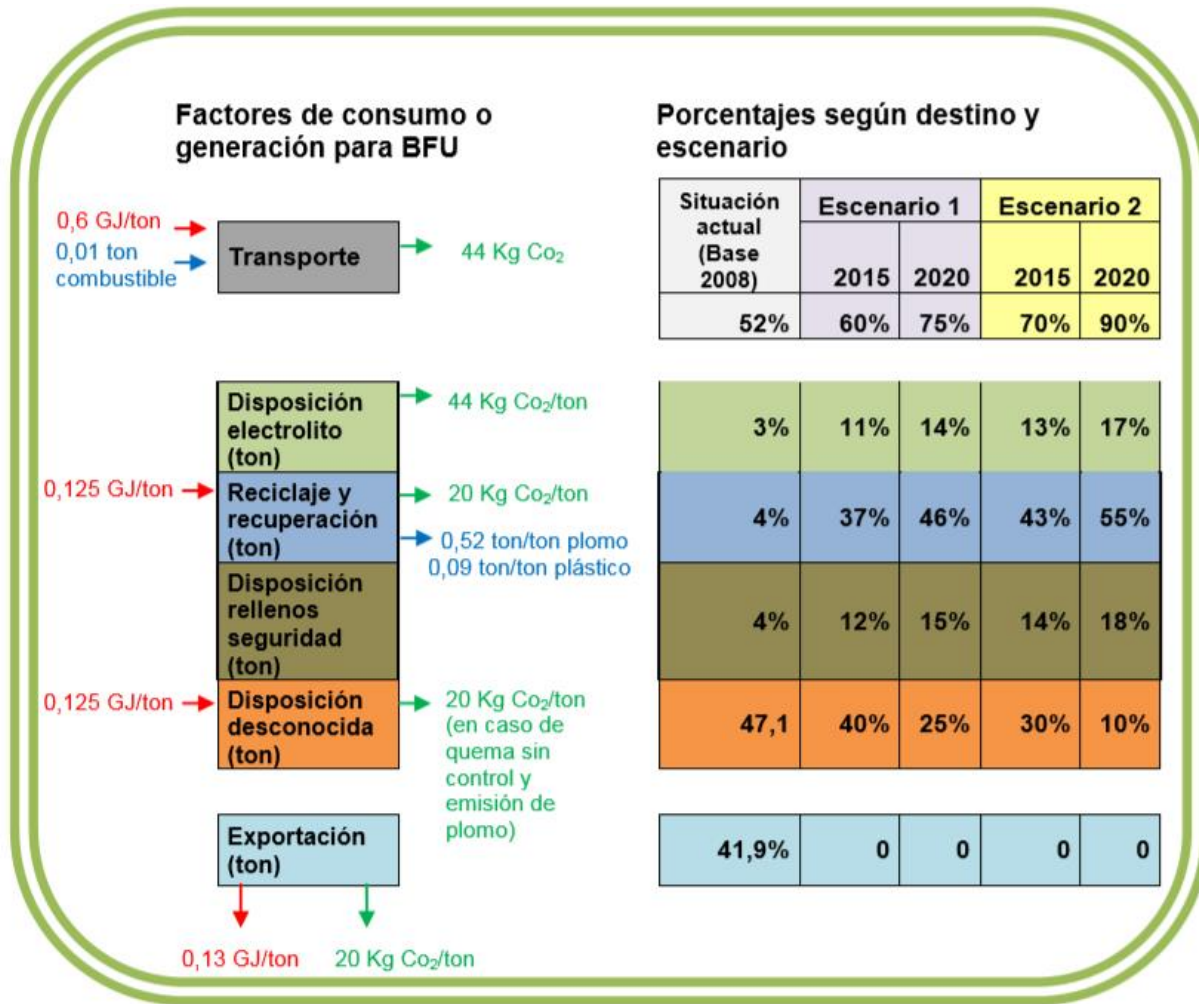


Figura 3-6 Análisis de ciclo de vida de las BFU

Fuente: Ecoing, 2011

Respecto a la emisión de dióxido de carbono relacionado con la disposición final de las BFU en destinos desconocidos, se aplica el supuesto que estas son quemadas sin control.

De acuerdo al análisis anterior, se proyecta un cambio importante en el sistema de eliminación actual de las BFU, rebajándose el “destino desconocido” (47%) más la actualmente exportada (42%), es decir un 89%, a no más de un 25% en el escenario 1 y a no más de un 10% en el escenario 2. Además, se reintegra una cantidad importante de plomo y plástico al mercado de materias primas, como se puede observar en la siguiente Tabla 3-25.

Tabla 3-25 Recuperación de materia prima secundaria por valorización de BFU

BFU	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Reciclaje (ton)	1,326	19,480	29,620	22,720	35,540
Plomo recuperado(ton)	690	10,130	15,402	11,814	18,481
Plástico recuperado (ton)	0	1,753	2,666	2,045	3,199

Fuente: Ecoing, 2011

Respecto a la variación en el uso de energía, el proceso de recuperación y reciclaje de plomo permite ahorrar 9.87 GJ por cada tonelada que es retornada al ciclo de uso. Al año 2020, para el escenario 1 implicaría un ahorro de casi 150,000 GJ y 180,000 GJ en el escenario 2.

Tabla 3-26 Ahorro de energía por valorización de BFU

BFU	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Ahorro indirecto de energía por recuperación de plomo (GJ)	5,063	99,979	152,022	116,608	182,405

Fuente: Ecoing, 2011

Respecto a la variación en la generación de dióxido de carbono, El reciclaje de plomo permite la reducción de 1,610 kg de CO₂ por tonelada. Para el escenario 1 esto implica reducir 24,800 toneladas de CO₂ al año 2020 y para el escenario 29,700 toneladas de CO₂.

Tabla 3-27 Reducción de emisiones de CO2 por valorización de BFU

Baterías	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Reducción de emisiones indirectar de CO2 por recuperación de plomo (ton)	1,111	16,309	24,798	19,021	29,754

Fuente: Ecoing, 2011

Respecto a otros impactos ambientales, la implementación de la REP disminuye además los siguientes impactos ambientales.

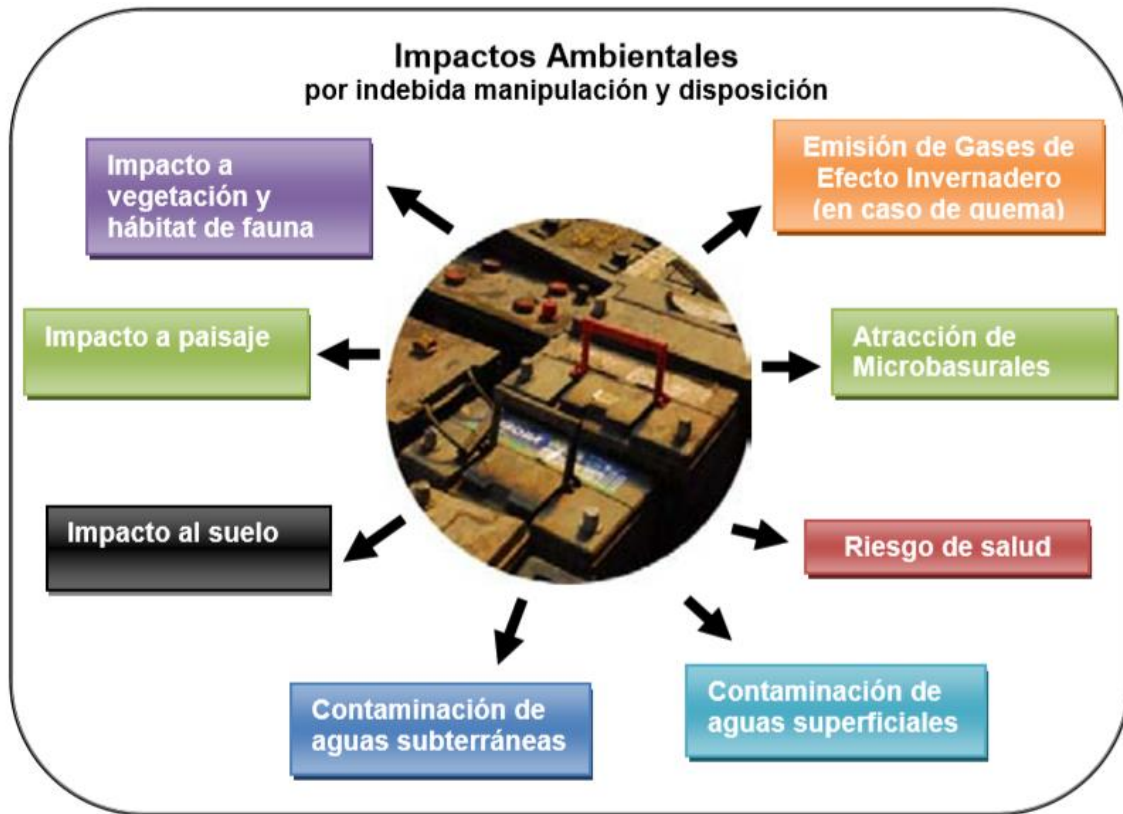


Figura 3-7 Reducción de impactos ambientales por implementación de la REP

Fuente: Ecoing, 2011

3.5.3.7 Resumen de los impactos

En términos generales se puede concluir que la implementación de la REP bajo los escenarios evaluados es factible de realizar y que los impactos resultantes se evalúan como positivos. El resumen se presenta en la Tabla 3-28.

Tabla 3-28 Resumen de impactos por escenario al año 2020

Impactos	Unidad/Año	Escenario 1 Año 2020	Escenario 2 Año 2020
Datos base			
Meta de recuperación	%	75	90
Meta de recuperación	ton	29,620	35,540
Capacidad neta requerida de plantas	ton	Plantas existentes	Plantas existentes
Impactos ambientales			
Recuperación de materia prima: Plomo	ton	15,402	18,461
Recuperación de materia prima: Plástico	ton	2,666	3,199
Ahorro indirecto de energía (producción desde material reciclado)	GJ	152,022	182,405
Reducción indirecta de Gases de Efecto Invernadero (producción desde material reciclado)	ton CO ₂ eq	24,798	29,754
Impactos positivos (no cuantificables)		Reducción de microbasurales, impactos a suelo, agua, vegetación, fauna y paisaje, riesgos a la salud	
Impactos negativos (no cuantificables)		No se detecta	
Impactos sociales			
Empleos brutos generados	N°	178	208
Impactos positivos (no cuantificables)	Fortalecimiento del mercado, aumento renta empresarial, creación de empleo, mejoras laborales, aporte al PIB, adecuado manejo de residuos garantizado, reducción riesgo a salud, imagen país		
Impactos negativos / Costos socioeconómicos (no cuantificables)	Compromiso de entrega del consumidor (cambio de hábito), acopio autorizado para residuos peligrosos, costos operacionales de municipios, esfuerzo de educación ambiental, capacitación de personal, dependencia del mercado de materiales recuperados, riesgos financieros.		
Impactos económicos			
Inversión requerida en plantas de reciclaje	MM\$	Capacidad existente	Capacidad existente
Aporte al PIB (MM\$)	MM\$	1,360	1,555
Aumento en precio del producto nuevo	\$	0	0

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Traduciendo las cifras de la evaluación de impactos en elementos más concretos, se puede decir que la aplicación de la REP respecto a las BFU en condiciones del Escenario 1 al año 2020, implicaría anualmente (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- Reducir en más de 3,300 m³ las baterías acumuladas y manejadas inadecuadamente, lo que equivale a la cancha de fútbol del Estadio Nacional llena con baterías a una altura de

casi un metro. Lo anterior disminuye considerablemente los impactos por riesgo de contaminación de aguas y suelos, riesgo a la salud y atracción de microbasurales.

- Dejar de producir más de 15,000 toneladas de plomo con todos los costos asociados que tiene la extracción minera, su refinación, producción y transporte.
- Iniciar la recuperación del plástico de las baterías desde 0 a más de 2,500 toneladas anuales.
- Reducir el consumo de energía convencional en 150,000 GJ hasta el año 2020, equivalente al consumo de cerca de 3,84 millones de litros de combustible o a lo que consumen más de 1,500 automóviles en un año.
- Reducir la emisión de CO₂ en 24,800 toneladas hasta el año 2020, equivalente a lo que consumen casi 83,000 árboles adultos.
- Generar 178 nuevas fuentes permanentes de trabajo, de las cuales al menos el 70% es trabajo calificado.
- Aportar desde \$1,360 millones de pesos por año al PIB de Chile.

4. Análisis de estudios anteriores

En la siguiente sección, se presenta un análisis de los resultados obtenidos en los estudios revisados previamente, para la caracterización del mercado de baterías en Chile. En los anexos digitales del presente informe⁶ se presenta una sistematización de la información disponible en los antecedentes revisados. Los parámetros recolectados en los antecedentes se presentan en la Tabla 4-1, observando que se cubren diferentes aristas del mercado de baterías nacional. En la base de datos se presentan los resultados con el mayor nivel de detalle presentados en el informe, esto incluye desagregaciones regionales, por sector, tipo de batería entre otros. En total se recabaron más de 800 valores presentados en los estudios previos.

Tabla 4-1 Parámetros incluidos en BD de sistematización de información en antecedentes

Tipo Parámetro	Parámetro
Mercado Baterías	Importaciones de baterías
	Exportaciones de baterías
	Ingreso neto de baterías
	Distribuidores y comercializadores de baterías
	Vehículos en el parque automotriz
Uso Baterías	Consumo de baterías
	Consumo de baterías (no plomo)
BFU	BFU Generadas
	BFU Generadas en minería
	Generación bruta de BFU
	Generación de BFU
	Generación de BFU (no plomo)
	Factor de generación de BFU
Gestión BFU	Capacidad de reciclaje de BFU
	Preparación para reutilización (regeneración) de BFU
	Participación en mercado de Gestores de BFU
	Participación en la generación de BFU
	Precio de compra de BFU
	Precio de transporte de BFU
Beneficios	Beneficio económico de Ley REP
	Valorización de BFU
	Valorización energética de BFU
	Reciclaje de plomo
	Reciclaje de plomo de BFU
	Precio del Carbono en Chile
	Precio plomo
	Precio Polipropileno reciclado
Precio Polipropileno virgen	

Fuente: Elaboración propia

⁶ En particular en el Anexo 1: BD Línea Base

4.1 Importaciones de baterías

A continuación, se analiza la metodología y resultados obtenidos por cada estudio para las importaciones de baterías.

4.1.1 Metodología de cada estudio

En la Tabla 4-2 se presenta la metodología utilizada por cada estudio para calcular las importaciones de baterías. Se ve que en los estudios de 2017 se utilizaron las BD del Servicio Nacional de Aduanas, mientras que en el estudio de Ecoing se consideró que los ingresos de baterías equivalen a las baterías que requieren ser reemplazadas en el parque vehicular.

Tabla 4-2 Metodologías para importaciones de baterías de estudios revisados

Estudio	Clasificación de baterías	Composición	Origen de los datos	Descripción
GESCAM, 2017	Arranque	Plomo	Aduanas	Se procesaron las BD del Servicio Nacional de Aduanas, considerando los códigos arancelarios del capítulo 8507 para calcular las baterías importadas. Para proyectar este dato se utilizó el crecimiento del PIB según el Banco Central.
	Tracción	Plomo		
	Estacionaria	Plomo		
	Otros usos	Sin Plomo (1)		
EY, 2017	Sin desagregación	Plomo y sin plomo (2)	Aduanas	Se procesaron las BD del Servicio Nacional de Aduanas, considerando los códigos arancelarios del capítulo 8507 para calcular las baterías importadas.
Ecoing, 2011	Arranque	Plomo	Parque vehicular y tasa de recambio	Se consideraron los registros del parque vehicular y un recambio anual de las baterías de un 50%, obteniéndose la cantidad de baterías requeridas por año. Para proyectar este dato se consideró un crecimiento anual de 4% del mercado de baterías.

(1) No cuantificadas.

(2) No queda claro, puesto que al detallar los códigos arancelarios considerados para la estimación corresponden únicamente a baterías de plomo, sin embargo, en la descripción de los códigos plantean que se incluyen "los demás acumuladores"

Fuente: Elaboración propia

Para este estudio, se considera que la forma más efectiva de estimar el ingreso de baterías es mediante el trabajo con las BD de Aduanas, de la forma más desagregada posible. En este sentido, el estudio de GESCAM presenta la metodología más adecuada dentro de los estudios revisados. Para el presente estudio, se utilizan las BD del Servicio Nacional de Aduanas y se realizan procesos de clasificación de datos para obtener mayor desagregación en los datos y permitir trazabilidad en los resultados presentados.

Las empresas reconocidas como distribuidores y comercializadores de baterías, y su distribución en las principales ciudades del país, se encuentran en el estudio de GESCAM y fueron obtenidas en base a información de la página web de cada distribuidor, los resultados se presentan en la Tabla 4-4.

4.1.2 Resultados de cada estudio

En la Tabla 4-3 se muestran las importaciones de baterías calculadas por cada estudio.

Tabla 4-3 Importaciones de baterías según estudios revisados.

Año	Estudio	Dato proyectado	Base de proyección	Importaciones de baterías [unidades]
2002	RYA, 2009	No	-	908,141
2003	RYA, 2009	No	-	969,278
2004	RYA, 2009	No	-	1,111,640
2005	RYA, 2009	No	-	1,304,788
2006	RYA, 2009	No	-	1,493,469
2007	RYA, 2009	No	-	1,442,167
2008	RYA, 2009	No	-	1,546,303
2011	EY, 2017	No	-	3,292,833
2012	EY, 2017	No	-	3,121,951
2013	EY, 2017	No	-	3,829,154
2014	EY, 2017	No	-	2,979,673
2015	EY, 2017	No	-	3,501,818
2016	GESCAM, 2017	No	-	2,202,762
2017	GESCAM, 2017	Si	PIB 1.75%	2,241,310
2018	GESCAM, 2017	Si	PIB 3.25%	2,314,153
2019	GESCAM, 2017	Si	PIB 3.5%	2,395,148

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, se presenta un constante crecimiento en las importaciones de baterías desde el comienzo de la serie. El crecimiento ha sido gradual, sin embargo, los datos proporcionados por el estudio de EY el 2017 están por sobre las estimaciones presentadas por los otros estudios. Lo anterior se debe a que en dicho estudio se consideraron todas las baterías importadas, incluyendo las que no son de Plomo, por lo que el total de importaciones es mayor.

Los actores involucrados en el mercado de baterías corresponden principalmente a los importadores de baterías, dado que no existen productores de baterías en Chile. Por otro lado, la única planta de tratamiento de baterías fuera de uso corresponde a RAM, sin embargo, los actores que participan de la recolección de baterías son en parte informales y en estudios revisados no se tiene información específica sobre la identidad y participación de todos. Una lista de las empresas recolectoras de residuos se presenta en la Sección 4.2.2 en la Tabla 4-12.

Las principales empresas distribuidoras y comercializadoras de baterías y la cantidad de sucursales que presentan en las principales ciudades del país se presentan en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Distribuidores y Comercializadores de baterías en Chile

Distribuidora	Sucursales	Cantidad de sucursales	Total
RTC	Iquique	2	5
	Antofagasta	1	
	Santiago	2	
Todo Batería	Santiago	8	10
	Chillán	1	
	Puerto Montt	1	
Baterías Chile	Santiago	1	1
Doctor Batería	Santiago	1	1
Baterías a Domicilio	Santiago	1	1
Baterías León	Santiago	4	9
	Antofagasta	1	
	Viña del Mar	1	
	Rancagua	1	
	Concepción	1	
	Puerto Montt	1	
Full Baterías	Santiago	4	5
	Concepción	1	
Cyclon Baterías	Santiago	7	8
	Viña del Mar	1	
Central Baterías	Santiago	1	1
Baterías Brandt	Santiago	1	1
Baterías 24 Full	Santiago	1	1
		Total	43

Fuente: Tabla 33, p.90 (GESCAM, 2017)

4.2 Generación y disposición de BFU

4.2.1 Metodología de cada estudio

Otra variable estudiada en gran parte de los estudios es la generación de BFU producida por el parque vehicular del país. Las BFU provienen del recambio de baterías y equipos que agotan su vida útil y se basan en supuestos respecto al tamaño, cantidad, y vida útil de las baterías de los vehículos del país. En otros casos, la generación de BFU se ha calculado bajo una tasa porcentual de recambio de las baterías del parque vehicular y proyecciones de crecimiento del mercado.

La metodología utilizada por cada estudio para el cálculo de la generación de BFU provenientes del parque vehicular se muestra en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5 Metodología para cálculo de generación de BFU por parte del parque vehicular

Estudio	Metodología de cálculo de BFU	Categorías	Vida útil de la batería [años]	Peso promedio [kg]	Factor de generación [unidades /año]	Factor de generación [kg/año]
GESCAM, 2017	Se considera que la cantidad de baterías y su vida útil dependen del tipo de vehículo y su uso, por lo que se utilizan dos tamaños de batería (Caja 27 y Caja 42), con un peso correspondiente, y se determina la vida útil acorde al uso de cada tipo de vehículo. Utilizando estos datos se obtiene el factor de generación de BFU en unidades por año y en peso por año. Se calcula la generación total de BFU asociando los factores de generación con los datos del parque vehicular del INE. Los datos del parque vehicular se encuentran clasificados por región, lo que permite una distribución geográfica de la generación de BFU.	Vehículos Livianos Uso Particular (Caja 42)	3	10.5	0.33	3.5
		Vehículos Livianos Uso Particular (Caja 27)	3	17	0.33	5.67
		Vehículos Livianos Uso Laboral (Caja 42)	2	10.5	0.5	5.25
		Vehículos Livianos Uso Laboral (Caja 27)	2	17	0.5	8.5
		Vehículos Transporte Pasajeros	2	17	1.0	17.0
		Vehículos de Transporte de Carga	2	17	1.0	17.0
		Tractor, vehículos a tracción	2	38	0.5	19.0
EY, 2017	Se define una vida útil promedio de 3 años. Para el caso de las baterías de plomo estacionarias esta vida útil corresponde aproximadamente a 8 años. El peso promedio de cada batería se obtiene ponderando la demanda de cada tipo de vehículo con el peso promedio asignado a su batería, obteniéndose un peso promedio para todas las baterías (Tabla 3-16). La	Baterías de vehículos	3	19.3	0.33	6.4

Estudio	Metodología de cálculo de BFU	Categorías	Vida útil de la batería [años]	Peso promedio [kg]	Factor de generación [unidades /año]	Factor de generación [kg/año]
	generación de BFU se obtiene multiplicando unidades de baterías importadas por el peso promedio, es decir, se asume que las unidades de BFU generadas equivalen a las baterías importadas por año.	Baterías estacionarias	8	19.3	0.13	2.4
Ecoing, 2011	La generación de BFU en este estudio se presenta basada en los porcentajes que maneja el consultor respecto al destino de las baterías. Se considera que la cantidad total de BFU generadas equivale a la cantidad de baterías que se recambian desde el parque vehicular. Del total, un 40% es exportado a países vecinos, 50% desaparece en destinos desconocidos y el 10% es manejado con Reciclaje, Valorización energética o rellenos de seguridad. Este valor, calculado para 2008, se proyecta para 2015 y 2020 basado en las proyecciones de crecimiento del parque vehicular.	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

La metodología utilizada por cada estudio para el cálculo de la generación de BFU provenientes del sector minero e industrial se muestra en la Tabla 4-7.

Tabla 4-6 Metodología para cálculo de generación de BFU por parte del sector minero e industrial

Estudio	Sector	Metodología de cálculo de BFU
GESCAM, 2017	Minero	Las BFU asociadas al sector minero se obtienen de los datos de la empresa DURACELL que sitúa en un 7% las importaciones de baterías para el sector minero. Con este valor y los datos de importaciones para 2016 obtenidos por AMPHOS 21, se obtienen las toneladas de BFU generadas, al considerar un promedio de 20kg por batería. Para la distribución regional, se consideran las toneladas métricas de material fino procesado por cada región, asignando una cantidad de BFU por TMF.
	Industrial	En la planta RAM se reporta que se procesan 28.800 toneladas de BFU anuales, de las cuales un 10% corresponde al sector industrial. Utilizando los datos de RAM como límite inferior y las cifras obtenidas por AMPHOS21 en 2015 como límite superior, se obtiene un promedio para calcular las BFU generadas por el sector industrial.
AMPHOS21, 2015	Industrial	En base a datos de Aduanas se estimó que se importaron 114,530 baterías de uso industrial. Considerando un peso promedio de 120kg y una vida útil de 8 años se obtiene la generación de BFU del sector industrial.

Fuente: Elaboración propia

El estudio de GESCAM es el único que presenta la participación por empresa en la generación de BFU, del mismo modo se reconocen los gestores de BFU y la participación de cada uno, estos datos fueron entregados por RECIMAT (planta RAM) en entrevistas con GESCAM. Los datos se presentan en la Tabla 4-12 y la Tabla 4-12.

4.2.2 Resultados de cada estudio

Los resultados para la generación de BFU por parte del parque vehicular se presenta en la Tabla 4-7. Se destaca que mientras los estudios de EY y GESCAM presentan series de tiempo, Ecoing realiza estimaciones para años puntuales, se observa que aun así sus proyecciones están dentro del orden de las estimaciones de los otros estudios.

Tabla 4-7 Generación de BFU [unidades y toneladas] según estudios consultados.

Estudio	Dato Proyectado	Base de Proyección	Año	Generación de BFU [unidades]	Generación de BFU [toneladas]
EY, 2017	No	-	2007	1,173,640	22,651
EY, 2017	No	-	2008	1,180,821	22,790
Ecoing, MMA & GIZ, 2011	Si	Incremento de 4% anual	2008	1,450,000	
EY, 2017	No	-	2009	1,317,468	25,427
EY, 2017	No	-	2010	1,464,273	28,260
EY, 2017	No	-	2011	1,381,502	26,663
EY, 2017	No	-	2012	1,406,155	27,139
EY, 2017	No	-	2013	1,435,619	27,707
EY, 2017	No	-	2014	1,639,203	32,505
Ecoing, MMA & GIZ, 2011	Si	Incremento de 4% anual	2015	1,909,900	
GESCAM, 2017	No	-	2016	1,818,344	23,749
GESCAM, 2017	Si	PIB 1.75%	2017	1,847,095	24,165
GESCAM, 2017	Si	PIB 3.25%	2018	1,905,043	24,950
GESCAM, 2017	Si	PIB 3.5%	2019	1,971,719	25,824
Ecoing, MMA & GIZ, 2011	Si	Incremento de 4% anual	2020	2,323,000	

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que al traducir las unidades de BFU en toneladas la variación es distinta para cada estudio, lo que se debe a los supuestos utilizados para calcular el peso de cada batería.

La distribución geográfica de la generación de BFU se presenta únicamente en el estudio de GESCAM, debido a que se utiliza el parque vehicular del INE, que presenta los datos desagregados por región. La generación de BFU en toneladas por región del país se presenta en la Tabla 4-8.

Tabla 4-8 Generación de BFU, por región, según tipo de vehículo y actividad, año 2016 y Proyección 2017-2019 [ton/año]

Región	Automóviles livianos				Transporte de personas (superior a 160 Ah)	Transporte de carga (superior a 160 Ah)	Vehículos Tracción, Agrícolas y Otros 40-75 Ah	BFU Año 2016 [ton/año]	Proyección [ton/año]		
	Uso Particular		Uso Laboral						2017	2018	2019
	Caja 42 (55 Ah)	Caja 27 (80-90 Ah)	Caja 42 (55 Ah)	Caja 27 (80-90 Ah)							
Factor Generación (kg/año)	3.5	5.67	5.3	8.5	17.0	17.0	19.0				
I de Tarapacá	317	110	21	7	21	79	7	562	572	591	612
II de Antofagasta	350	230	28	19	54	174	23	878	893	922	954
III de Atacama	174	156	14	6	27	140	17	534	543	561	581
IV de Coquimbo	442	327	30	14	36	147	17	1,013	1,013	1,064	1,101
V de Valparaíso	1,243	658	61	24	107	312	34	2,439	2,439	2,562	2,652
VI de O'Higgins	587	416	28	25	68	221	43	1,384	1,384	1,454	1,505
VII del Maule	681	578	23	17	66	285	66	1,717	1,717	1,804	1,867
VIII del Biobío	1,123	889	38	36	126	398	84	2,692	2,692	2,828	2,927
IX de la Araucanía	423	443	19	15	53	169	42	1,164	1,164	1,223	1,266
X de Los Lagos	429	395	27	13	58	184	37	1,142	1,142	1,200	1,242
XI de Aysén	72	74	3	4	5	33	4	196	196	206	213
XII de Magallanes y La Antártida	160	81	12	7	9	48	13	330	330	346	359
XIII Metropolitana	4,969	2,157	226	125	258	1,023	121	8,878	8,878	9,327	9,654
XIV de Los Ríos	181	159	10	7	22	74	19	471	471	495	512
XV de Arica y Parinacota	198	63	17	4	11	48	8	349	349	366	379
Total País	11,348	6,734	560	322	917	3,336	532	23,749	24,165	24,950	25,824

Fuente: Tabla 37, p.97 (GESCAM, 2017)

Por otro lado, las BFU producidas por el sector minero, calculadas en el estudio de GESCAM, se muestran en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9 Generación de BFU [toneladas] en minería.

Estudio	Dato Proyectado	Base de Proyección	Año	Generación de BFU en minería [ton]
GESCAM, 2017	Si	PIB 1.60%	2016	2,446
GESCAM, 2017	Si	PIB 1.75%	2017	2,489
GESCAM, 2017	Si	PIB 3.25%	2018	2,525
GESCAM, 2017	Si	PIB 3.5%	2019	2,614

Fuente: Elaboración propia

El destino de las BFU generadas es una de las variables más difíciles de estimar, debido a la alta incertidumbre asociada a falta de información y gran cantidad de actores informales en la recolección de las BFU. En el estudio de GreenLab 2018, se realizaron comparaciones entre los destinos de las BFU planteados por cada estudio. Las comparaciones se realizaron para el año 2008 y 2016 con los estudios realizados para cada año. Los destinos de las BFU se presentan en la Tabla 4-10 y Tabla 4-11.

Tabla 4-10 Estimaciones de destino de BFU según diferentes fuentes para el año 2008

Destino	MMA et al., 2011, fig. 9)	(Ecoing, 2011)		(Ingenieros Consultores RYA, 2009) ^b		(Ecoing, 2010)	
	Porcentaje	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas
TOTAL BFU	100%	100%	26,100	100%	33,194	100%	26,100
Valorización energética	3% ^a	3%	772			2.96%	772
Reciclaje de plomo y plástico	4%	4%	1,044			4%	1,044
Relleno de seguridad	4%	3.2%	859			3.29%	859
Exportación	41.9%	41.9%	10,933			41.89%	10,933
Desconocido	47.1%	47.9%	12,492	34.64%	11,500	47.86%	12,492

(a) Co-incineración de electrolito

(b) Calculado bajo el supuesto de vida útil promedio de 2 años y 18 kg de peso

Fuente: GreenLab, 2018

Tabla 4-11 Estimaciones de destino de BFU para el año 2016

Destino	Baterías Fuera de Uso					
	BFU vehicular		BFU Industrial		Total BFU	
	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas
Generación bruta BFU	100%	23,749	100%	13,418	100%	37,167
Prep. Reutilización (regeneración)	0.00%	-		S/I	0.00%	-
Reciclaje (plomo)	109%	25,920	21.46%	2,880	77.49%	28,800
Valorización energética	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-
Desconocido	-	-	78.54%	10,538	22.51%	8,367

(a) Esta categoría incluye las BFU de uso en minería

Fuente: GreenLab, 2018 en base a GESCAM, 2017

Se puede ver que el año 2008 la cantidad de BFU con destino desconocido alcanza valores cercanos al 50%, mientras que el año 2016 el destino desconocido corresponde al 22.5%. Esto se debe principalmente a que el 2010 fue dictado el Decreto N° 2 del Ministerio de Salud (Ministerio de Salud y Subsecretaría de Salud Pública, 2010) que, siguiendo los lineamientos del Convenio de Basilea, prohíbe el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, en este caso, baterías de plomo usadas, desde Chile a otros países no OCDE, mientras exista capacidad de procesamiento en Chile (previamente se exportaban BFU a Venezuela, Perú y Corea del Sur) (GESCAM, 2017). Por este motivo el gran volumen de baterías exportadas se redireccionó a la planta de reciclaje de plomo existente (que nunca ha funcionado a más de 50% de su capacidad autorizada).

En la Tabla 4-12 se presentan los seis gestores principales que participan en la recolección de BFU, según los datos de GESCAM obtenidos de RECIMAT.

Tabla 4-12 Participación en el mercado de gestores de BFU

Gestor de residuos	Participación en el mercado (%)
ECOVALOR	14
EMASA	30
METALES	13
MOLINA	10
PROMETAL	5
RECIMAT	28
Total	100

Fuente: Tabla 62, p.153 (GESCAM, 2017)

En la Tabla 4-13 se presentan las empresas para las cuales se reconoce su participación en la generación de BFU, según datos entregados por RECIMAT.

Tabla 4-13 Participación en la generación de BFU

Empresa generadora	Participación en la generación de BFU (%)
Alsacia	2
Degraf	10
Doctor Batería	6
Hidronor	12
Otros	39
Redbus	3
Subus	8
Turbus	20
Total	100

Fuente: Tabla 61, p.153 (GESCAM, 2017)

5. Caracterización del mercado actual

El mercado de baterías se compone por las baterías que ingresan al país como baterías por separado, también referido como baterías a granel, y los equipos que incluyen baterías. La naturaleza de los equipos que utilizan baterías es muy diversa, encontrándose equipos como vehículos para transporte de personas, vehículos de carga, maquinaria industrial, equipamiento de alumbrado eléctrico, alarmas, equipo médico, celdas de energía fotovoltaica, entre muchos otros. Sin embargo, la mayor cantidad de baterías que ingresan al país lo hacen al interior de vehículos, de diverso tipo. En particular, los vehículos para transporte de personas y los vehículos para transporte de cargas corresponden a una gran parte de los equipos con baterías puestos en el mercado.

Para caracterizar el mercado actual, se abordó desde dos frentes: el mercado de baterías y el mercado de equipos que utilizan baterías. Se debe considerar que la cantidad total de baterías que ingresan al mercado corresponden a la suma de las baterías que ingresan a granel y las baterías que se incluyen en equipos. Del mismo modo, la generación de BFU se debe al recambio de baterías en equipos que pueden ser vehículos, maquinarias de uso industrial, y aparatos que utilicen baterías estacionarias.

En la Figura 5-1 se presenta un esquema de los componentes del mercado, para ilustrar de forma clara los tipos y orígenes de las baterías que ingresan al mercado.

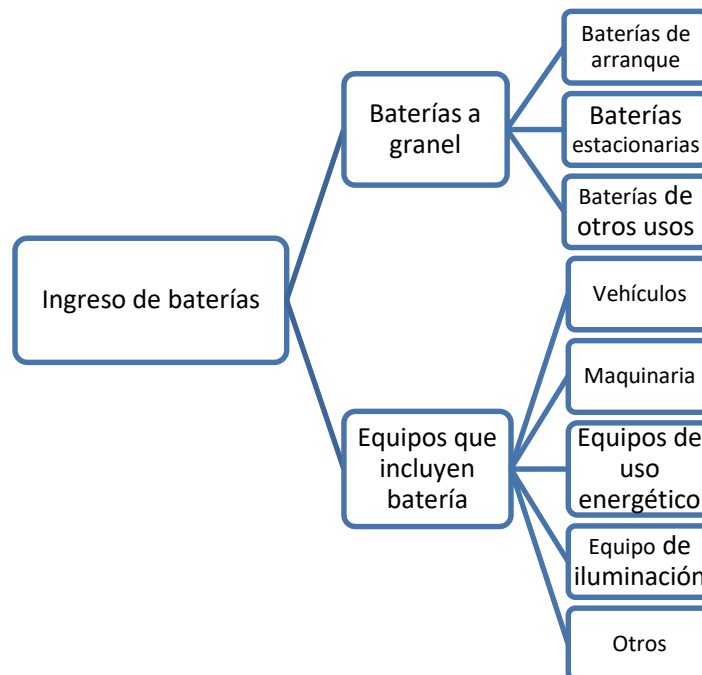


Figura 5-1 Composición del mercado de baterías que ingresan al país

Fuente: Elaboración propia

Además, para ambos componentes del mercado se trabajaron los datos con enfoques *bottom-up* y *top-down*, de modo de lograr mayor trazabilidad en los datos, y comparar los resultados encontrados. Las ventajas de un enfoque *bottom-up* radican en el detalle que permite en el análisis de datos, la particularidad en las variables y parámetros considerados, y la trazabilidad en la obtención de resultados. Por otro lado, un enfoque *top-down* es menos intensivo en el uso de información, sin embargo, se basa en información ya disponible y permite conocer el valor esperado de forma preliminar. Utilizando ambos enfoques, se logra corroborar si los resultados obtenidos se encuentran en el orden esperado y si se adecuan a los escenarios trabajados.

5.1 Mercado de baterías

En el mercado de baterías se consideran las bases de datos de importaciones de baterías a granel. Además, se trabajó con los datos del Parque Vehicular del INE para la estimar la generación de BFU.

5.1.1 Importaciones de batería

En Chile, no se fabrican baterías de ningún tipo, por lo que las baterías que ingresan al mercado vienen exclusivamente de las importaciones. Para saber la cantidad de baterías que ingresan al país, se trabajó con las partidas del Servicio Nacional de Aduanas. Se identificaron los códigos arancelarios correspondientes a baterías, presentadas en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1 Categorías de baterías, según códigos arancelarios del Servicio Nacional de Aduanas

Código Arancelario	Descripción
8507.1010	Baterías de plomo para arranque de motores, que funcionen con electrolito líquido
8507.1090	Baterías de plomo para arranque de motores, las demás.
8507.2000	Baterías de plomo, las demás.
8507.3000	Baterías de níquel-cadmio
8507.4000	Baterías de níquel-hierro
8507.5000	Baterías de níquel-hidruro metálico
8507.6000	Baterías de iones de litio
8507.8000	Las demás baterías

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Servicio Nacional de Aduanas.

Al respecto cabe destacar que la definición de baterías utilizada por el servicio nacional de aduanas tiene que ver con la capacidad de recarga y no con el peso como la utilizada en el marco de la ley REP. En este sentido, el proceso de identificación de importaciones de baterías realizado en la presente sección representa una cota máxima del número de baterías importadas, dado que no se considera el límite de 2 kg establecida en la definición de la RE 409/2018 del MMA. El detalle considerando esta definición se presenta en el trabajo presentado en la Sección 7, donde se observa que para los códigos arancelarios de baterías sin plomo, la mayor parte corresponden a pilas secundarias y no a baterías, según la definición de la RE 409/2018 del MMA.

En primer lugar, se trabajaron las bases de datos de importaciones del Servicio Nacional de Aduanas de 2018 para filtrar los códigos arancelarios y separar únicamente los datos correspondientes a importaciones de baterías. Luego, se procesaron los datos, con el fin de realizar correcciones y calcular la cantidad real de baterías que ingresaron al país durante 2018.

Los datos de importaciones cuentan con una columna que indica la cantidad de mercancía presente en cada importación. Este dato, indica la cantidad de baterías presentes del tipo indicado por el código arancelario. En algunos casos, la cantidad señalada puede ser incorrecta, debido a las fuentes de error presentes en el proceso de importación, por lo tanto, se cuenta con instancias de observación para corregir los datos ingresados en las bases de datos.

Las observaciones del Servicio Nacional de Aduanas se encuentran en las columnas desarrolladas para este fin, presentes en las bases de datos trabajadas y denominadas columnas “CODOBS” y “DES OBS”. En la mayoría de los casos, los datos corregidos en las observaciones ya han sido actualizados en la columna de cantidad de mercancía, sin embargo, se pueden encontrar errores sin corregir en la base de datos. Con el fin de identificar el número correcto de baterías que ingresan al país, se llevó a cabo el procedimiento descrito a continuación.

Para identificar las filas en que la cantidad de mercancía indicada no es la correcta, se utilizaron los datos encontrados en otras columnas de la base de datos. En particular, la columna “CIF_ITEM” entrega el valor CIF (por el inglés Cost Insurance and Freight, o Costo, seguro y flete), valor que viene dado para cada cargamento de productos. Se puede notar que, al dividir el valor “CIF_ITEM” por la cantidad de mercancía “CANT_MERC” se obtiene un valor de “CIF unitario” al que se llamó “CIF_UNIT”. Se pudo ver que este valor tiene una diferencia relativamente baja con el dato “PRE_UNIT”, que corresponde al precio unitario de cada producto. La diferencia relativa entre ambos es llamada DIF% y corresponde a la diferencia absoluta porcentual entre el CIF_UNIT y el PRE_UNIT respecto al PRE_UNIT.

Para la gran mayoría de los datos, el valor “DIF%” fluctúa entre 0.01 y 0.1, por lo que, al ordenar los datos de esta columna en orden descendente, se pueden revisar las filas en que la diferencia es mayor al 10%. Se realizó una revisión de cada uno de estos datos, para encontrar aquellos en que las observaciones de cantidad de mercancía no habían sido corregidas en la columna “CANT_MERC”. La nueva cantidad de mercancía corregida se señala en la columna “CANT_CORREGIDA”.

Un diagrama de cómo se realizó la corrección se presenta en la Figura 5-2.

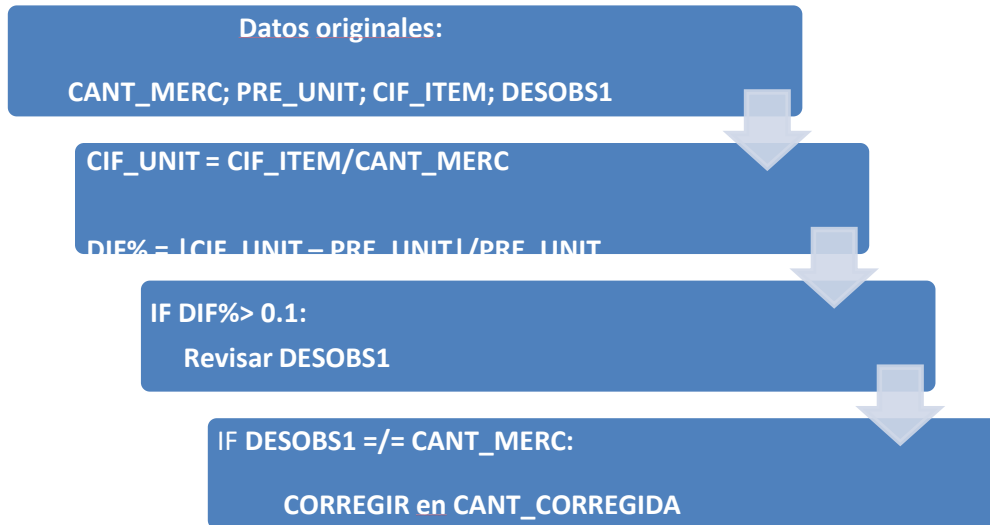


Figura 5-2 Corrección de cantidad de mercancía en base a CIF UNIT.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se encontró un patrón común para la mayoría de los datos sin corrección, en que la cantidad de mercancía contaba con números decimales, lo que no debería pasar, ya que se trata de unidades de baterías. Para encontrar los datos que contaban con decimales, se extrajo la parte decimal de cada cantidad de mercancía, y se ordenaron de forma descendente. Para la mayoría de los casos la parte decimal corresponde a 0, dado que no poseen parte decimal. Para todos los casos se corrigió la cantidad de mercancía basado en las observaciones, registrando la cantidad corregida de mercancía en la columna “CANT_CORREGIDA”.

Un diagrama de cómo se realizó la corrección se presenta en la Figura 5-3.

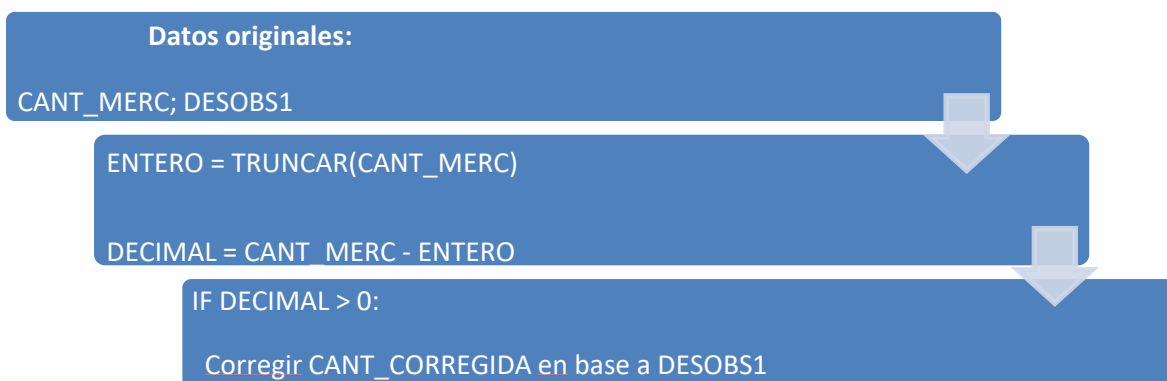


Figura 5-3 Corrección de cantidad de mercancía en base a parte decimal.

Fuente: Elaboración propia

Una vez corregidos los datos, se encontró la cantidad total de baterías importadas durante el 2018 y 2019, con y sin corrección. Los totales para cada código arancelario se presentan en la Tabla 5-2 y Tabla 5-3. En la Tabla 5-4 se presenta el ingreso de unidades de batería clasificado por composición de la batería, correspondiente a baterías de plomo y baterías de otros metales.

Tabla 5-2 Ingreso neto de unidades de baterías por código arancelario 2018.

Código Aranc.	Importaciones sin corrección	Importaciones con corrección	Exportaciones (1)	Ingreso neto de baterías
8507.1010	2,706,747	1,769,340	11,394	1,757,946
8507.1090	39,701	37,991	1,167	36,824
8507.2000	753,595	628,300	78,306	549,994
8507.3000	139,295	133,612	408	133,204
8507.4000	46,387	42,625	-	42,625
8507.5000	490,441	490,441	25,078	465,363
8507.6000	2,299,799	2,240,160	20,868	2,219,292
8507.8000	1,633,706	1,285,081	8,787	1,276,294
Total	8,109,671	6,627,550	146,008	6,481,542

(1) No se encontraron correcciones en los registros de exportaciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-3 Ingreso neto de unidades de baterías por código arancelario 2019

Código Aranc.	Importaciones sin corrección	Importaciones con corrección	Exportaciones (1)	Ingreso neto de baterías
8507.1010	1,957,331	1,712,826	15,692	1,697,134
8507.1090	57,689	57,137	215	56,922
8507.2000	883,598	530,467	75,292	455,175
8507.3000	120,247	120,247	156	120,091
8507.4000	44,102	26,581	12	26,569
8507.5000	430,010	430,010	4	430,006
8507.6000	2,272,660	2,183,433	12,894	2,170,539
8507.8000	45,362,830	4,731,671	14,369	4,717,302
Total	51,128,467	9,792,372	118,634	9,673,738

(1) No se encontraron correcciones en los registros de exportaciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-4 Ingreso neto de baterías [unidades] por composición.

Composición	Códigos Arancelarios	Ingreso neto de baterías 2018	Total	Ingreso neto de baterías 2019	Total
Con plomo	8507.1010	1,767,790	2,432,914	1,697,134	2,209,231
	8507.1090	36,824		56,922	
	8507.2000	628,300		455,175	
Sin plomo	8507.3000	133,204	4,136,762	120,091	7,464,507
	8507.4000	42,625		26,569	
	8507.5000	465,363		430,006	
	8507.6000	2,219,292		2,170,539	
	8507.8000	1,276,278		4,717,302	
Total		6,627,503	6,627,503	9,673,738	9,673,738

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las baterías sin plomo, los valores presentados representan una cota máxima, y al analizar con mayor detenimiento las importaciones se observa que gran parte de las importaciones observadas, corresponde a pilas secundarias y no a baterías, según la definición del RE 409/2018 del MMA. Para separar las importaciones de pilas y otros aparatos del total de importaciones, se utilizará el procedimiento de búsqueda asistida que se encuentra en desarrollo, la metodología del procedimiento de búsqueda asistida se presenta en la Sección 13.4 en Anexos. Este mismo procedimiento tiene como objetivo identificar el destino de las diferentes baterías, es decir, el uso especificado en su descripción, pudiendo ser de arranque de motores, estacionaria, entre otros.

En la Figura 5-4 se presentan los principales importadores de baterías de acuerdo a los datos de aduana. En la Figura se detallan los 14 importadores con importaciones superiores al 1% del total de importaciones de baterías del país. Estos 14 importadores, representan el 70% de las importaciones a pesar de que existen un total de 490 importadores. Dentro de estos destacan las importaciones de DERCO (18%), Bosch (12%), Automotores Gildemeister (12%) y Servicio Lucas Blandford (7%). Estos cuatro importadores representan en conjunto un 50% del total de importaciones de baterías en el año 2018.

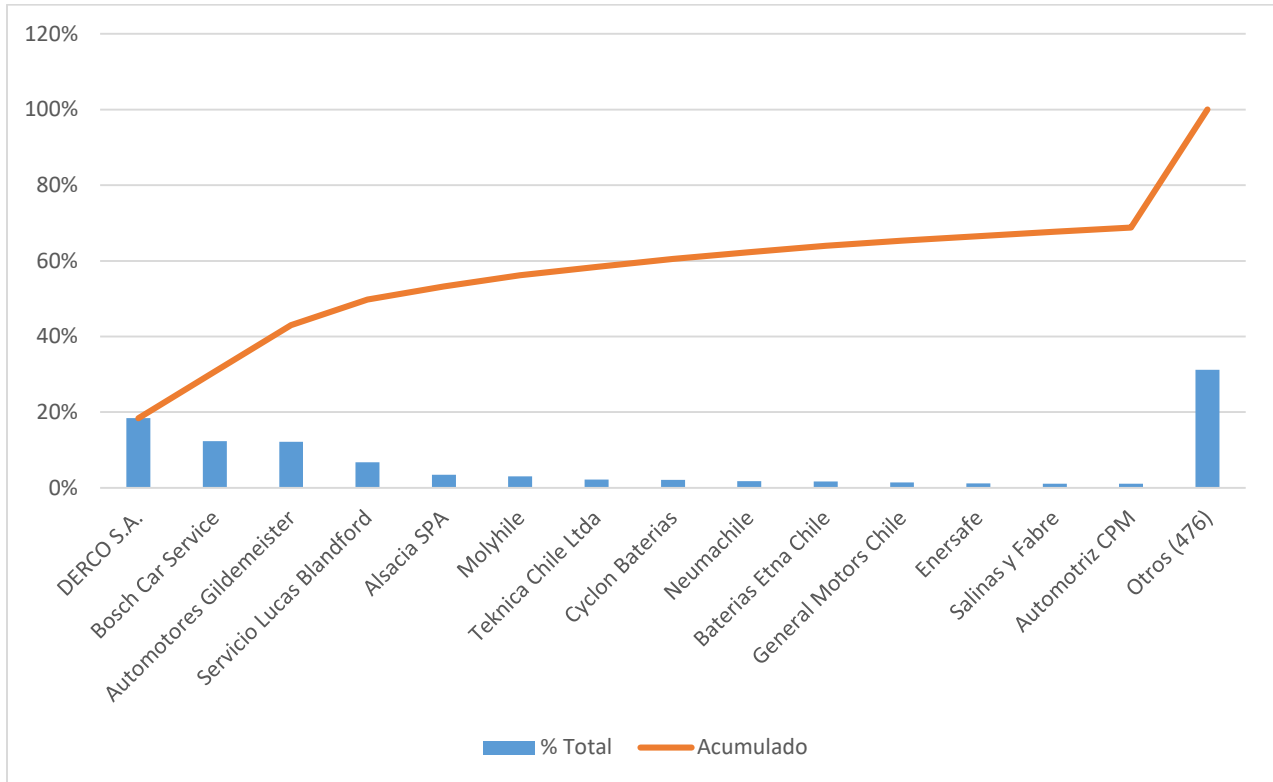


Figura 5-4 Importadores de baterías [% estimado en base a unidades importadas]

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Comparación con estudio previos

Como una forma de validar los resultados obtenidos se recurre a las estimaciones de las importaciones realizadas en estudios previos. Para ello se comparan con las metodologías y resultados de importaciones presentados en la Sección 4.1, los cuales se consolidan en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5 Ingreso neto de baterías [unidades] en estudios previos

Año	Estudio	Importaciones	Exportaciones	Ingreso neto
2002	RYA, 2009	908,141	8,153	899,988
2003	RYA, 2009	969,278	36,233	933,045
2004	RYA, 2009	1,111,640	14,036	1,097,604
2005	RYA, 2009	1,304,788	2,864	1,301,924
2006	RYA, 2009	1,493,469	2,403	1,491,066
2007	RYA, 2009	1,442,167	1,120	1,441,047
2008	RYA, 2009	1,546,303	1,819	1,544,484
2011	EY, 2017	3,292,833	103,254	3,189,579
2012	EY, 2017	3,121,951	28,893	3,093,058
2013	EY, 2017	3,829,154	4,387	3,824,767
2014	EY, 2017	2,979,673	22,926	2,956,747
2015	EY, 2017	3,501,818	25,915	3,475,903
2016	GESCAM, 2017	2,202,762	s.i. (1)	2,202,762

(1) No presenta información respecto a exportaciones. En general se observa que las exportaciones son una fracción bastante menor, en promedio 1.0% según los datos de años previos. En este sentido se considera que el ingreso neto es igual a las importaciones.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver, los valores totales de ingreso netos de baterías se encuentran por encima de los obtenidos en estudios anteriores. Estos resultados, tienen un orden distinto al analizar la metodología se observa que los tres estudios citados coinciden en considerar únicamente las baterías de plomo. De esta forma la comparación más correcta es considerando únicamente las baterías de plomo cuyos ingresos netos son de 2.34 y 2.21 millones de unidades para los años 2018 y 2019.

Se observa que dichos resultados son levemente más altos que la estimación de GESCAM para el año 2016 (2.20 millones), pero más bajos que los valores reportados por EY entre los años 2011 y 2015. Al respecto cabe destacar que los ingresos netos reportados por EY se escapan de los valores observados, tanto en las estimaciones del RYA, como las de GESCAM (ver Figura 5-5). Al respecto. En EY plantean que se consideran sólo los códigos arancelarios 8507.1010, 8507.1090 y 8507.2000, que corresponden a los códigos arancelarios relacionados con baterías de plomo, sin embargo, la descripción que se da de ellos no coincide con las descripciones del servicio de aduanas, dándose a entender que están incluyendo acumuladores sin plomo. Tampoco se presentan los resultados desagregados por código arancelario o por algún otro nivel de detalle que permita un análisis más detallado de que se está considerando y cuáles son las diferencias con el resto de los estudios.

Respecto a la comparación con RYA y GESCAM, los resultados obtenidos se encuentran en el orden de magnitud observado. Realizando un análisis de tendencia con estos estudios y las presentes estimaciones se obtiene una línea de tendencia que da cuenta de un crecimiento anual de los ingresos de 82,170 baterías de plomo por año, y un coeficiente de determinación alto ($R^2=0.964$).

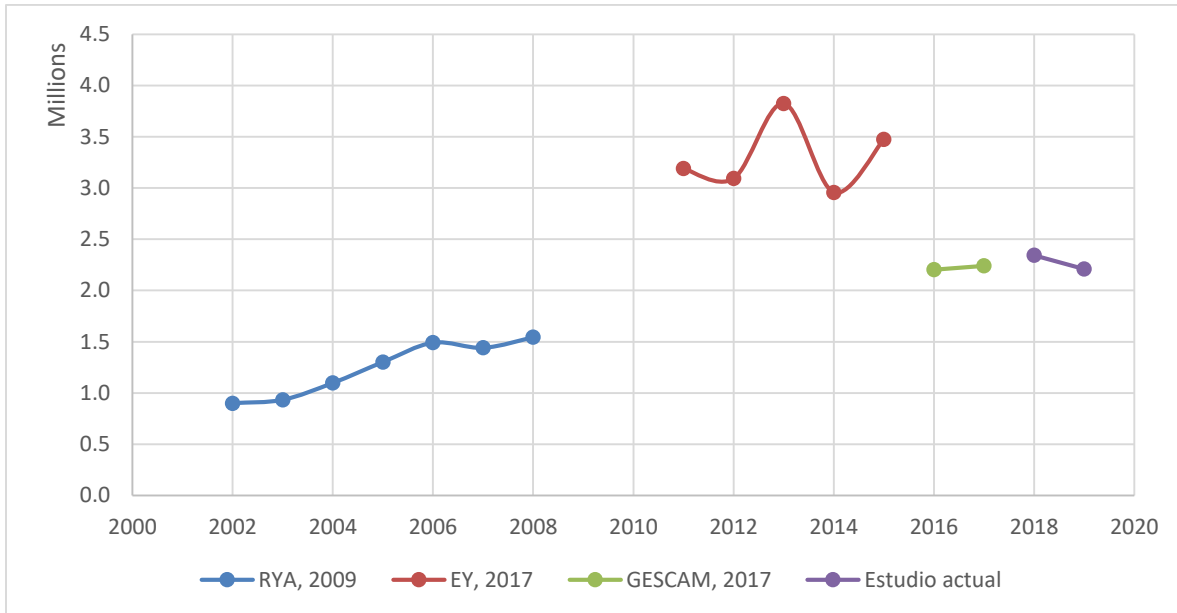


Figura 5-5 Ingreso neto de baterías [unidades] según diferentes estudios

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Tratamiento de BFU

Para caracterizar la gestión de BFU a nivel nacional se utilizaron los datos de recepción de residuos peligrosos y no peligrosos de RAM. Estos datos son entregados a RETC de forma anual, y se encuentran clasificados en categorías según la naturaleza del residuo. En el caso de los residuos peligrosos, el supuesto es que gran parte de los residuos recibidos corresponden a baterías, dado que la planta se enfoca en el reciclaje de plomo. También una parte de estos residuos correspondería a otros residuos plomados, como los ánodos de procesos de electrólisis acuosa. Por otro lado, la naturaleza de los residuos no peligrosos es variada, encontrándose entre los orígenes la industria de construcción y demolición, envases metálicos, extracción minera, hidrometalurgia, otras pilas y acumuladores, entre otros.

Los residuos recibidos declarados por RECIMAT a RETC se presentan en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6 Residuos peligrosos y no peligrosos recibidos por RAM [ton] según registros de RETC

Año	Residuos peligrosos recibidos	Residuos no peligrosos recibidos	Residuos totales recibidos
2006	5,018	s/i	5,018
2007	4,460	s/i	4,460
2008	4,723	s/i	4,723
2009	3,712	s/i	3,712
2010	2,835	s/i	2,835
2011	4,818	s/i	4,818
2012	4,597	s/i	4,597
2013	8,160	s/i	8,160
2014	6,473	s/i	6,473
2015	13,691	6,811	20,502
2016	21,746	6,479	28,225
2017	27,290	6,576	33,866
2018	24,775	6,960	31,735
Total	132,298	26,826	159,124

s/i: Sin información

Fuente: Elaboración propia en base a datos de RETC.

Los datos presentados en la tabla tienen coherencia con los presentados en estudios anteriores para generación de BFU y tasas de recolección sugeridas. Se observa que a partir del año 2015 hubo un gran crecimiento en la recolección de BFU, lo que también se observó en las cifras entregadas en revisión bibliográfica, crecimiento que se atribuye al Convenio de Basilea y la prohibición de exportar BFU mientras haya capacidad de tratamiento en el país. Además, en el estudio de GESCAM se presentan cifras de tratamiento de BFU del orden de las 28,800 toneladas en RAM (ver Tabla 4-1), lo que es similar a las cifras de recepción de residuos presentadas por RAM a RETC.

RAM facilitó las estimaciones propias específicas al procesamiento de baterías y al plomo producido a partir de estas, con detalle mensual para los años 2018 y 2019. El resumen de estos datos se presenta en la Tabla 5-7. Se observa que para el año 2018 existen diferencias entre los registros de RETC y lo descrito por RAM. Una de las diferencias es que RAM recibe también otros residuos plomados desde la minería (chatarra anódica y borra anódica), que también son residuos peligrosos. Estos residuos, si bien no se tiene el valor exacto, de acuerdo con lo indicado por RAM, estarían en el orden de 2 mil toneladas adicionales de residuos al año⁷. El resto de las diferencias se deberían a diferencias entre lo reportado en SINADER y lo realmente recibido en RAM⁸.

⁷ En 2020 habrían recibido 1,188 toneladas de chatarra anódica, y 879 toneladas de borra anódica.

⁸ RAM afirma que actualmente cerca del 50% de los residuos que reciben son obtenidos por vías de recolección informal (chattarreros), que no declaran en SIDREP.

Tabla 5-7 Estadística operativa de RAM, años 2018 y 2019

Año	Baterías recibidas [ton]	Baterías procesadas [ton]	Plomo obtenido (1) [ton]	Relación Plomo : Batería procesada
2018	21,713	22,071	13,210	59.9%
2019	26,054	25,607	14,612	57.1%

(1) Sólo considera plomo obtenido desde BFU. En la planta también se recupera plomo desde otros desechos plomados. Se destaca que las BFU representan el principal origen del plomo durante los años 2018 y 2019, representando cerca del 90% del plomo obtenido en la planta en dicho período.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos directamente por RAM

Las baterías, según antecedentes entregados por RAM, contienen entre un 65% y un 70% de componentes plomados, valor que está acorde a literatura internacional, donde se ha reportado un contenido de plomo en baterías de 66.2% (Daniel, Pappis, & Voutsinas, 2003). Luego, de esta fracción plomada, una nueva fracción corresponde a sulfuros y óxidos que son extraídos durante el proceso de recuperación del plomo, por lo que el plomo recuperable a partir de BFU representaría entre un 70% y un 85% del total de los componentes plomados. De esta forma teóricamente, de acuerdo con lo indicado por RAM, la relación plomo producido a baterías procesadas en masa debiese ser entre 45% y 60%. Si esto se compara con lo presentado en la Tabla 5-7, se observa que el rendimiento, entendido como el plomo obtenido respecto del total de baterías procesadas para los años 2018 y 2019, está en la parte alta del rango estimado, con valores más cercanos al 60%. Lo anterior, según lo indicado por RAM, se debe a un alto contenido de componentes plomados en las baterías, especialmente en el caso de las baterías industriales, así como a una fracción pequeña de componentes sulfurados y óxidos en estas. Por lo demás da cuenta de una alta capacidad de recuperación del plomo, lo cual se ve reforzado por sus múltiples sistemas de abatimiento, a partir de los cuales recuperan el plomo capturado.

Respecto a la capacidad de tratamiento de RAM, la RE 8862/2015 de la SEREMI de Salud se aprueba una capacidad de tratamiento de 2,860 [ton/mes] de componentes plomados. Dependiendo del supuesto de contenido de componentes plomados promedio de las BFU, este valor autorizado es equivalente a entre 46 [mil tBFU/año] o 49.5 [mil tBFU/año] que pueden ser tratadas por RAM. Es decir, que si consideramos las BFU procesadas presentadas en la Tabla 5-7, la planta está operando con un factor de planta de 45%-55%, es decir, tiene capacidad para aumentar la cantidad de procesamiento de BFU sin requerir nuevas inversiones.

De acuerdo con los antecedentes entregados por RAM, su principal producto son los lingotes de plomo, que corresponden a alrededor de 1,200 toneladas mensuales, de las cuales 300-400 ton se venderían para la fábrica de ánodos, y 800-900 ton se exportarían (valores que no consideran el tratamiento de ánodos de plomo usados). También obtienen polipropileno, el cual es chipiado, granulado y pelletizado, para luego ser vendido a compañías externas que lo usan como materia prima. El ácido sulfúrico que obtienen se neutraliza y se produce yeso (sulfato de calcio), que no tiene valor comercial, por lo que es almacenado en un pretil autorizado para estos fines, y dispuesto como residuo industrial no peligroso en empresas externas. En la fundición generan una escoria, que es dispuesta en un vertedero propio de la empresa que cuenta con todas sus autorizaciones. Los únicos otros residuos que generan son contenedores y envases, que son

entregados a una empresa externa que los dispone en un relleno de seguridad. Adicionalmente generan aguas residuales, las cuales buscan certificar para su uso en riego.

5.2 Mercado de equipos que utilizan baterías

La naturaleza de los equipos que utilizan baterías es muy diversa, encontrándose equipos como vehículos para transporte de personas, vehículos de carga, maquinaria industrial, equipamiento de alumbrado eléctrico, alarmas, equipo médico, celdas de energía fotovoltaica, entre muchos otros. Sin embargo, la mayor cantidad de baterías que ingresan al país lo hacen al interior de vehículos, de diverso tipo. En particular, los vehículos para transporte de personas y los vehículos para transporte de cargas corresponden a una gran parte de los equipos con baterías puestos en el mercado.

En principio, se estudiará el mercado de vehículos, para luego ampliar el espectro de equipos a otros equipos que también forman parte importante del mercado, como son las maquinarias de uso industrial y los vehículos OTR (fuera de ruta). Para abordar el mercado de equipos que utilizan baterías, se analizaron dos frentes de información. Por un lado, el enfoque *bottom-up* se enfoca en encontrar la cantidad de vehículos que ingresan al país por año. Por otro lado, el enfoque *top-down* se basa en las ventas de vehículos que se realizan en el país por año.

A continuación, se describe el procedimiento y se presentan los resultados obtenidos para cada enfoque. Luego, se comparan los resultados para corroborar la validez de los resultados.

5.2.1 Enfoque *Bottom-Up*: Importaciones de vehículos

En Chile, no se fabrican vehículos de ningún tipo, por lo que los vehículos que ingresan al mercado vienen exclusivamente de las importaciones. Para saber la cantidad de vehículos que ingresan al país, se trabajó con las partidas del Servicio Nacional de Aduanas. Se identificaron las posiciones arancelarias correspondiente a vehículos, las que están compuestas por cinco partidas arancelarias como se puede ver en la Tabla 5-8.

Tabla 5-8 Partidas arancelarias de vehículos trabajadas.

Partidas Arancelaria	Clasificación
87.02	Vehículos para 10 personas o más
87.03	Vehículos para transporte de personas
87.04	Vehículos para transporte de mercancías
87.05	Vehículos para usos especiales
87.11	Motocicletas

Fuente: Elaboración propia

Las partidas arancelarias están compuestas por una gran cantidad de códigos arancelarios que representan cada tipo de vehículo que ingresa al país. En particular, la partida de vehículos para transporte de personas está compuesta por 111 códigos arancelarios de los 186 totales. Luego

de analizar el diccionario de códigos del Servicio Nacional de Aduanas, se pudieron reconocer las categorías bajo las cuales se clasifican los códigos de cada partida. La cantidad de códigos clasificados y las categorías de clasificación para cada partida se presentan en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9 Códigos arancelarios y categorías de clasificación para importaciones de vehículos.

Partida Arancelaria	Clasificación	N° de códigos arancelarios	Categorías
87.02	Vehículos para 10 personas o más	18	Tipo de motor
			Cilindrada
87.03	Vehículos para transporte de personas	111	Tipo de motor
			Cilindrada
87.04	Vehículos para transporte de mercancías	37	Tipo de motor
			Capacidad de carga
87.05	Vehículos para usos especiales	11	Camiones grúa
			Camiones de bomberos
			Camiones para sondeo o perforación
			Camiones hormigonera
87.11	Motocicletas	9	Sin distinción

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Servicio Nacional de Aduanas.

La desagregación de estos datos se aumentará para el próximo informe. Utilizando las categorías de clasificación para cada partida, los datos serán clasificados bajo condiciones definidas para asignar un tamaño y cantidad de baterías a cada código arancelario. En este informe, se cuenta con la cantidad de vehículos importados el 2018 y 2019 por partida, lo que se presenta en la Tabla 5-10 y Tabla 5-11.

Tabla 5-10 Ingreso neto de vehículos por partida arancelaria 2018

Posición Arancelaria	Clasificación	Total importaciones [unidades]	Total Exportaciones [unidades]	Ingreso neto [unidades]
87.02	Vehículos para 10 personas o más	7,192	31	7,161
87.03	Vehículos para transporte de personas	340,910	3,431	337,479
87.04	Vehículos para transporte de mercancías	115,184	481	114,703
87.05	Vehículos para usos especiales	1,690	96	1,594
87.11	Motocicletas	460,424	888	459,536
Total		925,400	4,927	920,473

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Servicio Nacional de Aduanas.

Tabla 5-11 Ingreso neto de vehículos por partida arancelaria 2019

Posición Arancelaria	Clasificación	Total importaciones [unidades]	Total Exportaciones [unidades]	Ingreso neto [unidades]
87.02	Vehículos para 10 personas o más	7,383	10	7,373
87.03	Vehículos para transporte de personas	262,537	3,144	259,393
87.04	Vehículos para transporte de mercancías	88,083	320	87,763
87.05	Vehículos para usos especiales	36,042	66	35,976
87.11	Motocicletas	231,051	1,467	229,584
Total		625,096	5,007	620,089

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Servicio Nacional de Aduanas.

Se puede ver que gran parte de las importaciones corresponden a vehículos para el transporte de personas, lo que es esperable dado que se compone por la gran mayoría de los códigos arancelarios. Por otro lado, la partida de Motocicletas contiene el 49% de las importaciones de vehículos al año 2018 y un 37% para el año 2019. Si bien no se observan errores en los registros del Servicio Nacional de Aduanas, al realizar una revisión exhaustiva de las importaciones de motocicletas se encontró que los cargamentos considerados en los códigos arancelarios contienen bicicletas, patinetas, *Scooters* con o sin motor eléctrico, entre otros. Por lo tanto, la cantidad de Motocicletas con batería no es la presentada en las tablas.

Para identificar de forma efectiva la cantidad y tamaño de baterías presentes en los vehículos importados, se desarrolló un proceso de clasificación de importaciones de vehículos y reconocimiento de tipo y número de baterías para cada código arancelario de vehículos. La metodología y resultados de este procedimiento se presentan en la Sección 7.3.

5.2.2 Enfoque *Top-Down*: Ventas de vehículos

Con el fin de comparar los datos obtenidos para importaciones de vehículos, se consultan las ventas de vehículos para el año 2018. Los datos de ventas son obtenidos de las estadísticas 2018 publicadas por la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC, 2019). Si bien las importaciones y las ventas no serán exactamente iguales, debido a la existencia o generación de stock, la hipótesis del consultor es que debieran ser similares y estar al menos en el mismo orden.

De esta forma se espera que las estadísticas de ventas de vehículos serían un buen indicador para corroborar que el orden de importaciones vehiculares es el correcto. Las estadísticas de ventas de vehículos se encuentran clasificadas por seis tipos de vehículos contemplados por ANAC, las ventas de cada tipo se presentan en la Tabla 5-12. De acuerdo a las estadísticas de venta el año 2018 se vendieron más de 430 mil vehículos, principalmente vehículos de pasajeros (38.2%) y SUV (34.1%).

Tabla 5-12 Ventas de vehículos según cifras de ANAC para años 2018 y 2019

Tipo de vehículo	Ventas 2018	Ventas 2019
Pasajeros	165,828	141,717
SUV	148,070	137,303
Camionetas	65,873	62,136
Comerciales	37,267	31,722
Camiones	14,018	12,859
Buses	3,020	3,483
Total	434,076	389,220

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (ANAC, 2019, 2020)

5.2.3 Enfoque *Bottom-up* vs *Top-down*

Con los valores de ingreso de vehículos (enfoque *bottom-up*) y ventas de vehículos (enfoque *top-down*), se procede a comparar los valores para corroborar la validez de los resultados. En la Figura 5-6 se observan los resultados obtenidos por cada enfoque. Dado que los datos de importaciones de motocicletas no son certeros, se muestran las importaciones sin considerar motocicletas. Por otro lado, las ventas de ANAC no consideran motocicletas, por lo que la comparación es más precisa sin considerar la partida arancelaria de motocicletas. Sin embargo, una clasificación en detalle de las importaciones de vehículos se presenta en la Sección 7.3, en que se asigna el tamaño y número de baterías a cada tipo de vehículo.

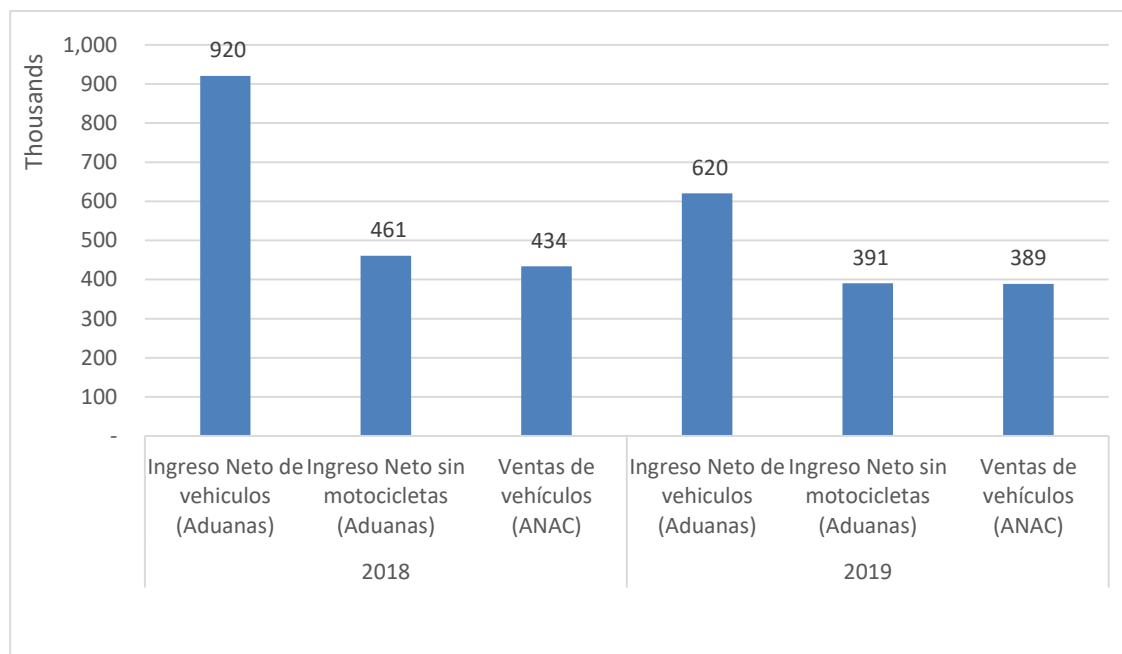


Figura 5-6 Comparación de enfoque *bottom-up* y *top-down* para mercado de vehículos 2018 y 2019 [miles de vehículos]

Fuente: Elaboración propia

Las importaciones de vehículos, sin considerar la partida de motocicletas, es de 461 mil y 391 mil para los años 2018 y 2019. Por su parte, las ventas de vehículos corresponden a 434 mil y 389 mil unidades, para los mismos años. Se puede notar que los valores están en el mismo orden, con una diferencia entre ambos valores de 5.8% y 0.3% para cada año. Esta diferencia se explicaría por el aumento del stock de vehículos, y en menor medida por la importación de vehículos con fines diferentes a la venta.

6. Identificación de variables relevantes de línea base

El desarrollo de la línea base para la evaluación de eventuales metas de recolección y valorización para baterías está asociado directamente con las variables identificadas para la caracterización del mercado. La cantidad y naturaleza de las variables estudiadas implica una menor o mayor precisión en la estimación del mercado de baterías real del país. Por ejemplo, considerar las baterías destinadas al sector industrial a lo largo del país, permite una estimación más profunda del verdadero número de baterías que ingresa al país. Lo mismo ocurre si se consideran distintos tipos de baterías, en lugar de solo baterías de un compuesto metálico.

En estudios pasados se han identificado un número de variables clave para la caracterización del mercado. Estas han permitido obtener distintas estimaciones de la cantidad de baterías que entran al país y la cantidad de BFU generadas por año. En este estudio, se amplía la cantidad de variables consideradas, para aumentar la precisión de los resultados y estudiar el mercado de baterías con mayor profundidad, de modo de obtener resultados más precisos que permitan el correcto diseño de metas.

6.1 Variables identificadas previamente

En los estudios revisados y en el presente estudio, se han considerado las variables básicas que permiten caracterizar el mercado de baterías. Estas variables, apuntan principalmente a la importación y consumo de baterías a granel en el país, con el fin de obtener resultados como el ingreso de baterías de plomo al país y la demanda anual de baterías por parte del parque automotriz. Las variables identificadas previamente son:

- **Importaciones y exportaciones de baterías de plomo:** Calculadas a través de los datos del Servicio Nacional de Aduanas, se han trabajado mediante los códigos arancelarios de baterías de plomo. Hasta ahora, se han trabajado por cantidad y código arancelario, bajo supuestos generales de tipo y peso de batería.
- **Generación de BFU por parte del Parque Automotriz:** Corresponden a las baterías de vehículos pertenecientes al Parque Automotriz que finalizan su vida útil. Este valor se traduce en demanda de baterías nuevas para recambio.
- **Capacidad de valorización por región del país:** En la actualidad existe una única planta de tratamiento autorizada, correspondiente a la planta de tratamiento de RAM en la ciudad de Calama. Por lo tanto, la capacidad de valorización de la planta se traduce en la capacidad del país, y permite una estimación de las BFU con destino desconocido.
- **Generación de BFU por parte de la minería:** Esta variable se ha considerado en estudios previos como GESCAM, 2017, sin embargo, el detalle en la metodología no permite mayor trazabilidad de los resultados, por lo que no se puede asegurar la confiabilidad de los resultados. La minería forma parte del sector industrial, no obstante, se ha considerado de forma separada en los estudios revisados, por la información particular con la que se cuenta para esta industria.

- **Generación de BFU por parte del sector industrial:** En el estudio de GESCAM, 2017 se busca encontrar cifras de BFU generadas por el sector industrial mediante desagregación de los totales tratados por RAM. De este modo, las BFU generadas por el sector industrial dependen de los datos de BFU generadas por la minería y el parque automotriz, junto con los datos de tratamiento de RAM. Bajo estos supuestos, no se cuenta con un método de cálculo ligado directamente al sector industrial que permita trazabilidad en los resultados obtenidos.

6.2 Variables no identificadas previamente

En este estudio se busca aumentar el nivel de profundidad con el que fueron abordadas las variables mencionadas anteriormente. Del mismo modo, se busca agregar nuevas variables que permitan una caracterización más detallada del mercado de baterías en el país. A continuación, se describen los nuevos métodos para abordar variables ya identificadas, y variables no identificadas que se incluyen en el trabajo.

En particular, el diseño de un programa de búsqueda asistida para el reconocimiento y clasificación de los tipos y tamaños de baterías presenta un gran avance para el detalle con el que se trabajan los datos. La metodología que sigue el procedimiento de búsqueda asistida se presenta en la Sección 13.4 en Anexos. En particular, el programa será usado para clasificar y contabilizar los tipos de baterías que se importan y exportan en las BD de aduana.

Variables identificadas previamente con nuevos métodos de trabajo:

- **Importaciones y exportaciones desagregadas de baterías de plomo:** Hasta el momento, se cuenta con el valor de ingreso neto de baterías al país, clasificadas bajo los códigos arancelarios del Servicio Nacional de Aduanas. Estos códigos son generales y no permiten clasificar de forma exhaustiva las baterías por tipo (uso) y peso. Las bases de datos del Servicio Nacional de Aduanas cuentan con descripciones de cada cargamento de baterías, lo que permiten clasificar las baterías en categorías por tipo. De este modo, se pueden agrupar las baterías por tipo y relacionarlas con un peso promedio de cada categoría. Estos datos permiten utilizar supuestos más exactos para el cruce de datos con otros enfoques como la demanda de baterías por parte de cada sector.
- **Generación de BFU por parte del parque automotriz:** Esta variable ha sido trabajada en estudios anteriores, sin embargo, se puede aumentar la trazabilidad de los resultados usando información obtenida con el trabajo de datos de Aduanas. Al contar con los pesos de cada tipo de batería, se puede generar un supuesto de tamaño y peso de baterías por tipo de vehículo más preciso. Con estos datos se contará con mayor exactitud en el peso de las BFU generadas por el parque vehicular.
- **Generación de BFU por parte de sector industrial:** El sector industrial es el sector más complejo de caracterizar debido a la escasez de datos y la diversidad de las actividades que componen el sector, que se ubica a lo largo de todo el país. Para este estudio se

cuenta con datos de distribución territorial de maquinaria industrial para los rubros industriales más grandes del país, lo que permitirá una mejor estimación y clasificación de la generación de BFU por parte de este sector.

VARIABLES NO IDENTIFICADAS PREVIAMENTE:

- **Importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos:** Como se pudo ver en la Sección 5.1.1, se consideraron todos los códigos arancelarios de baterías que ingresan al país. Estos incluyen las baterías con componentes metálicos distintos al Plomo, que por lo general tienen otros usos y tamaños. Mediante la herramienta de búsqueda asistida se buscará reconocer el tamaño y uso de cada tipo de batería, de forma más específica que lo que permite el código arancelario por sí solo.
- **Importaciones y exportaciones de vehículos:** En este estudio se trabaja con los datos del Servicio Nacional de Aduanas para reconocer las importaciones de vehículos, lo que se traduce en ingreso de baterías al país. Las partidas arancelarias trabajadas se presentan en la sección 5.2.1. El objetivo es clasificar las partidas por tipo y tamaño de batería de cada vehículo, para tener en detalle los tipos y pesos de baterías que ingresan al país dentro de cada vehículo.
- **Importaciones y exportaciones de maquinaria industrial:** La maquinaria industrial que ingresa al país incluye baterías, en general más de una y de mayor tamaño, que deben ser consideradas como parte del mercado de baterías. Para trabajar estos datos se consideran las partidas de importaciones y exportaciones del Servicio Nacional de Aduanas, y se clasifican las maquinarias con el mayor detalle permitido por la información de las bases de datos.

7. Importaciones y exportaciones de baterías y equipos que utilizan baterías

7.1 Importaciones y exportaciones desagregadas de baterías de plomo

7.1.1 Metodología de cálculo de importaciones y exportaciones desagregadas de baterías de plomo

Las baterías de plomo se encuentran en las BD del Servicio Nacional de Aduanas bajo los tres códigos arancelarios presentados a lo largo del informe. Sin embargo, la descripción de cada código arancelario indica únicamente que las baterías son para Arranque de motores y señala la presencia de electrolito líquido. Las baterías de plomo que no son para arranque de motores se encuentran sin detalle de su uso en el código para demás baterías de plomo, como se puede apreciar en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1 Códigos arancelarios de baterías de plomo

Código Arancelario	Descripción
8507.1010	Baterías de plomo para arranque de motores, que funcionen con electrolito líquido
8507.1090	Baterías de plomo para arranque de motores, las demás.
8507.2000	Baterías de plomo, las demás.

Fuente: Elaboración propia en base a Servicio Nacional de Aduanas.

En esta sección, se busca clasificar las baterías de plomo por el tipo de batería, relacionado con el uso que se le da a cada batería. Para identificar el tipo de batería se utiliza la información de las BD de Aduanas que contiene la descripción de la mercancía. En la descripción se puede reconocer directamente el tipo de batería o detectar la presencia de palabras clave que permitan asociarla a un tipo de batería.

Los tipos de batería se agrupan en clasificaciones, que representan la naturaleza del funcionamiento de la batería, las clasificaciones son: Arranque, Tracción, Estacionarias, y No Baterías. La categoría de No Baterías incluye todas las importaciones de otros tipos de productos como pilas, baterías de computadores portátiles, baterías de celulares y cargadores de baterías, que no corresponden a baterías debido a su tamaño o a su función, como el caso de los cargadores. Los tipos de baterías y sus clasificaciones se presentan en la Tabla 7-2, en la tabla se encuentra una descripción de cada tipo de batería.

Tabla 7-2 Categorías y tipos de baterías

Categoría	Tipo de batería	Descripción
Arranque	Arranque	Baterías para arranque de motores, sin especificación del tipo de motor.
	Bencina	Baterías para arranque de motores de chispa o bencineros.
	Diesel	Baterías para arranque de motores Diesel.
	Motocicleta	Baterías para arranque de motores de motocicletas o bicicletas motorizadas.
	Maquinaria	Baterías para arranque de motores de maquinarias. Las maquinarias son de uso en los rubros agrícola forestal, construcción, industrial, y minero.
Tracción	Otras Litio	Baterías de litio sin clasificar, con uso en vehículos eléctricos pequeños como sillas de ruedas, carros eléctricos, cuatrimotos, drones, entre otros.
	Otros vehículos	Baterías utilizadas en otro tipo de vehículos eléctricos de mayor envergadura, como helicópteros drones y aeronaves.
	Scooter	Baterías para uso en Scooters eléctricos.
Estacionaria	Estacionaria Energía	Baterías estacionarias con uso en producción de energía. Se incluyen baterías para celdas fotovoltaicas, parques eólicos, generación de gas, entre otros.
	Estacionaria Industrial	Baterías estacionarias para uso industrial.
	Estacionaria Respaldo	Baterías estacionarias para uso de respaldo energético. Se incluyen baterías para iluminación de emergencia y baterías para fuentes de poder de emergencia.
	Estacionaria Sin Clasificar	Las demás baterías estacionarias que no especifican uso. Se encuentran baterías de diversos usos como uso en servidores o equipos de procesamiento de datos.
	Medico	Baterías para uso en equipo médico. Se encuentran baterías para equipos de control, respiración y monitoreo, entre otros.
	Telecomunicaciones	Baterías para uso en aparatos de telecomunicaciones.
No batería	Cargador	Cargadores de baterías. No corresponden a baterías, pero se encuentran en los códigos arancelarios consultados.
	Notebook	Baterías para computadores portátiles. Por el tamaño de la batería, se considera como pila.
	Pilas	Pilas de diverso tipo se encuentran en los códigos arancelarios, principalmente en las de compuestos distintos a plomo.
	Celular	Baterías para celulares y otros aparatos menores como audífonos y videojuegos. Debido a su tamaño se consideran como pilas.

Fuente: Elaboración propia

Para reconocer a qué tipo de batería corresponde cada importación se realizó un procedimiento de búsqueda asistida en las BD de importaciones de baterías, utilizando macros desarrolladas en Excel. El procedimiento consiste en el reconocimiento de palabras clave que están asociadas a un tipo de batería en específico. Para reconocer las palabras clave, se revisan las descripciones de mercancía de la BD y se realiza un proceso iterativo de reconocimiento de palabras y detección de tipos de baterías existentes. Una vez desarrollada la base de datos de palabras clave y tipos de baterías, la macro procesa la BD de importaciones y asigna una probabilidad de tipo de batería a cada importación. Luego, una segunda macro determina el tipo de batería correspondiente a cada importación basado en las probabilidades asignadas previamente. Finalmente, los resultados son revisados de forma manual, mediante un chequeo aleatorio dentro de cada tipo

de batería, para corroborar que los resultados sean correctos y las baterías estén en el tipo adecuado. El procedimiento de búsqueda asistida se explica en detalle y de forma gráfica en anexos, en la Sección 13.4.

Para expresar las importaciones de baterías en peso se realizó un proceso de cálculo del peso promedio de cada tipo de baterías. En el caso de las baterías de arranque, se calculó el peso para cada tipo de batería de arranque basado en las importaciones de vehículos y maquinaria que utilizan estos tipos de baterías. Por ejemplo, para las baterías de tipo Bencina, se consideraron las importaciones de vehículos de tipo Bencina, y se ponderó la cantidad de importaciones con el peso de la batería utilizada. El procedimiento se presenta en la Tabla 7-3.

Para el tipo de batería “Arranque”, dentro de la categoría arranque, se consideró que corresponden a baterías de Bencina. Este supuesto se realiza en base a la estructura observada en las BD de Aduanas, donde las baterías de Diesel poseen términos clave para reconocerlas, mientras que las baterías de Bencina corresponden en general al resto de baterías de arranque. Por lo tanto, el peso obtenido para las baterías tipo Bencina se utiliza para las baterías tipo Arranque.

Para el caso de motocicletas, al parque de motocicletas se les asigna un único tipo de batería, correspondiente a la batería de 9-15 Ah con un peso de 3.5kg, por lo que se utiliza esta para las importaciones de baterías. Lo mismo sucede con el parque de maquinarias, a las que se asigna una batería de mayor tamaño, de 70-90 Ah con un peso de 17kg.

Para mayor comprensión del procedimiento, revisar la Sección 7.3 en que se presentan los tipos de baterías de arranque utilizados por el parque vehicular y presentes en las importaciones vehiculares. El procedimiento realizado para la categoría arranque se presenta en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3 Cálculo de peso promedio por tipo de batería de arranque

Categoría	Tipo de Batería	Peso Batería (kg)	Ingreso Neto 2018	Porcentaje del total	Ponderación peso	Peso promedio (kg)
Bencina	35-50	11	146,975	0.46	5.1	12.6
	55-70	14	170,537	0.54	7.5	
Diesel	55-70 Ah	14	3,577	0.03	0.4	16.9
	70-90 Ah	17	122,760	0.97	16.5	
Motocicletas	6-15 Ah	3.5	460,424	1	3.5	3.5
Maquinaria	70-90 Ah	17	23,325	1	17	17

Fuente: Elaboración propia

Para la categoría de baterías de Tracción se utilizó el peso promedio de importaciones en las BD de Aduanas, encontrándose dos valores para los tipos de baterías. Los pesos corresponden a 3.5 kg para las baterías pequeñas y 22 kg para las baterías medianas. Utilizando la cantidad de baterías importadas de cada tipo se obtiene el valor promedio para la categoría Tracción. Este

valor corresponde a 2.6 kg, mostrando una clara tendencia a baterías pequeñas. Esto tiene relación con la naturaleza de los vehículos eléctricos que las utilizan, que son principalmente pequeños, como Scooters o drones.

Para la categoría de baterías estacionarias, los pesos utilizados corresponden a los pesos promedios estimados para la clasificación estacionaria en las partidas 8507.2000 para las baterías de plomo y 8507.6000 para las otras baterías, estos corresponden a 5.8 kg y 11.8 kg respectivamente. Por lo tanto, para la presente sección de baterías de plomo se utiliza el peso de 5.8 kg y para las baterías de otros componentes se utiliza 11. kg.

7.1.2 Resultados de importaciones y exportaciones de desagregadas de baterías de plomo

Mediante la metodología explicada para cada categoría de baterías, se obtienen los pesos promedio por tipo de batería presentados en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4 Pesos promedio para cada tipo de batería por categoría

Categoría	Tipo	Peso promedio (kg)
Arranque	Arranque	12.60
	Bencina	12.60
	Diesel	16.90
	Motocicleta	3.50
	Maquinaria	17.00
Tracción	Promedio del total	2.60
Estacionaria	Con plomo	5.80
	Otros compuestos	11.75

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la búsqueda asistida para las baterías de los códigos arancelarios de plomo, correspondientes a los presentados en la Tabla 7-1, se obtienen las importaciones y exportaciones de baterías por categoría y tipo para 2018 y 2019, presentadas en la Tabla 7-5 y Tabla 7-6. El ingreso total en peso se calcula utilizando los valores presentados en la Tabla 7-4.

Tabla 7-5 Importaciones y exportaciones de baterías de plomo 2018

Categoría	Tipo	Unidades importadas	Unidades exportadas	Total	Peso promedio (kg)	Ingreso total (ton)	Peso total (ton)
Arranque	Arranque	1,002,246	3	1,900,205	12.6	12,628	26,261
	Bencina	70,456	1		12.6	888	
	Diesel	712,327	0		16.9	12,038	
	Motocicleta	92,691	0		3.5	324	
	Maquinaria	22,489	0		17.0	382	
Tracción	Otros Vehículos	3,198	0	3,207	2.6	70	70
	Scooter	9	0		2.6	0	
Estacionaria	Estacionaria Energía	53,545	3,182	415,789	5.8	957	2,714
	Estacionaria Industrial	62,090	0		5.8	186	
	Estacionaria Respaldo	216,906	77,238		5.8	419	
	Estacionaria S.C.	147,414	10,443		5.8	548	
	Médico	5,386	0		5.8	135	
	Telecomunicaciones	21,311	0		5.8	469	
No batería	Cargador	49	0	25,563	N.A.	N.A.	N.A.
	Notebook	1,082	0		N.A.	N.A.	
	Pilas	4,295	0		N.A.	N.A.	
	Celular	20,137	0		N.A.	N.A.	
Total de baterías (1)		2,410,068	90,867	2,319,201			29,045

(1) Los totales de baterías no incluyen la cantidad presentada en "No Baterías".

N.A.: No aplica

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-6 Importaciones y exportaciones de baterías de plomo 2019

Categoría	Tipo	Unidades importadas	Unidades Exportadas	Total	Peso promedio	Peso importado (ton)	Peso total (ton)
Arranque	Arranque	971,144	15,290	1,896,485	12.6	12,044	25,469
	Bencina	70,856	-		12.6	893	
	Diesel	703,805	389		16.9	11,888	
	Motocicleta	161,745	10		3.5	566	
	Maquinaria	5,140	516		17.0	79	
Tracción	Otros Vehículos	3,067	1	3,077	2.6	67	67
	Scooter	11	-		2.6	0	
Estacionaria	Estacionaria Energía	21,392	-	296,837	19	406	1,864
	Estacionaria Industrial	33,840	17,688		3	48	
	Estacionaria Respaldo	87,111	57,256		3	90	
	Estacionaria S.C.	207,495	-		4	830	
	Médico	2,389	12		25	59	
	Telecomunicaciones	19,567	-		22	430	
No batería	Cargador	96	2	12,704	N.A.	N.A.	N.A.
	Notebook	-	1		N.A.	N.A.	
	Pilas	12,645	34		N.A.	N.A.	
	Celular	-	-		N.A.	N.A.	
Total de baterías (1)		2,287,561	91,162	2,196,399			27,401

(1) Los totales de baterías no incluyen la cantidad presentada en "No Baterías".

N.A.: No aplica

Fuente: Elaboración propia

Se observa una notoria mayoría de baterías de Arranque, distribuidas mayoritariamente entre baterías de arranque sin clasificar y baterías para motor Diesel. Las baterías Estacionarias ocupan una fracción significativa correspondiente al 22% del total baterías de plomo para 2018 y al 16% para 2019. Dentro de las baterías estacionarias se presenta una alta cantidad de baterías estacionarias de respaldo, las que corresponden principalmente a baterías para fuentes de poder, iluminación y alarmas en caso de emergencia. También se encuentran baterías estacionarias para uso energético, industrial y en menor cantidad para uso en telecomunicaciones y medicina.

Las baterías de tracción representan una fracción minoritaria, presentándose baterías para Scooters y otros vehículos eléctricos como equipos autopropulsados. Respecto a la categoría de No baterías, se ve una baja presencia de estos tipos de pilas en los códigos de plomo. Lo anterior, se debe a que las pilas o baterías de menor tamaño son fabricadas con otros compuestos, como combinaciones de Níquel con otros metales o Litio, por lo tanto, no se presentan en los códigos de baterías de plomo. En la Sección 7.2 se presentan las importaciones de baterías de otros compuestos, donde se puede notar una presencia mayoritaria de No Baterías.

Como se mencionó anteriormente, las exportaciones de baterías no son significativas en relación a las importaciones, dado que Chile no es productor de baterías, por lo que la mayoría de las importaciones son para uso en el país, con una pequeña fracción de exportación. En el estudio de EY,2017 se menciona que las cantidades que se reflejan en la exportación provienen regularmente de las mismas empresas líderes en el mercado de importaciones con operaciones comerciales en países vecinos.

7.2 Importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos

7.2.1 Metodología de importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos

Las baterías de otros compuestos se encuentran en las BD del Servicio Nacional de Aduanas bajo cinco códigos arancelarios presentados en la Tabla 7-7. Los códigos arancelarios indican únicamente el metal que compone las baterías, pero no entregan información sobre el tipo de batería y su uso.

Tabla 7-7 Códigos arancelarios de baterías de otros compuestos

Código Arancelario	Descripción
8507.3000	Baterías de níquel-cadmio
8507.4000	Baterías de níquel-hierro
8507.5000	Baterías de níquel-hidruro metálico
8507.6000	Baterías de iones de litio
8507.8000	Las demás baterías

Fuente: Elaboración propia en base a Servicio Nacional de Aduanas.

Al igual que para las baterías de plomo, en esta sección se busca clasificar las baterías de otros compuestos por el tipo de batería, relacionado con el uso que se la da a cada batería. Para identificar el tipo de batería se utiliza la información de las BD de Aduanas que contiene la descripción de la mercancía. Los tipos y clasificaciones de batería son los mismos utilizados para las baterías de plomo y se encuentran en la Tabla 7-2.

Para reconocer el tipo de batería correspondiente a cada importación, se utilizó el procedimiento de búsqueda asistida, descrito anteriormente para las baterías de plomo y cuya descripción en detalle se encuentra en anexos en la Sección 13.4.

Los pesos utilizados para cada tipo de batería son los mismos presentados en la, utilizando los pesos correspondientes a baterías de otros compuestos en el caso de las baterías estacionarias.

7.2.2 Resultados de importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos

Utilizando la búsqueda asistida para las baterías de los códigos arancelarios de otros compuestos, correspondientes a los presentados en la Tabla 7-7, se obtienen las importaciones de baterías por categoría y tipo, presentadas en la Tabla 7-8.

Tabla 7-8 Importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos 2018

Categoría	Tipo	Unidades importadas	Unidades exportadas	Ingreso total	Peso promedio (kg)	Peso importado (ton)	Peso total (ton)
Arranque	Arranque	18,141	-	34,152	12.6	229	448
	Bencina	17	6		12.6	0	
	Diesel	826	240		16.9	10	
	Motocicleta	3,924	-		3.5	14	
	Maquinaria	11,490	-		17.0	195	
Tracción	Otras Litio	745,455	-	747,222	2.6	1,826	1,843
	Otros Vehículos	939	291		2.6	14	
	Scooter	1,120	-		2.6	3	
Estacionaria	Estacionaria Energía	4,479	33,932	31,577	5.8	-560	540
	Estacionaria Industrial	15,961	4,489		5.8	34	
	Estacionaria Respaldo	2,085	658		5.8	4	
	Estacionaria S.C.	1,244	370		5.8	3	
	Médico	5,757	-		5.8	144	
	Telecomunicaciones	41,688	188		5.8	913	
No batería	Cargador	155,776	-	3,338,793	N.A.	N.A.	N.A.
	Notebook	39,898	-		N.A.	N.A.	
	Pilas	2,563,930	-		N.A.	N.A.	
	Celular	579,190	-		N.A.	N.A.	
Total de Baterías (1)		853,126	40,174	812,952			2,830

(1) Los totales de baterías no incluyen la cantidad presentada en "No Baterías".

N.A.: No aplica

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-9 Importaciones y exportaciones de baterías de otros compuestos 2019

Categoría	Tipo	Unidades importadas	Unidades exportadas	Total	Peso promedio (kg)	Peso importado (ton)	Peso total (ton)
Arranque	Arranque	21,322	-	54,412	12.6	269	707
	Diesel	-	-		12.6	0	
	Motocicleta	10	-		16.9	0	
	Maquinaria	9,207	-		3.5	32	
Tracción	Otras Litio	23,894	22	776,736	17.0	406	1,927
	Otros Vehículos	775,908			2.6	1,923	
	Scooter	245	111		2.6	3	
Estacionaria	Estacionaria Energía	695	-	128,762	2.6	2	1,668
	Estacionaria Industrial	39,522	3		5.8	751	
	Estacionaria Respaldo	12,709	150		5.8	38	
	Estacionaria S.C.	42,679	3,698		5.8	117	
	Médico	5,010	-		5.8	20	
	Telecomunicaciones	7,960	126		5.8	196	
No batería	Cargador	26,453	1,594	5,561,032	5.8	547	N.A.
	Celular	156,665	8		N.A.	N.A.	
	Notebook	53,259	2		N.A.	N.A.	
	Pilas	4,807,083	8,987		N.A.	N.A.	
	Celular	558,921	5,899		N.A.	N.A.	
Total de baterías (1)		965,614	5,704	959,910			4,303

(1) Los totales de baterías no incluyen la cantidad presentada en "No Baterías".

N.A.: No aplica

Fuente: Elaboración propia

En las importaciones de baterías de otros compuestos se presenta una notoria mayoría de importaciones de pilas. También se presenta una cantidad importante de baterías de celular y otros productos que no corresponden a baterías. Por otro lado, debido a la presencia de baterías de Litio principalmente, existe una parte significativa de baterías que alcanzan el total de 813 mil para 2018 y 960 mil unidades para 2019.

En estudios anteriores los códigos de otros compuestos no han sido considerados en los estudios de baterías, lo que se debe a que se asume que corresponden a pilas. Sin embargo, al ver los resultados presentados en la Tabla 7-9, se ve que cerca de un millón de unidades si corresponden a baterías, principalmente de tracción, por lo que es pertinente considerar los demás compuestos en el universo de baterías. La presencia de una alta cantidad de baterías de tracción se debe principalmente al aumento en electro movilidad, por lo que se importan baterías de uso eléctrico compuestas principalmente de Litio.

7.3 Importaciones y exportaciones de vehículos

7.3.1 Metodología de importaciones y exportaciones de vehículos

Como ya se presentó en la Sección 5.2.1, se trabajaron las importaciones de vehículos correspondientes a las partidas arancelarias presentadas en la Tabla 7-10. Basado en las descripciones de cada código arancelario, se escogieron categorías para clasificar los vehículos y asignar el tipo de batería correspondiente. Los niveles de categorías y las categorías para cada partida arancelaria se presentan en la Tabla 7-10.

Tabla 7-10 Códigos arancelarios y categorías de clasificación de vehículos

Partida Arancelaria	Clasificación	N° de códigos arancelarios	Niveles de categorías	Categorías
87.02	Vehículos para 10 personas o más	18	Tipo de motor	Bencina
				Diesel
				Eléctrico
			Cantidad de pasajeros	Menor o igual a 15 pasajeros
Más de 15 pasajeros				
87.03	Vehículos para transporte de personas	111	Tipo de motor	Bencina
				Diesel
				Eléctrico
			Cilindrada	Menor o igual a 1500cc
Mayor a 1500cc				
87.04	Vehículos para transporte de mercancías	37	Tipo de motor	Bencina
				Diesel
			Capacidad de carga	Menor a 5t
				Entre 5t y 20t
	Mayor a 20t			
	87.05	Vehículos para usos especiales	11	Sin distinción
87.11	Motocicletas	9	Tipo de motor	Motor a combustión
				Motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Los niveles de categorías presentados por partida arancelaria permiten clasificar cada código arancelario en una categoría a la que se asigna un tipo de batería. Para asignar un tipo de batería se consideran combinaciones de los niveles de categorías en los casos en que existe más de un nivel de categoría. Se debe notar que todas las baterías asignadas son de arranque, dado que se trata de vehículos, sin embargo, se escogen distintos tamaños de baterías de arranque para cada tipo de vehículo. Por lo tanto, en el caso de los vehículos para transporte de personas se considera la cilindrada del motor para cada tipo de motor y con esta información se asigna un tipo de batería. Lo anterior se presenta en la Tabla 7-11 donde se ve el tipo de batería que se asigna a cada combinación de categorías para cada partida arancelaria.

En el presente estudio se distinguen cuatro tipos de baterías, las cuales se distinguen por su capacidad nominal medida en Amperes-horas (AH). El primer grupo, Baterías de 6-15 AH, corresponden a las de menor capacidad y son en motores pequeños, principalmente en motocicletas. El segundo grupo, Baterías de 35-50 AH, corresponde a baterías usadas en vehículos de pasajeros gasolineras y pequeños. El tercer grupo, Baterías de 55-70 AH, corresponde a un intervalo mediano de capacidad nominal asociadas tanto a vehículos con motor a gasolina grande, como a vehículos con motor diésel pequeños. Por último, el tipo de baterías más grandes corresponde a baterías de entre 70-90 AH, las cuales son utilizadas por vehículos con motor diésel de mayor tamaño. Las baterías asignadas a todas las clasificaciones para todos los tipos de vehículos se presentan en la Tabla 7-11.

Tabla 7-11 Tipos de baterías de arranque asignados a cada categoría de vehículos

Partida Arancelaria	Clasificación	Tipo Motor	Categoría	Batería arranque asignada
87.02	Vehículos para 10 personas o más	Bencina	Menor o igual a 15 pasajeros	1 batería 55-70 Ah
			Más de 15 pasajeros	2 baterías 55-70 Ah
		Diesel	Menor o igual a 15 pasajeros	1 batería 70-90 Ah
			Más de 15 pasajeros	2 baterías 70-90 Ah
		Eléctrico	Menor o igual a 15 pasajeros	No tiene
			Más de 15 pasajeros	No tiene
87.03	Vehículos para transporte de personas	Bencina	Menor o igual a 1500cc	1 batería 35-50 Ah
			Mayor a 1500cc	1 baterías 55-70 Ah
		Diesel	Menor o igual a 1500cc	1 batería 55-70 Ah
			Mayor a 1500cc	1 batería 70-90 Ah
		Eléctrico	N.A.	No tiene
			N.A.	No tiene
87.04	Vehículos para transporte de mercancías	Bencina	Menor a 5t	1 batería 55-70 Ah
			Entre 5t y 20t	N.A.
			Mayor a 20t	N.A.
		Diesel	Menor a 5t	1 batería 70-90 Ah
			Entre 5t y 20t	2 baterías 70-90 Ah
			Mayor a 20t	4 baterías 70-90 Ah
87.05	Vehículos para usos especiales	N.A.	N.A.	1 batería 70-90 Ah
87.11	Motocicletas	Motor a combustión	N.A.	1 batería 6-15 Ah
		Motor eléctrico	N.A.	No tiene

N.A.: No aplica

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7-11 se presenta el tipo y cantidad de baterías que se asignan a cada categoría de vehículo para cada partida arancelaria. Se debe considerar que la tabla corresponde a las baterías de arranque presenten en las importaciones de vehículos, por lo que los vehículos con motor eléctrico no tienen este tipo de baterías. Además, se puede notar que no existen vehículos de carga para más de 5t que utilicen motor de tipo bencinero, por lo que no se le asigna un tipo de batería a estas categorías. Utilizando esta distribución de baterías se realizó la estimación de importaciones y exportaciones de baterías contenidas en los vehículos.

7.3.2 Resultados de importaciones y exportaciones de vehículos

Registrando las importaciones y exportaciones de las partidas arancelarias presentadas en la Tabla 7-10 se obtuvo la cantidad de importaciones de vehículos para el año 2018 y 2019, presentados en la Tabla 7-12.

Tabla 7-12 Importaciones y exportaciones [unidades] de vehículos 2018 y 2019

Partida aranc.	Clasificación	Unidades importadas 2018	Unidades exportadas 2018	Ingreso neto 2018	Unidades importadas 2019	Unidades exportadas 2019	Ingreso neto 2019
87.02	Vehículos para 10 personas o más	7,192	31	7,161	7,383	10	7,373
87.03	Vehículos para transporte de personas	340,910	3,431	337,479	262,537	3,144	259,393
87.04	Vehículos para transporte de mercancías (1)	102,308	477	101,831	78,792	290	78,502
87.05	Vehículos para usos especiales	1,690	96	1,594	(2) 36,042	66	35,976
87.11	Motocicletas y velocípedos con motor auxiliar	(3) 436,700	888	435,812	231,051	1,467	229,584
	Total	888,800	4,923	883,877	615,805	4,977	610,828

(1) Contabiliza sólo unidades de vehículos excluyendo algunos chasis importados en dicha partida arancelaria

(2) Incluye una importación de 35,200 barredoras con motor diésel de 4 tiempos.

(3) Incluye dos importaciones de bicicletas Zhejiang-f propulsadas con motor eléctrico, de 141,664 y 120,344 unidades.

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que hay una concentración de las importaciones en vehículos de pasajeros y motocicletas, las cuales representan de forma conjunta el 87% y 80% de las importaciones para los años 2018 y 2019 respectivamente. Por su parte, en torno a un 12%-13% de los vehículos ingresados al país corresponden a vehículos destinados al transporte de carga. Se destaca que las importaciones presentadas quedan marcadas por algunos movimientos puntuales que implican importaciones de un número de vehículos que se escapa de la norma observada en el resto de las importaciones. Estas importaciones puntuales son destacadas en las notas de tabla, de forma de destacar que se tratan de movimientos puntuales.

Considerando las baterías asignadas a cada categoría de las partidas arancelarias de vehículos, se obtienen las importaciones en unidades de baterías y en peso de baterías de cada tipo. Estos valores se presentan en la Tabla 7-13.

Tabla 7-13 Baterías dentro de importaciones vehiculares por unidades y peso

Part. Aranc.	Clasificación	Tipo Motor	Categoría	Unidades ingreso neto		Peso batería arranque [kg/unidad]	Baterías [kg]	
				2018	2019		2018	2019
87.02	Vehículos para 10 personas o más	Bencina	Menor o igual a 15 pasajeros	0	0	14	0	0
			Más de 15 pasajeros	9	1	28	252	28
		Diesel	Menor o igual a 15 pasajeros	2,371	1,676	17	40,307	28,492
			Más de 15 pasajeros	4,672	5,336	34	158,848	181,424
		Eléctrico	Menor o igual a 15 pasajeros	1	2	0	0	0
Más de 15 pasajeros	102		358	0	0	0		
87.03	Vehículos para transporte de personas	Bencina	Menor o igual a 1500cc	147,338	120,814	11	1,620,718	1,328,954
			Mayor a 1500cc	148,062	105,877	14	2,072,868	1,482,278
		Diesel	Menor o igual a 1500cc	3,578	9,818	14	50,092	137,452
			Mayor a 1500cc	33,234	18,807	17	564,978	319,719
		Eléctrico	N.A.	5,267	4,062	0	0	0
87.04	Vehículos para transporte de mercancías	Bencina	Menor a 5t	19,686	16,317	14	275,604	228,438
			Entre 5t y 20t	0	1	28	0	28
			Mayor a 20t	0	0	56	0	0
		Diesel	Menor a 5t	79,115	59,817	17	1,344,955	1,016,889
			Entre 5t y 20t	2,562	2,001	34	87,108	68,034
Mayor a 20t	469	546	68	31,892	37,128			
87.05	Vehículos para usos especiales	N.A.	N.A.	1,594	35,976	34	54,196	1,223,184
87.11	Motocicletas	Motor a combustión	N.A.	46,294	41,519	3.5	162,029	145,317
		Motor eléctrico	N.A.	389,518	188,065	0	0	0
				883,872	610,993		6,463,847	6,197,365

Fuente: Elaboración propia

Se observa que gran parte del peso de baterías importadas al interior de vehículos se debe a los vehículos para el transporte de personas y a los vehículos de carga. Si bien las importaciones de motocicletas son importantes en número de unidades de baterías, debido al bajo peso de las baterías no representan un porcentaje importante del peso total de baterías importadas. Los vehículos para 10 o más personas y los tractores representan una fracción menor de las baterías importadas, y los vehículos especiales no son significativos debido a las pocas unidades importadas anualmente.

La distribución de importaciones vehiculares presentada en esta sección fue utilizada para modelar el parque vehicular actual, con el fin de calcular la generación de BFU por parte del parque vehicular, esta información se presenta en la Sección 8.1.

7.4 Importaciones y exportaciones de maquinaria industrial

7.4.1 Metodología de importaciones y exportaciones de maquinaria industrial

Para trabajar las importaciones de maquinaria industrial, se consultaron los diccionarios del Servicio Nacional de Aduanas y se reconocieron los códigos arancelarios correspondientes a maquinaria de rubros como construcción, agrícola forestal, industrial y minería. Estos rubros de industrias fueron elegidos en base a la clasificación industrial utilizada en los estudios “Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión para maquinaria fuera de ruta” y “Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país” (Geasur, 2013, 2014) desarrollados por encargo del MMA. En estos estudios se desarrolló e implementó una metodología para estimar el parque de maquinarias existentes, el cual es un insumo clave para la estimación de la generación de BFU del parque industrial.

Al revisar las BDs, se puede notar que no todos los códigos arancelarios corresponden a maquinaria que utiliza baterías. A modo de ejemplo, en el rubro agrícola forestal existe maquinaria que se utiliza acoplada a un tractor, para ser empujada o tirada, y que no cuenta con una batería propia, este es el caso de los aradores, maquinas sembradoras, y distribuidoras de estiércol, entre otras. Lo mismo sucede en la industria de la construcción con maquinaria de uso manual como carretillas y placas compactadoras pequeñas.

Tras la filtración de los códigos arancelarios de maquinaria que no utiliza baterías, se trabajó con los códigos arancelarios presentados en la Tabla 7-14.

Tabla 7-14 Códigos arancelarios y rubros de importaciones de maquinaria

Código arancelario	Contenido verificado	Industrial	Construcción	Agrícola Forestal	Minería
8427.1011	Carretillas apiladoras/montacargas, transpaletas eléctricos, y grúas horquilla.	✓			
8427.1012	Carretillas apiladoras/montacargas, transpaletas eléctricos, y grúas horquilla.	✓			
8427.1090	Carretillas apiladoras, transpaletas eléctricos, plataformas de trabajo elevador tijera.	✓			
8427.2011	Grúas horquilla, grúas autopropulsadas, carretillas contrapesadas.	✓			✓
8427.2012	Grúas horquilla, carretillas apiladoras y carretillas contrapesadas.	✓			✓
8427.2013	Grúas horquilla, carretillas apiladoras y carretillas contrapesadas.	✓			✓
8427.2014	Grúas horquilla, carretillas apiladoras.	✓			✓
8427.2015	Grúas horquilla, plataformas articuladas y plataformas tijera.	✓			✓
8427.2016	Grúas horquilla, montacarga frontal, carretillas autopropulsadas y carretillas apiladoras.	✓			✓
8427.2090	Manipuladores telescópicos, brazo elevador, plataformas de trabajo, carretillas elevadoras.	✓			
8429.1110	Topadora frontal y bulldozers.		✓		✓
8429.1910	Topadora frontal y bulldozers.		✓		✓
8429.2010	Motoniveladoras.		✓		✓
8429.3000	Traíllas (<i>Scrappers</i>).		✓		✓
8429.4010	Rodillos compactadores.		✓		✓
8429.4090	Placas compactadoras.		✓		✓
8429.5110	Cargadores frontales.		✓		✓
8429.5190	Cargadores frontales y retroexcavadoras.		✓		✓
8429.5210	Excavadoras hidráulicas, autopropulsadas, de oruga.		✓		✓
8429.5290	Máquinas cargadoras.		✓		✓
8429.5910	Retropalas y excavadoras.		✓		✓
8429.5920	Máquinas excavadoras.		✓		✓
8429.5930	Retroexcavadoras.		✓		✓
8429.5990	Cargadoras excavadoras, retroexcavadoras y manipuladores telescópicos.		✓		✓
8430.1000	Martinetes hidráulicos e incadoras.		✓		✓
8430.2000	Máquinas quitanieves.		✓		
8430.3100	Máquinas perforadoras y tuneladoras.		✓		✓
8430.3900	Máquinas perforadoras y corta pavimento.		✓		✓
8430.4110	Máquinas perforadoras.		✓		✓
8430.4190	Máquinas perforadoras y martillos hidráulicos.		✓		✓
8430.4910	Máquinas perforadoras.		✓		✓
8430.5000	Máquinas acunadoras y niveladoras.		✓		✓
8430.6900	Martillos perforadores y martillos hidráulicos.		✓		✓
8433.5100	Máquinas cosechadoras.			✓	
8433.5300	Máquinas cosechadoras.			✓	

Código arancelario	Contenido verificado	Industrial	Construcción	Agrícola Forestal	Minería
8433.5920	Máquinas cosechadoras.			✓	
8433.5930	Máquina vendimiadora.			✓	
8701.1000	Tractores			✓	
8701.2010	Tractores			✓	
8701.2020	Tractores			✓	
8701.2090	Tractores			✓	
8701.3000	Tractores			✓	
8701.9110	Tractores			✓	
8701.9190	Tractores			✓	
8701.9210	Tractores			✓	
8701.9290	Tractores			✓	
8701.9310	Tractores			✓	
8701.9390	Tractores			✓	
8701.9410	Tractores			✓	
8701.9490	Tractores			✓	
8701.9510	Tractores			✓	
8701.9590	Tractores			✓	

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una revisión de los valores de importaciones registrados en Aduanas, observándose una serie de registros cuyas unidades reportadas se escapaban de forma considerable de los valores esperados. En todos estos casos las observaciones incluidas en los registros de Aduanas, proveían correcciones que permitió contar con un número más preciso respecto de las importaciones al país. Cabe destacar que estas correcciones significaron que la estimación paso desde el orden de las decenas de millones de maquinarias importadas por año, a decenas de miles.

7.4.2 Resultados de importaciones y exportaciones de maquinaria industrial

Trabajando con los códigos arancelarios presentados en la Tabla 7-14 se encontraron las importaciones de maquinaria para el año 2018 y 2019, presentadas en la Tabla 7-15.

Tabla 7-15 Importaciones de baterías en maquinaria

Código arancelario	Contenido verificado	Unidades Importadas		Baterías importadas [ton]	
		2018	2019	2018	2019
8427.1011	Carretillas apiladoras/montacargas, transpaletas eléctricos, y grúas horquilla.	2,129	2,665	36.19	45.31
8427.1012	Carretillas apiladoras/montacargas, transpaletas eléctricos, y grúas horquilla.	792	762	13.46	12.95
8427.1090	Carretillas apiladoras, transpaletas eléctricos, plataformas de trabajo elevador tijera.	897	606	15.25	10.30
8427.2011	Grúas horquilla, grúas autopropulsadas, carretillas contrapesadas.	106	146	1.80	2.48
8427.2012	Grúas horquilla, carretillas apiladoras y carretillas contrapesadas.	307	370	5.22	6.29
8427.2013	Grúas horquilla, carretillas apiladoras y carretillas contrapesadas.	323	213	5.49	3.62
8427.2014	Grúas horquilla, carretillas apiladoras.	594	439	10.10	7.46
8427.2015	Grúas horquilla, plataformas articuladas y plataformas tijera.	88	75	1.50	1.28
8427.2016	Grúas horquilla, montacarga frontal, carretillas autopropulsadas y carretillas apiladoras.	574	808	9.76	13.74
8427.2090	Manipuladores telescópicos, brazo elevador, plataformas de trabajo, carretillas elevadoras.	665	603	11.31	10.25
8429.1110	Topadora frontal y bulldozers.	88	177	1.50	3.01
8429.1910	Topadora frontal y bulldozers.	5	14	0.09	0.24
8429.2010	Motoniveladoras.	488	150	3.20	2.55
8429.3000	Traíllas (<i>Scrappers</i>).	4	3	0.07	0.05
8429.4010	Rodillos compactadores.	216	291	3.67	4.95
8429.4090	Placas compactadoras.	83	235	1.41	4.00
8429.5110	Cargadores frontales.	1,053	1,160	17.90	19.72
8429.5190	Cargadores frontales y retroexcavadoras.	228	31	3.88	0.53
8429.5210	Excavadoras hidráulicas, autopropulsadas, de oruga.	1,090	1,475	18.53	25.08
8429.5290	Máquinas cargadoras.	6	6	0.10	0.10
8429.5910	Retropalas y excavadoras.	3	15	0.05	0.26
8429.5920	Máquinas excavadoras.	2	2	0.03	0.03
8429.5930	Retroexcavadoras.	119	113	2.02	1.92
8429.5990	Cargadoras excavadoras, retroexcavadoras y manipuladores telescópicos.	873	1,042	14.84	17.71
8430.1000	Martinets hidráulicos e incadoras.	82	74	1.39	1.26
8430.2000	Máquinas quitanieves.	16	13	0.27	0.22
8430.3100	Máquinas perforadoras y tuneladoras.	97	118	1.65	2.01
8430.3900	Máquinas perforadoras y corta pavimento.	237	297	4.03	5.05
8430.4110	Máquinas perforadoras.	52	104	0.88	1.77
8430.4190	Máquinas perforadoras y martillos hidráulicos.	192	104	3.26	1.77
8430.4910	Máquinas perforadoras.	125	498	2.13	8.47
8430.5000	Máquinas acunadoras y niveladoras.	27	78	0.46	1.33
8430.6900	Martillos perforadores y martillos hidráulicos.	772	1,065	13.12	18.11
8433.5100	Máquinas cosechadoras.	118	145	2.01	2.47
8433.5300	Máquinas cosechadoras.	422	305	7.17	5.19
8433.5920	Máquinas cosechadoras.	20	27	0.34	0.46

Código arancelario	Contenido verificado	Unidades Importadas		Baterías importadas [ton]	
		2018	2019	2018	2019
8433.5930	Máquina vendimiadora.	27	23	0.46	0.39
8701.- - - -	Tractores	10,705	8,704	181.99	147.97
	Total de maquinaria	23,325	22,956	396.53	390.25

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que hay gran cantidad de importación de maquinaria de uso industrial como apiladoras, montacargas, transpaletas y grúas horquilla. Por otro lado, la industria agrícola forestal concentra sus importaciones en máquinas cosechadoras y vendimiadoras, dado que el resto de la maquinaria de este rubro funciona de forma mecánica acopladas a tractores. En cuanto a la industria de construcción, las importaciones se concentran en máquinas perforadoras, martillos perforadores y martillos hidráulicos, también se observan altas importaciones de cargadoras excavadoras, retroexcavadoras y manipuladores telescópicos.

Los datos de importaciones de maquinaria se utilizan como dato para el modelo desarrollado de generación de BFU por parte de la maquinaria industrial, que se presenta a continuación en la Sección 8.

7.5 Consolidación de ingreso neto baterías a granel y contenidas en equipos

En las secciones previas de este capítulo se puede ver cómo las importaciones de baterías, principalmente de arranque, se componen de importaciones de baterías, lo que se llama baterías a granel, e importaciones de equipos que contienen baterías, como el parque vehicular y de maquinarias. En esta sección se presentan los resultados de importaciones de baterías considerando las baterías de plomo, otros compuestos, parque vehicular y maquinarias.

En estudios anteriores, se han considerado las importaciones de baterías a granel como la única fuente de ingreso de baterías al país. En el presente estudio, se consideran las importaciones de baterías contenidas en vehículos y maquinaria para obtener una representación real de cuantas baterías de arranque y otros tipos ingresan al país. El resumen de los resultados obtenidos en este capítulo se presenta en la Tabla 7-16.

Tabla 7-16 Ingreso total de baterías y baterías contenidas en equipos

Origen	Clasificación	Ingreso de unidades 2018	Peso ingresado 2018 (ton)	Subtotal 2018 (ton)	Ingreso de unidades 2019	Peso ingresado 2019 (ton)	Subtotal 2019 (ton)
Baterías de plomo	Arranque	1,900,205	26,261	29,045	1,896,485	25,469	27,400
	Tracción	3,207	70		3,077	67	
	Estacionaria	415,789	2,714		296,837	1,864	
Baterías de otros compuestos	Arranque	34,152	448	2,830	54,412	707	4,303
	Tracción	747,222	1,843		776,736	1,927	
	Estacionaria	31,577	540		128,762	1,668	
Ingreso vehicular	Vehículos para 10 personas o más	7,161	199	6,463	7,373	210	6,197
	Vehículos para transporte de personas	337,479	4,309		259,393	3,268	
	Vehículos para transporte de mercancías	101,931	1,739		78,502	1,351	
	Vehículos para usos especiales	1,594	54		35,976	1,223	
	Motocicletas	435,812	162		229,584	145	
Ingreso de maquinarias	Tractores	10,705	182	397	8,704	148	390
	Otras maquinarias	12,620	215		14,252	242	
	Total de baterías importadas	4,039,454	38,736	38,735	3,790,093	38,289	38,290

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el grueso del ingreso corresponde a baterías de plomo importadas a granel, representando un 72% del total en 2018 y un 74% del total en 2019. Lo anterior remarca la relevancia de considerar las baterías de otros compuestos, así como las baterías de ingresadas dentro vehículos o maquinarias, las cuales implican un aumento relevante del total de baterías que ingresan al país cada año.

En el caso de las baterías de otros compuestos, existe una fuente de incertidumbre asociada a que la definición utilizada en los códigos arancelarios hace que pilas secundarias, es decir, pilas con posibilidad de recarga, sean ingresadas como baterías, aun cuando según la definición establecida en la RE 409/2018 del MMA. De esta forma, esta diferencia en la definición resulta en que se requiera un análisis de cada uno de los registros de Aduanas, proceso que depende de la forma en que se completan los campos descriptivos de Aduanas, y que actualmente no permiten contar certeza respecto a si corresponde a una batería o a una pila. En este sentido, el presente esfuerzo se basa en la búsqueda semi asistida descrita, y que a partir de un set de palabras claves busca discernir si el registro correspondería a una pila o batería. Si bien, este es un proceso que agrega incertidumbre, se considera que es el mejor esfuerzo en consideración de la información disponible. Si bien, estas baterías aun representan una fracción relativamente pequeña del total (7% y 11% en peso, para los años 2018 y 2019), es esperable que vaya aumentando su participación, en la medida que las baterías, especialmente de iones de litio, sigan reduciendo sus precios y aumentando su rendimiento.

Respecto a las importaciones vehiculares, debido al gran tamaño del parque vehicular y la alta cantidad de importaciones anuales, se puede ver que representan una fracción importante del total de baterías. Las baterías contenidas en vehículos importados corresponden al 17% y al 16% del total de baterías importadas para 2018 y 2019 respectivamente. Se puede notar cómo hay una alta cantidad de unidades de baterías importadas por motocicletas, sin embargo, debido a su tamaño estas no representan una fracción mayor del peso total importado.

Por último, las importaciones de maquinarias representan el aporte del sector industrial a las importaciones de baterías. En la tabla se observa que el peso total de baterías de maquinaria importado corresponde a alrededor del 1% del total de baterías importadas para 2018 y 2019. Si bien representan una fracción menor del total, es importante contar con los datos de importaciones de maquinarias, ya que son utilizados para modelar el parque de maquinarias y obtener los datos de generación de BFU por parte del sector industrial, procedimiento que es presentado en la Sección 8.2.

8. Estimación de la generación de BFU

La generación de BFU se ve afectada por múltiples parámetros tales como las características de cada batería, por ejemplo, materialidad, potencia, capacidad nominal o voltaje, y el modo de operación, por ejemplo, periodicidad de uso, tipo de ciclo de operación o intensidad de uso.

La complejidad de la estimación de la generación de BFU aumenta más aún al considerar la heterogeneidad de la información disponible para la modelación, por ejemplo, mientras para las baterías de arranque en el parque vehicular en ruta se cuenta con antecedentes no sólo del consumo histórico de este tipo de baterías, sino que también del tamaño del parque vehicular, para otras clasificaciones de batería se cuenta con niveles más modestos de información.

De esta forma, la modelación presenta el desafío de lograr la mejor estimación sujeta a las restricciones de información, siendo lo suficientemente compleja para dar cuenta de las diferencias entre las diferentes clasificaciones de batería. En este sentido, es relevante que el objetivo de la modelación no es sólo la generación de cifras, sino que también busca entregar antecedentes tales como la sistematización de la información, la combinación entre las diferentes partes y un análisis de la calidad de las cifras generadas.

Considerando lo anterior, la modelación propuesta considera la estimación de BFU por medio de cuatro módulos, cada uno de los cuales presenta una metodología propia adaptada a la disponibilidad de información propia:

1. Estimación de la generación de BFU de arranque por parque vehicular
2. Estimación de la generación de BFU de arranque por parque industrial
3. Estimación de la generación de BFU de tracción
4. Estimación de la generación de BFU estacionarias

En particular la vida útil de las baterías representa uno de los parámetros más relevantes a la hora de estimar las BFU, en ese sentido los cuatro módulos de modelación consideran tres escenarios de vida útil de las baterías, un escenario vida media, un escenario de vida corta y un escenario de vida larga.

Las siguientes cuatro secciones presentan el detalle de modelación, así como los resultados de cada uno de los módulos de modelación, mientras que la quinta Sección presenta los resultados consolidados. Se destaca que los cuatro módulos fueron implementados en el software *Analytica* y que la totalidad del modelo, sus funciones e información base está disponible en los Anexos digitales del presente estudio.

8.1 Estimación de la generación de BFU de arranque por parque vehicular

Las BFU de arranque por parque vehicular considera todas aquellas baterías utilizadas en vehículos automóviles en ruta y con un motor de combustión. Estas baterías se caracterizan por su alta potencia, pero con una demanda por energía corta en el tiempo, cuyo periodo de máxima demanda de potencia se da durante el arranque de motor. Además de permitir el arranque, provee funciones secundarias a los vehículos tal como la estabilización del voltaje del sistema, así como la entrega de corriente cuando la generación del alternador es insuficiente.

En general, sus características tienen directa relación con la demanda durante la partida, la cual a su vez se relaciona directamente con la cilindrada y tipo de motor. Mientras mayor sea la cilindrada de un motor, se espera que requiera de una batería más grande que provea la energía suficiente para el arranque. Por otra parte, los motores diésel⁹ requieren niveles de compresión sustancialmente mayores que los motores a gasolina¹⁰, por lo que, en general, para un mismo cilindraje requieren una batería con mayor capacidad.

La estimación de las BFU se realiza considerando la misma metodología general utilizada en GESCAM (GESCAM, 2017) y EY (EY, 2017)¹¹, la cual sigue un enfoque *Top-Down* para la estimación a partir del parque vehicular existente. Dicha metodología presenta la ventaja de que cuenta con información oficial provista por el INE respecto del parque vehicular para diferentes años. En el presente ejercicio, el parque vehicular de cada año se caracteriza bajo dos dimensiones: categoría del parque vehicular y tipo de motor.

Si bien, tal como se expuso al momento de cuantificar las baterías contenidas en las importaciones de vehículos, la cilindrada del motor también es un factor que afecta el requerimiento de batería, la información del parque vehicular del INE no presenta este nivel de detalle. Frente a esto se realizan supuestos basados en las importaciones, para asignar los diferentes tipos de baterías a la combinación de categoría vehicular y tipo de motor del INE.

El parque vehicular 2018 y 2019, presentado en la Tabla 8-1, corresponde al último parque vehicular presentado por INE. Se observa que el año 2018 el parque vehicular tiene 5.38 millones de vehículos motorizados, 74% de los cuales corresponden a vehículos con motor a gasolina, un 26% a vehículos con motor diésel y sólo una fracción muy menor corresponde a motor eléctrico. Al año 2019 el parque aumenta a 5.60 millones de vehículos motorizados, significando un crecimiento de 4%, y si bien se duplica el número de vehículos eléctricos, aún representa una fracción muy menor manteniéndose la distribución general observada el año 2018. Si bien se observa un predominio de los motores a gasolina, al observar por categoría del parque vehicular se observa que este predominio sólo se da en las categorías de “Automóvil y station wagon” y

⁹ También conocido como motor de embolo/pistón o motor de compresión.

¹⁰ También conocido como motor de explosión o Motor Otto. Estos motores, principalmente utilizan gasolina, aunque también puede operar con GNC.

¹¹ Ver Sección 3.1.2 y Sección 3.3.2, para un resumen de la metodología

“Motocicletas y similares”, siendo predominante el uso de motor diésel en el resto de las categorías. En la Figura 8-1 se presenta el parque vehicular desde el año 2014, observándose un crecimiento homogéneo en el periodo, aumentando 1.13 millones de vehículos desde 4.47 millones de vehículos al año 2014 a los 5.60 del año 2019. Lo anterior equivale a un crecimiento anual promedio del parque de 4.61%.

Tabla 8-1 Parque vehicular [vehículos] motorizado, años 2018-2019

Categoría Parque Vehicular	2018			2019		
	Motor Diésel	Motor Gasolina	Eléctrico	Motor Diésel	Motor Gasolina	Eléctrico
Automóvil y station wagon	323,172	3,236,698	526	339,390	3,379,969	1,036
Todo terreno +Furgón	131,852	73,266	28	134,022	74,708	99
Minibús	22,766	2,860	-	21,707	2,859	-
Camioneta	570,816	385,542	8	605,784	390,461	8
Motocicleta y similares	63	188,945	580	26	194,041	979
Otros livianos con motor	1,077	815	-	1,205	933	-
Taxi básico	2,596	31,481	2	3,205	30,051	7
Taxi colectivo	15,771	44,861	6	17,078	44,288	22
Taxi turismo	1,248	8,004	65	1,507	7,722	123
Minibús colectivo	43,623	3,222	-	48,633	5,281	8
Bus, transporte colectivo	55,720	1,153	129	56,596	1,463	456
Camión simple	152,699	3,519	4	153,078	2,930	10
Tractocamión	49,833	5	-	50,171	62	-
Tractor agrícola	8,543	336	-	8,519	261	1
Otros Carga con motor	19,126	1,532	112	19,523	1,398	113
Total	1,398,905	3,982,239	1,460	1,460,444	4,136,427	2,862

Fuente: Elaboración propia en base a datos INE

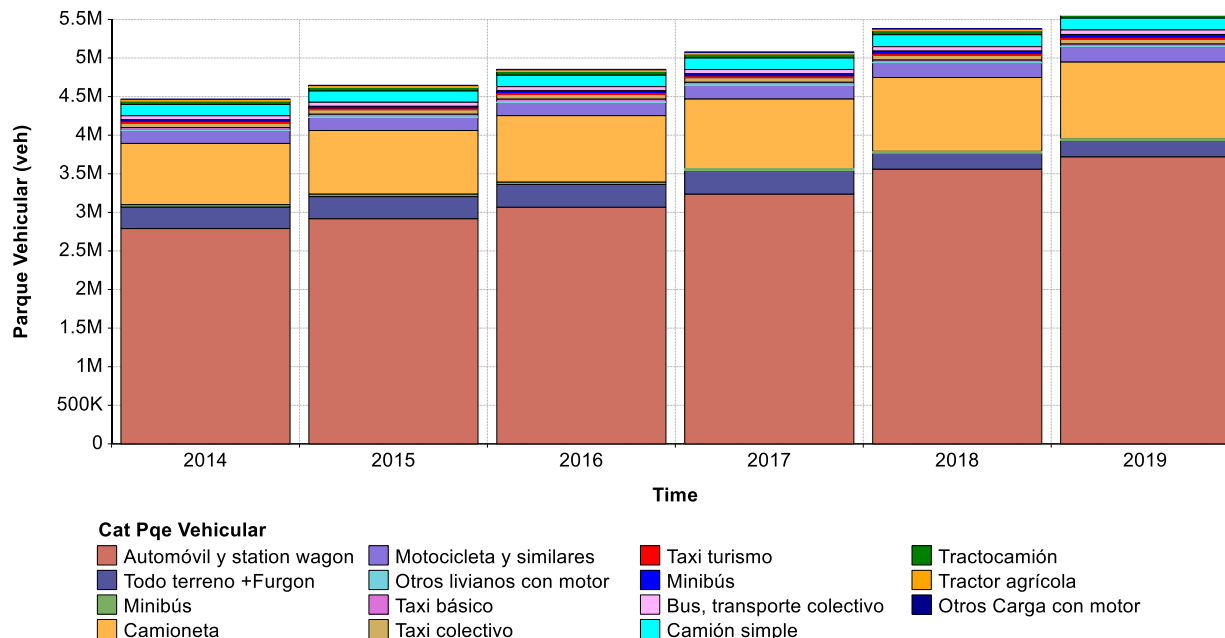


Figura 8-1 Parque vehicular [vehículos] motorizado según categoría vehicular

Fuente: Elaboración propia en base a datos INE

Una vez conocido el parque se busca realizar una estimación de las baterías contenidas en los vehículos. En el presente estudio se distinguen cuatro tipos de baterías, las cuales se caracterizan por su capacidad nominal medida en Amperes-horas (AH). El primer tipo, Baterías de 6-15 AH, son las de menor capacidad y son utilizadas en motores pequeños, principalmente en motocicletas. El segundo tipo, Baterías de 35-50 AH, corresponde a baterías usadas en vehículos de pasajeros gasolineras y pequeños. El tercer grupo, Baterías de 55-70 AH, corresponde a un intervalo mediano de capacidad nominal asociadas tanto a vehículos con motor a gasolina grande, como a vehículos con motor diésel pequeños. Por último, el tipo de baterías más grande corresponde a baterías entre 70-90 AH, las cuales son utilizadas por vehículos con motor diésel de mayor tamaño. Lo anterior se resume en la siguiente Tabla.

Tabla 8-2 Batería utilizada según tipo de motor y cilindrada

Cilindrada	Motor Diésel	Motor Gasolina
Motocicletas	Batería 6-15 AH	Batería 6-15 AH
Menor a 1500cc	Batería 55-70 AH	Batería 35-50 AH
Mayor a 1500cc	Batería 70-90 AH	Batería 55-70 AH

Fuente: Elaboración propia

En comparación el estudio de GESCAM (GESCAM, 2017) distinguía en dos tipos de baterías: Baterías caja 42 (comparable con Batería 35-50 AH) y las baterías caja 27 (comparable con Batería 70-90 AH). Se observa que el presente estudio permite diferenciar con mayor detalle, en especial las baterías medianas y las baterías de motocicleta.

Dado que la información del parque vehicular de INE no cuenta con información asociada a la cilindrada de los vehículos, se realiza el análisis de la distribución de los vehículos que ingresan al país de acuerdo a los datos de Aduana. Los códigos arancelarios de aduana permiten distinguir los vehículos de acuerdo a la cilindrada y el combustible. Esta misma distribución, que fue presentada en la Sección 7.3, se utiliza para la distribución del parque vehicular INE. La distribución se presenta en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3 Baterías por vehículo según categoría de vehículo [baterías/vehículo]

Categoría Parque Vehicular	Motocicleta	Motor a Diésel		Motor a Gasolina	
		Menor a 1500cc	Mayor a 1500cc	Menor a 1500cc	Mayor a 1500cc
	Batería 6-15 AH	Batería 55-70 AH	Batería 70-90 AH	Batería 35-50 AH	Batería 55-70 AH
Automóvil y station wagon	0%	10%	90%	49%	51%
Todo terreno +Furgón	0%	0%	100%	0%	100%
Minibús	0%	0%	100%	0%	100%
Camioneta	0%	0%	100%	0%	100%
Motocicleta y similares	100%	0%	0%	0%	0%
Otros livianos con motor	0%	0%	100%	0%	100%
Taxi básico	0%	10%	90%	49%	51%
Taxi colectivo	0%	10%	90%	49%	51%
Taxi turismo	0%	10%	90%	49%	51%
Minibús Colectivo	0%	0%	100%	0%	100%
Bus, transporte colectivo	0%	0%	(1) 200%	0%	(1) 200%
Camión simple	0%	0%	(1) 200%	0%	(1) 200%
Tractocamión	0%	0%	(1) 400%	0%	(1) 400%
Tractor agrícola (2)	0%	0%	0%	0%	0%
Otros Carga con motor	0%	0%	100%	0%	100%

(1) Número mayor a 100% representa que el vehículo utiliza más de una batería. 200%=2 baterías, 400%= 4 baterías

(2) Baterías contabilizadas en parque industrial. Se considera cero en esta sección para evitar doble conteo.

Fuente: Elaboración propia

Una vez estimada la cantidad de baterías en el parque se estima la generación de BFU considerando su vida útil. Para ello se distinguen dos tipos de usos, los usos poco intensivos asociados a las categorías vinculadas al transporte particular y otros¹², los cuales consideran un modo de uso menos intensivo que el resto de las categorías, relacionadas a usos de transporte colectivo y de carga. El escenario de vida útil media se basa en los supuestos utilizados por GESCAM (2017).

¹² “Automóvil y Station Wagon”, “Todo Terreno”, “Furgón”, “Minibús” “Camioneta” y “Motocicleta y similares”

Tabla 8-4 Vida útil de baterías según su uso

Tipo de uso	VU Corta	VU Media	VU Larga
Uso poco intenso	2	3	4
Uso intenso	1.5	2	3

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores se estiman la generación de BFU mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Estimación de BFU de parque vehicular

$$BFU^{tipo} = \sum_{cat\ veh,comb} \frac{Parque\ Vehicular_{cat\ veh,comb} * Baterías\ por\ vehículo_{cat\ veh,comb}^{tipo}}{Vida\ Util\ Baterías_{cat\ veh}}$$

Donde,

BFU^{tipo} : Batería fuera de uso según tipo de batería

$Parque\ Vehicular_{cat\ veh,comb}$: Parque vehicular según categoría vehicular y combustible, presentado en la Tabla 8-1.

$Baterías\ por\ vehículo_{cat\ veh,comb}^{tipo}$: Cantidad promedio de baterías según tipo por categoría vehicular y combustible, presentado en la Tabla 8-3.

$Vida\ Util\ Baterías_{cat\ veh}$: Vida útil de baterías según categoría vehicular y uso imputado, presentado en la Tabla 8-4.

Los resultados de la estimación siguiendo la anterior metodología se presentan en las siguientes tablas. Los resultados están en el orden de magnitud de los resultados en estudios previos presentados en la Tabla 4-7.v

Tabla 8-5 Estimación de la generación de BFU según tipo de baterías [unidades]

Tipo de batería	2018			2019		
	VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Batería 35-50 AH	827,075	553,698	413,537	861,703	576,721	430,852
Batería 55-70 AH	1,105,236	740,131	552,618	1,145,969	767,329	572,985
Batería 70-90 AH	973,768	687,940	486,884	1,006,704	710,529	503,352
Batería 6-15 AH	94,504	63,003	47,252	97,034	64,689	48,517
Total	3,000,583	2,044,772	1,500,292	3,111,410	2,119,267	1,555,705

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8-6 Estimación de la generación de BFU según categoría vehicular [unidades]

Categoría parque vehicular	2018			2019		
	VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Automóvil y station wagon	1,779,935	1,186,623	889,968	1,859,680	1,239,786	929,840
Todo terreno +Furgon	102,559	68,373	51,280	104,365	69,577	52,183
Minibús	12,813	8,542	6,407	12,283	8,189	6,142
Camioneta	478,179	318,786	239,090	498,123	332,082	249,061
Motocicleta y similares	94,504	63,003	47,252	97,034	64,689	48,517
Otros livianos con motor	1,261	946	631	1,425	1,069	713
Taxi básico	22,718	17,039	11,359	22,171	16,628	11,085
Taxi colectivo	40,421	30,316	20,211	40,911	30,683	20,455
Taxi turismo	6,168	4,626	3,084	6,153	4,615	3,076
Minibús Colectivo	31,230	23,423	15,615	35,943	26,957	17,971
Bus, transporte colectivo	75,831	56,873	37,915	77,412	58,059	38,706
Camión simple	208,291	156,218	104,145	208,011	156,008	104,005
Tractocamión	132,901	99,676	66,451	133,955	100,466	66,977
Tractor agrícola (1)	-	-	-	-	-	-
Otros Carga con motor	13,772	10,329	6,886	13,947	10,461	6,974
Total	3,000,583	2,044,772	1,500,292	3,111,410	2,119,267	1,555,705

(1) Generación de BFU consideradas en parque industrial

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación en términos de masa, se suponen pesos promedio según tipo de batería (ver Tabla 8-7). La estimación de estos pesos fue determinada como el promedio de los pesos de baterías de cada uno de los rangos de AH, de baterías vendidas en el país. Lo anterior se estimó por medio de una revisión de las fichas y detalles técnicos de baterías vendidas en casas comerciales del país.

Tabla 8-7 Masa por unidad de batería [kg/unidad]

Tipo de Batería	Masa
Batería 35-50 AH	11
Batería 55-70 AH	14
Batería 70-90 AH	17
Batería 6-15 AH	3.5

Fuente: Elaboración propia

En base a dichos resultados se obtienen los resultados de la estimación de la generación de BFU. Para el año 2019 se estima una generación de 32.64 [23.11-46.23]¹³ miles de toneladas para el escenario medio. A partir de los resultados del parque vehicular para los años 2014 a 2019 se realiza la estimación para la serie de tiempo, observándose que los resultados de la estimación desde el año 2014 ha aumentado con una tasa anual promedio de 4.3%.

¹³ Presentado como escenario vida media [escenario vida larga – escenario – vida corta]

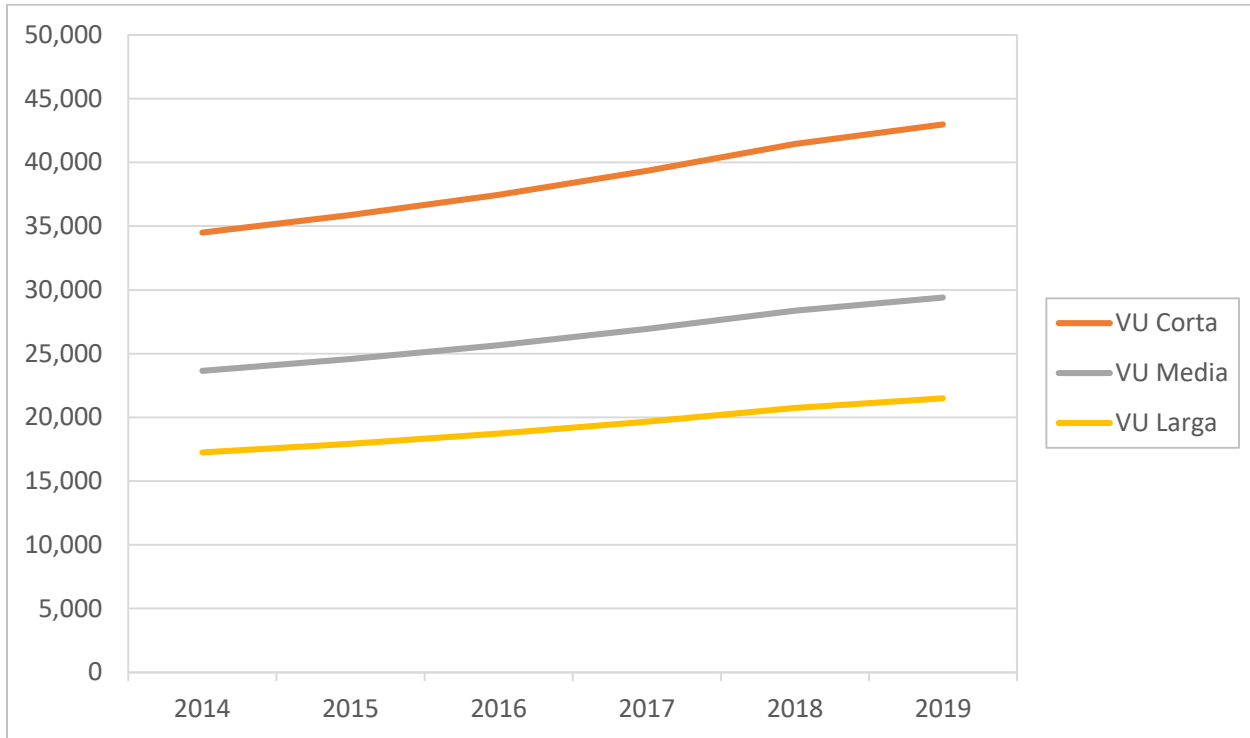


Figura 8-2 Resultados de BFU [toneladas/año] para los tres escenarios

Fuente: Elaboración propia

8.2 Estimación de la generación de BFU de arranque por parque industrial

Las BFU de arranque por parque industrial corresponde a aquellas baterías que han llegado al fin de su vida útil utilizadas en la maquinaria con combustión de la industria. Estas baterías de características similares a las baterías de arranque del parque vehicular en ruta, tienen los mismos objetivos asociados a la maquinaria. Estas maquinarias utilizan motores diésel de tamaño mediano o grande, y tiene una operación que varía de acuerdo a las diferentes funciones que cumplen.

A nivel metodológico, se opta por utilizar una metodología similar a la estimación de BFU de arranque del parque vehicular. Esto tiene el objetivo de evitar inconsistencias metodológicas al momento de agregar los resultados de BFU de arranque. La complejidad de esto radica en que, a diferencia del parque vehicular, no existe un parque de maquinarias oficial y/o que sea actualizado regularmente. En este sentido un antecedente relevante corresponde al estudio “Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país” (GEASUR, 2014), el cual realiza una estimación del parque industrial al año 2013. La metodología para la estimación de este parque se basa en la revisión

de los análisis de las bases de datos del Servicio Nacional de Aduanas¹⁴ para el periodo 2000-2013, el cual se complementa con un análisis de los datos de las Plantas de Revisión Técnica con el cual se realiza una estimación de la maquinaria con fecha anterior.

Dicho inventario año 2013, es considerado como año base y se procede a actualizarlos al año 2018. Para ello se considera un balance de maquinaria con una ecuación recursiva, considerando la maquinaria que es retirada por cumplir su vida útil y la maquinaria que ingresa al país:

Ecuación 2 Estimación de parque industrial

$$Parque_t = Parque_{t-1} + In_t - Out_t$$

Estimación del parque inicial

El parque inicial del año 2013, corresponde al parque estimado por tipo de maquinaria y sector industrial. Dado que para la metodología se requiere conocer la edad del parque se utiliza la misma categorización del parque utilizada para la estimación del parque antes del año 2000, la cual se basa en la vida útil esperada (ver Tabla 8-8). Utilizando la información de las PRT¹⁵ disponible, se cuenta con una distribución de edad de las maquinas existentes al año 2013 según la categoría. De esta forma, se cuenta con un parque de maquinaria industrial clasificado en tres dimensiones:

- Sector industrial
- Categoría de maquinaria
- Edad

Tabla 8-8 Agrupación según tipo de maquinaria

Tipo de Maquinaria	Vida útil según EMEP/EEA	Categoría
Tractores	30	Vida Larga
Cosechadoras	25	
Grúa Horquilla	20	Vida Mediana
Rodillo	14	
Minicargadores	14	Vida Corta
Motoniveladoras	10	
Asfaltadora	10	
Barredoras	10	
Plataforma telescópica	10	
Bulldozer	10	
Cargadoras	10	
Excavadoras	10	
Camión fuera de carretera	10	
Otras	10	

Fuente: Elaboración propia en base a (EMEP/EEA, 2019b)

¹⁴ No se especifican los códigos arancelarios considerados

¹⁵ Plantas de Revisión Técnica

Estimación de la salida del parque

De la observación de los datos de las PRT se observa que un número amplio de la maquinaria tiene una edad superior a su vida útil. Lo anterior no es inconsistente, sino que se cuadra con los descrito por la US-EPA (US-EPA, 2005), donde se plantea que las maquinarias pueden tener una vida útil del doble que la vida media esperada (ver Figura 8-3). De acuerdo a dicho documento la vida útil es descrita por una distribución normal con media en la vida media.

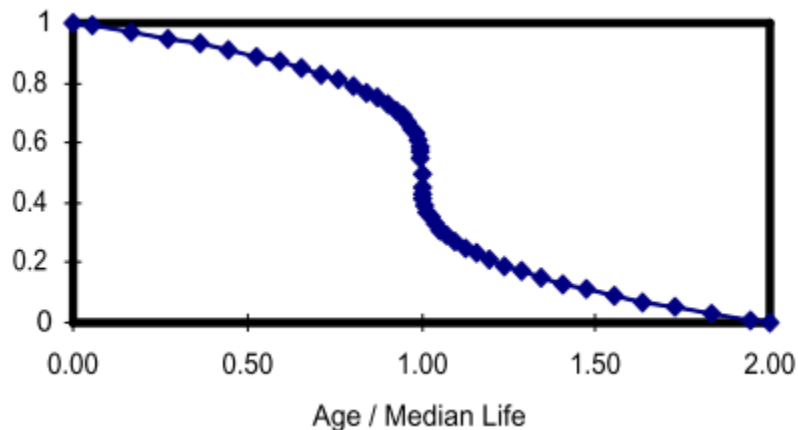


Figura 8-3 Distribución de edad respecto a vida media

Fuente: (US-EPA, 2005)

La curva es descrita como una normal con media en 1 y una desviación estándar de 0.27, la cual es amplificada por la vida media de las distintas maquinarias. Utilizando dicha distribución se estima el valor esperado de las máquinas que salen dada la edad del parque y la vida media esperada de cada maquinaria.

Ecuación 3 Estimación de maquinarias salientes del parque

$$Out_t = Parque_{t-1} * P(edad, vida media)$$

Estimación de la entrada al parque

Respecto a la entrada al parque, el estudio de GEASUR encuentra una línea tendencial con un alto nivel de correlación Figura 8-4, salvo para el año 2009. En dicho estudio plantean una estimación basada en esta observación histórica para plantear una proyección (ver Figura 8-4). A partir de los datos del Servicio Nacional de Aduanas, se observa que la entrada al parque 2018 serían de 23,295 unidades y 22,956 unidades para el año 2019. Al contrastar la proyección realizada por GEASUR, se observa que ellos predecían cerca de 20 y 21 mil nuevas maquinarias para el 2018 y 2019, respectivamente. En vista de los anterior, se realiza nuevas regresiones lineales para obtener nuevos modelos de proyección de la entrada del parque, con un mayor ajuste a lo observado en los años 2018 y 2019.

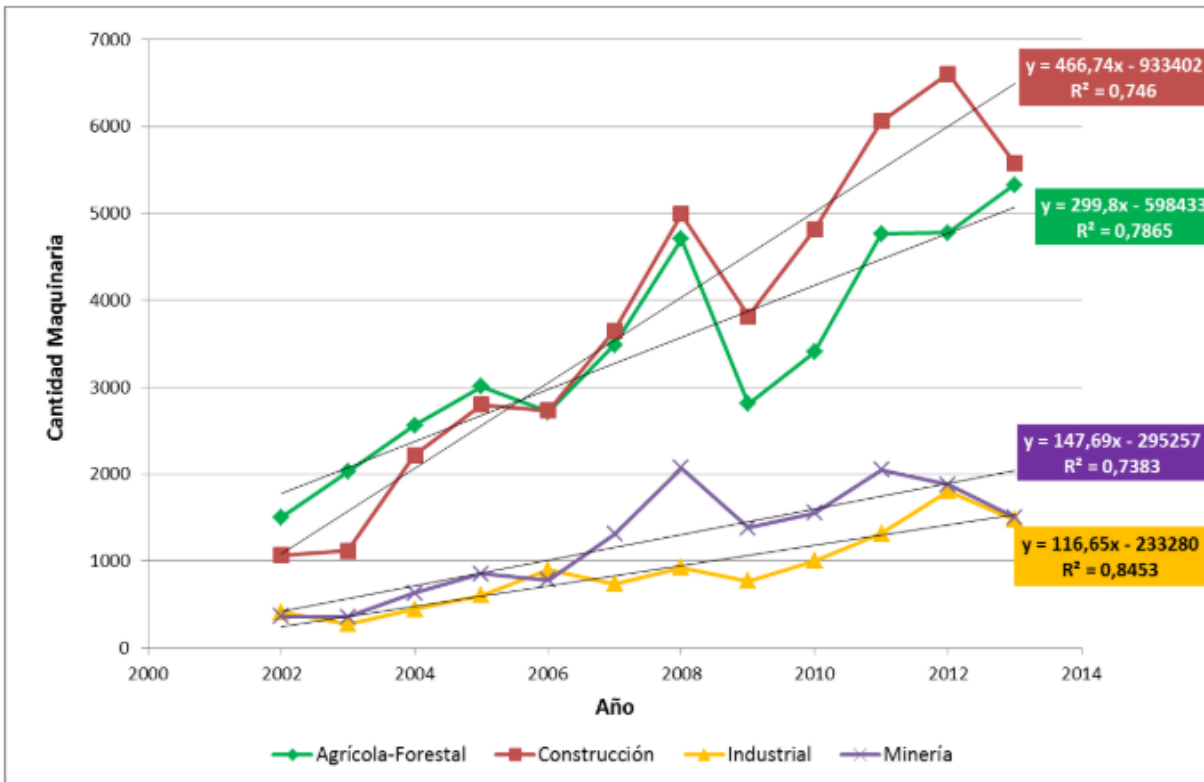


Figura 8-4 Tendencias de maquinarias importadas

Las importaciones del año 2009 son sustituidas por el promedio móvil de 3 años

Fuente: (GEASUR, 2014)

Tabla 8-9 Resultados de coeficientes de entrada tendencial

Sector industrial	Coef 1	Coef 2	R2
Agrícola-Forestal	414.53	-828,537	0.92
Construcción	495.70	-991,252	0.97
Industrial	131.79	-263,644	0.95
Minería	128.65	-257,025	0.81

Fuente: Elaboración propia

Resultados para baterías de arranque industrial.

Con la implementación metodológica de la metodología recién descrita para la estimación de los datos de entrada y de salida se procede a estimar de forma recursiva el parque industrial. Los resultados para el periodo 2014 a 2019 se presentan en la Tabla 8-10 observándose que en el periodo ha habido un crecimiento constante, equivalente a una tasa promedio anual de 10.5%. Si bien, los distintos sectores industriales presentan tasas similares, el aumento ha sido más pronunciado en el sector construcción e industria (tasa promedio anual de 10.8%) y menos pronunciado en el sector minería (tasa promedio anual de 10.0%). Se destaca que aun así el grueso de la maquinaria se encuentra en el sector agrícola forestal (44.0%), seguido por el sector construcción (36.4%).

Tabla 8-10 Parque de maquinaria por sector industrial [unidades]

Año	Agrícola Forestal	Construcción	Industrial	Minería	Total
2014	50,547	40,835	10,595	11,847	113,824
2015	56,118	44,954	11,645	12,972	125,689
2016	62,091	49,983	12,949	14,322	139,344
2017	68,430	55,558	14,408	15,800	154,197
2018	75,596	62,066	16,118	17,520	171,301
2019	82,591	68,231	17,755	19,113	187,690

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación de baterías se considera que cada maquinaria utiliza una batería con una vida útil media de 2 años¹⁶, así como un peso equivalente a las baterías de mayor peso encontradas en el mercado actualmente, es decir, 17 [kg/batería]. Los resultados de esta estimación se presentan en la Tabla 8-11.

Tabla 8-11 Estimación de generación de BFU por sector industrial, 2018 y 2019

Sector Industrial		2018			2019		
		VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Unidades	Agrícola Forestal	50,398	37,798	25,199	55,061	41,295	27,530
	Construcción	41,378	31,033	20,689	45,487	34,115	22,744
	Industrial	10,745	8,059	5,373	11,837	8,877	5,918
	Minería	11,680	8,760	5,840	12,742	9,557	6,371
	Total	114,201	85,651	57,100	125,127	93,845	62,563
Toneladas	Agrícola Forestal	857	643	428	936	702	468
	Construcción	703	528	352	773	580	387
	Industrial	183	137	91	201	151	101
	Minería	199	149	99	217	162	108
	Total	1,941	1,456	971	2,127	1,595	1,064

Fuente: Elaboración propia

Si bien, no se cuenta un nivel de detalle similar en esfuerzos anteriores que sirva para contrastar los resultados, se observa que el resultado agregado de baterías de arranque (vehicular e industriales) para el año 2019 alcanza los 2.41 [1.72-3.44] millones de BFU en el escenario de vida media, equivalentes a 34.24 [24.18-48.35] miles de toneladas de BFU, son consistentes con las estimaciones totales de los estudios previos (ver Sección 4.2.2), y con el nivel de reciclaje declarado por RECIMAT (ver Tabla 5-6).

¹⁶ Escenario de Vida útil corta considera 1.5 años y escenario de vida útil larga considera 3 años

8.3 Estimación de la generación de BFU de tracción

Las BFU de tracción provienen de aquellas baterías utilizadas en vehículos autopropulsados eléctricos. A diferencia de las baterías de arranque, las baterías de tracción deben ser capaces de entregar corriente durante largos periodos de tiempo, contando con ciclos largos de carga y descarga. En la actualidad, el grueso de las baterías importadas con fines de tracción corresponde a baterías de litio, tecnología que favorece ciclos largos de carga y descarga, además de favorecer la eficiencia energética al ser más livianas.

Para lo anterior se revisa el parque vehicular eléctrico desde las estadísticas publicadas por el INE y presentadas en la Tabla 8-1, donde se observan 1,460 vehículos eléctricos el año 2018 y 2,860 el año 2019. Si bien se observa que de un año al siguiente se duplicaron el número de vehículos eléctrico, estos valores representan una fracción muy menor del parque total. Al respecto la estrategia de electromovilidad (Ministerio de Energía, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, & Ministerio del Medio Ambiente, 2017), estima que al año 2050 el 40% de los vehículos livianos serán eléctricos, lo cual implica un crecimiento de la participación de los vehículos eléctricos en el parque en los próximos años.

Al comparar con datos de importación se observan una diferencia relevante en cuanto a las motocicletas y similares, entre las importaciones y el parque estimado. Al observar los vehículos actualmente importados al país se observa que la mayor parte de los vehículos de tracción eléctrica ingresan por la partida 8711.6000, correspondiente a motocicletas propulsadas con motor eléctrico: 330.3 mil en 2018 y 136.5 mil en 2019 comparado con 5.2 mil y 4.1 mil vehículos para transporte de pasajeros¹⁷. En comparación, el parque vehicular del INE sólo reconoce 580 y 979 motocicletas eléctricas, para los años 2018 y 2019 (ver Tabla 8-1). Esta significativa diferencia, dada puesto que las motocicletas propulsadas con motor eléctrico no suelen realizar los trámites que sí realizan los otros vehículos: permisos de circulación y revisión técnica, dan cuenta de que el parque del INE no es una buena estimación para el parque de vehículos con tracción eléctrica.

Los estudios anteriores no cuentan con el detalle de los vehículos de tracción eléctrica, además de la falta de estadísticas oficiales que den cuenta del número de motocicletas y similares eléctricas resultan en que dicho valor es altamente incierto. Frente a esto se propone modelar este valor como una variable con incertidumbre, definida como una variable uniforme entre dos valores. El valor menor corresponde a considerar que antes del año 2018 no había vehículos de este tipo, y luego el parque correspondería a la suma de las importaciones del año 2018 y 2019, alcanzando un parque de 330.3 mil y 466.2 mil. Como cota máxima, se propone utilizar la misma relación observada entre el parque e importaciones de motocicletas y similares, para los casos de motores a combustión para los años 2018 y 2019. El resultado de esta cota máxima es de 885.2 mil y 1,021 mil para los años 2018 y 2019 respectivamente.

¹⁷ De estos, 3406 y 3478 vehículos para 2018 y 2019 corresponden a vehículos para campos de golf y similares

El resultado de dicha estimación, si bien con una amplia incertidumbre se considera más adecuada que la estimación del parque vehicular del INE, en vista de que tiene mayor relación con las importaciones observadas. De esta forma, se sustituye la estimación del parque de motocicletas eléctricas por la estimación. Para el resto de los vehículos se considera que el parque del INE es la mejor estimación, los resultados de lo anterior se presenta en la Tabla 8-12.

Tabla 8-12 Estimación de parque vehicular eléctrico, 2018 y 2019

Categoría vehicular	2018	2019
Automóvil y station wagon	526	1,036
Todo terreno +Furgón	28	99
Minibús	-	-
Camioneta	8	8
Motocicleta y similares	591,037 (356,637 – 825,438)	728,055 (493,655 – 962,456)
Otros livianos con motor	-	-
Taxi básico	2	7
Taxi colectivo	6	22
Taxi turismo	65	123
Minibús	-	8
Bus, transporte colectivo	129	456
Camión simple	4	10
Tractocamión	-	-
Tractor agrícola	-	1
Otros Carga con motor	112	113
Total	591,917 (357,517 – 826,318)	729,938 (495,538 – 964,339)

Para resultados con incertidumbre se presenta intervalo de 90% de confianza

Fuente: Elaboración propia

De esta forma se distinguen dos tipos de vehículos con tracción eléctrica: livianos (motocicletas y similares) y medianos (el resto). La estimación del peso de las baterías fue de 3.5 kg para las baterías livianas y de 22 kg para las baterías medianas¹⁸. Por su parte la vida útil se presenta en la Tabla 8-13.

Tabla 8-13 Vida útil [años] baterías vehículos de tracción eléctrica

Categoría	VU Corta	VU Media	VU Larga
Liviana	1	2	4
Mediana	4	6	8

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la modelación se presentan en la Tabla 8-14. Como punto de referencia, el año 2018 y 2019 las importaciones de baterías para tracción se estimaron en 745 y 780 mil unidades (ver Sección 7.5), lo cual está dentro de los rangos estimados para la vida útil corta. Al respecto, tal como se plantea en dicha sección, se destaca que este valor tiene un nivel importante de

¹⁸ Peso estimado para las baterías tipo Otros Vehículos a partir de los datos de aduana.

incertidumbre asociada a la diferencia en la diferenciación de baterías y pilas usadas en el contexto de la ley REP (basada en el peso, con un umbral de 2 kg) y la utilizada en Aduanas, basada en la capacidad de recarga de los acumuladores.

Tabla 8-14 Estimación de generación de BFU, año 2018 y 2019

	Categoría	2018			2019		
		VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Unidades	Liviana	591,037 (356.6k – 825.4k)	295,519 (178.3k – 412.7k)	147,759 (89.2k – 206.4k)	728,055 (493.7k – 962.5k)	364,028 (246.8k – 481.2k)	182,014 (123.4k – 240.6k)
	Media na	281	188	141	616	411	308
	Total	591,319 (356.9k – 825.7k)	295,706 (178.5k – 412.9k)	147,900 (89.3k – 206.5k)	728,671 (494.3k – 963.1k)	364,438 (247.2k – 481.6k)	182,322 (123.7k – 240.9k)
Toneladas	Liviana	1,478 (892 – 2,064)	739 (446 – 1,032)	369 (223 – 516)	1,859 (1,236 – 2,483)	930 (618 – 1,241)	620 (412 – 828)
	Media na	6	4	3	18	14	11
	Total	1,484 (898 – 2,070)	743 (450 – 1,036)	373 (226 - 519)	1,834 (1,248 – 2,420)	919 (626 – 1,212)	462 (315 – 608)

Los resultados con incertidumbre incluyen el intervalo de confianza al 90%.

Fuente: Elaboración propia

8.4 Estimación de la generación de BFU estacionarias

Las BFU estacionarias corresponden a aquellas baterías utilizadas principalmente como respaldo y, también como regulación de voltaje, de equipamiento eléctrico sensible. A diferencia de las baterías de arranque y las de tracción, las baterías estacionarias tienen conexión a otras fuentes de energía, por lo cual son constantemente cargadas, y son descargadas con poca frecuencia. Actualmente, la mayor parte de las baterías estacionarias son de plomo, sin embargo, una fracción corresponde a otras baterías, principalmente de litio.

Dado que las baterías no están asociadas a un vehículo en particular, la metodología de estimación de BFU en base al parque no es aplicable. Dado esto, se opta por seguir una metodología enfocada en el seguimiento de cada batería. Bajo esta metodología se supone que la batería será eliminada tras cumplir su vida útil, es decir, una batería con vida útil “x” importada en el año “y”, será una BFU en el año “x” + “y”.

La ventaja de la metodología es la simpleza de esta, siendo un simple desplazamiento de la serie temporal. La complejidad de la metodología es que requiere una serie extensa de tiempo. En particular, las BFU estacionarias presentan la ventaja de que es razonable hacer el supuesto de que estas ingresan al país sólo como baterías “a granel”, es decir, no contenidas en otros equipos.

Al realizar el análisis por código arancelario se observa que la mayor parte de las baterías estacionarias son importadas por el código 8507.2000, y una parte menor por medio del código 8507.3000, 8507.5000, 8507.6000 y 8507.8000. Si bien, los estudios anteriores de baterías consideran la partida 8507.2000 para estimar las importaciones, a la fecha el equipo no cuenta con el detalle para dicho código. Sólo el estudio de RYA (Ingenieros Consultores RYA, 2009) presenta el detalle para dicho código arancelario, para la serie 2002-2008. Para poblar los años intermedios se interpola linealmente entre la estimación del año 2008 y el promedio observado para el periodo 2018 y 2019. El resultado de este proceso implica una tasa anual de crecimiento promedio de 2.6%, por debajo de la tasa de crecimiento anual promedio observada para el periodo 2002-2008 (11.4%).

Para los demás códigos arancelarios se utilizan directamente las importaciones registradas en el estudio “Asesoría para la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile - Producto Prioritario Pilas” (WSP, 2020). Cabe destacar que dichas partidas han sido consideradas tradicionalmente como pilas, sin embargo, en el presente estudio se observó que una parte de ellas correspondería a la definición de baterías. El estudio de WSP cuenta con una recolección de las partidas requeridas para la serie temporal 2002-2019, los cuales incluyen corrección de algunos datos inconsistentes para el periodo 2002-2010. Se destaca el hecho de que hasta el año 2011 no se registran importaciones bajo el código arancelario 8507.6000 correspondientes a las baterías de litio y segundo principal código de importaciones de baterías estacionarios tras el 8507.2000.

Una vez reconstruida la serie temporal 2002-2017 de baterías, se supone que la fracción de baterías estacionarias en dicho periodo es equivalente a la fracción de baterías observada en la serie 2018-2019. Con lo anterior se logra una serie temporal suficientemente extensa para poder aplicar la metodología propuesta.

Esta metodología agrega las baterías en dos tipos: baterías de plomo y otras baterías. Separación que se considera relevante para posteriores análisis de los beneficios de la ley REP. Dicha agregación se realiza en base a la definición explicitada en el código arancelario.

Respecto a la vida útil de las baterías estacionarias, este es un factor con mayor incertidumbre que en las otras clasificaciones de baterías. En estudios anteriores se presentan distintos valores de vida útil para las baterías estacionarias. En el estudio de EY, 2017 se le asignó una vida útil de 8 años, mientras que en el estudio de GESCAM, 2017 se consideró una vida útil de hasta 20 años. Dado lo anterior, se considera un rango más amplio de vida útil observable en la Tabla 8-15.

Tabla 8-15 Vida útil considerad por escenario

Escenario vida útil	Años
VU Corta	8
VU Media	14
VU Larga	20

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la aplicación de la metodología descrita se presentan en la Tabla 8-16, se destaca que para el escenario de VU larga no se cuentan con resultados dado que la serie temporal de 18 años es más corta que el supuesto de vida útil, es esperable que para la proyección sí se tengan estimaciones. Los pesos utilizados corresponden a los pesos promedios estimados para la clasificación estacionaria en las partidas más 8507.2000 para las baterías de plomo y 8507.6000 para las otras baterías, estos corresponden a 6.4 kg y 11.9 kg respectivamente. Se observa que las baterías representan cerca de mil toneladas en el escenario medio una magnitud comparable a la estimación realizada para las baterías de tracción.

Tabla 8-16 Estimación de generación de BFU Estacionaria, 2018

	Agrupación	2018			2019		
		VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Unidades	Batería con Plomo	310,587	143,317	n.a.	319,226	181,996	n.a.
	Otras	21,646	6,064	n.a.	28,621	13,072	n.a.
	Total	332,233	149,381	n.a.	347,847	195,068	n.a.
Toneladas	Batería con Plomo	1,973	910	n.a.	2,028	1,156	n.a.
	Otras	257	72	n.a.	340	155	n.a.
	Total	2,230	982	n.a.	2,367	1,311	n.a.

Fuente: Elaboración propia

8.5 Consolidación de estimación de generación de BFU

A continuación, se presentan los resultados de generación de BFU para los tres tipos de baterías estudiados, acorde a los tres escenarios de vida útil. En la Tabla 8-17 se presentan los resultados consolidados por tipo de batería para el año 2018 y 2019. Considerando la vida útil media, para el año 2018 se generan 2,6 millones de BFU, de las cuales 2,1 millones son baterías de arranque, lo que corresponde al 83%, mientras que el año 2019 se bordean las 2.8 millones de BFU generadas, de las cuales 80% corresponden a baterías de arranque. La estimación apunta a que la fracción restante se divide en 2/3 baterías de tracción y 1/3 de baterías estacionarias.

En términos de peso, y siempre en el escenario de VU media, de las 64.7 mil toneladas generadas entre ambos años, 60.8 mil son de arranque, correspondiente al 94%. La diferencia de la proporción de las baterías de arranque respecto al total de BFU, en términos de cantidad de BFU y peso BFU, se explica por la diferencia de pesos unitarios considerados. Las BFU de tracción generadas se asocian principalmente a motocicletas y similares, las cuales tienen un peso significativamente menor que las BFU de arranque. Lo anterior explica que las baterías de

tracción a pesar de representar más de un 10% de la unidad de BFU generadas, sólo representan un 3% de las BFU generadas en término de masa.

Tabla 8-17 Generación de BFU según clasificación de batería, 2018 y 2019

	Clasificación	2018			2019		
		VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Unidades	Arranque	3,114,784	2,130,422	1,557,392	3,236,537	2,213,112	1,618,268
	Tracción	591,319	295,706	147,900	728,671	364,438	182,322
	Estacionaria	332,233	149,381	n.a.	347,847	195,068	n.a.
	Total	4,038,336	2,575,509	1,705,292	4,313,055	2,772,619	1,800,590
Toneladas	Arranque	43,397	29,824	21,699	45,103	30,987	22,552
	Tracción	1,484	743	372	1,834	919	462
	Estacionaria	2,230	982	n.a.	2,367	1,311	n.a.
	Total	47,111	31,549	22,071	49,304	33,218	23,013

Para resultados con incertidumbre se presenta el valor de la mediana.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las baterías estacionarias, la participación es la menor de las categorías en términos de unidades (6%) y de peso (4%). Esto se debe a la naturaleza del uso de estas baterías, donde se presentan los ciclos más largos de vida útil y menor peso, en comparación con las baterías de arranque. Aun así, se observa que en la serie de importaciones de este tipo de baterías se ha visto un crecimiento constante de las importaciones de estas baterías que podrían resultar en una relevancia mayor en el futuro.

Al observar el detalle de las BFU, se observa que las categorías “automóviles y station wagon” en conjunto con las “camionetas” representan cerca de 2 de cada 3 toneladas de BFU generadas en el país. Por lo demás, las baterías de plomo (arranque + estacionarias con plomo) representan el 97% de la generación de BFU estimada para cada año.

Tabla 8-18 Detalle de la estimación de generación de BFU [toneladas], año 2018 y 2019

Clasificación	Sub-clasificación	Tipo Bateria	2018			2019		
			VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Arranque Vehicular	Automóvil y station wagon	Con Plomo	22,959	15,306	11,479	23,991	15,994	11,996
	Todo terreno +Furgon		1,634	1,089	817	1,662	1,108	831
	Minibús		214	142	107	205	136	102
	Camioneta		7,551	5,034	3,775	7,882	5,255	3,941
	Motocicleta y similares		331	221	165	340	226	170
	Otros livianos con motor		20	15	10	22	17	11
	Taxi básico		292	219	146	286	215	143
	Taxi colectivo		550	413	275	560	420	280
	Taxi turismo		81	61	40	81	61	41
	Minibús		524	393	262	600	450	300
	Bus, transporte colectivo		1,285	963	642	1,310	983	655
	Camión simple		3,527	2,645	1,763	3,524	2,643	1,762
	Tractocamión		2,259	1,694	1,130	2,277	1,708	1,138
	Otros Carga con motor		231	173	116	234	176	117
Arranque Industrial	Agrícola Forestal	Sin Plomo	857	643	428	936	702	468
	Construcción		703	512	341	773	580	387
	Industrial		183	132	88	201	151	101
	Minería		199	158	105	217	162	108
Estacionarias	Bateria con Plomo	Sin Plomo	1,973	910	n.a.	2,028	1,156	n.a.
	Otras		257	72	n.a.	340	155	n.a.
Tracción	Liviana	Sin Plomo	1,519	760	506	1,859	930	620
	Mediana		8	6	5	18	14	11
Con Plomo			45,370	30,723	21,691	47,131	32,143	22,552
Sin Plomo			1,785	838	511	2,217	1,098	631
Total			47,155	31,561	22,203	49,348	33,241	23,182

Fuente: Elaboración propia

9. Proyección de información base

Al utilizar metodologías diferentes para la estimación de las BFU de las distintas clasificaciones de baterías, la metodología de proyección debe ser diferenciada con el objetivo de ser consistente con la información base y la metodología de estimación de BFU utilizada (ver Sección 8). En este sentido, para aquellas clasificaciones de baterías centradas en la estimación a partir del parque existente (baterías de arranque y tracción), la proyección se centra en la proyección de los parques existentes. Por su parte, para la clasificación de baterías cuya estimación de BFU sigue un enfoque basado en la serie de tiempo de baterías, la proyección se centra en la proyección de la serie de tiempo de importaciones de baterías.

Independiente del método específico de proyección, se considera un horizonte de modelación hasta el año 2030, además de mantenerse los tres escenarios de vida útil presentados en la Sección anterior.

La metodología de proyección es implementada en conjunto con las metodologías de estimación de la generación de BFU en un modelo en el software Analytica, el cual es parte de los Anexos digitales del presente informe. Para facilitar la comprensión de la interacción de la metodología de proyección con la metodología de estimación de la generación de BFU, se realiza la explicación siguiendo los mismos cuatro módulos utilizados en la Sección 8.

9.1 Proyección de la generación de BFU de arranque por parque vehicular

La metodología para la estimación de la generación de BFU por el parque vehicular, considera un enfoque basado en el parque vehicular, y una tasa de generación caracterizada por la vida útil media esperada de las baterías. En este sentido, suponiendo que la tasa de generación es invariante en el tiempo, se puede estimar directamente las baterías a partir de una proyección del parque vehicular.

La expansión del parque vehicular depende de múltiples variables, tal como la población, los ingresos, las tasas de interés, el costo de los combustibles, el costo de las alternativas de transporte, los tiempos de traslados y congestión, entre muchos otros. El análisis temporal para el periodo 2014-2018 del parque incluido en el modelo, permite observar una expansión constante del parque con una tasa anual promedio de 4.8%.

La proyección del parque vehicular considera la proyección realizada por el Ministerio de Energía en el contexto de los análisis base de la NDC. En la proyección del Ministerio de Energía, el parque crece de forma sostenida hasta el año 2030, observándose una tasa de crecimiento decreciente desde un 4.4% el 2018 a 2.6% para el año 2030, y con un promedio anual de 3.0%. Estas tasas de crecimiento son consistentes con la tasa de 4.8% observada en el periodo 2014-2018.

Para evitar discontinuidades en el origen de la proyección, dado que los parques no calzan exactamente, la proyección del parque se realiza en base a la tasa de crecimiento del parque vehicular del Ministerio de Energía, tal como se presenta en la siguiente ecuación.

Ecuación 4 Calce de proyección prospectiva con parque vehicular

$$Parque_t = Parque_{2019} * \frac{Proyección_t}{Proyección_{2019}}$$

Respecto a la distribución por tipo de motor y categoría vehicular, se consideran dos escenarios de electromovilidad que dan cuenta del crecimiento acelerado de esta tecnología en desmedro de los motores a combustión (ver Sección 9.3). La desagregación por tipo de motor, se realiza estimando el número de vehículos eléctricos, los cuales son descontados del Parque estimado a partir de la Ecuación 4, quedando solamente los vehículos a combustión. Dichos vehículos son distribuidos por tipo de motor, de acuerdo a la proporción observada para cada categoría vehicular en el año 2019.

En la Figura 9-1 y Figura 9-2 se presentan las estimaciones de la generación de BFU para el periodo 2014-2030, en los tres escenarios de vida útil planteados, para los dos escenarios de electromovilidad simulados. En el escenario conservador de electromovilidad, se observa un crecimiento constante en el periodo hasta superar los 2.8 [2.0-4.1] millones de BFU de arranque al año 2030. En términos de masa, esto es equivalente a un crecimiento anual promedio de 2.51% en el periodo 2019-2030, llegando a una generación de BFU de 38.5 [28.2 – 56.5] miles de toneladas al año 2030. En contraste el escenario optimista de electromovilidad alcanza su generación máxima de BFU el año 2027 (35.8 [26.2-52.5] miles de toneladas), llegando el año 2030 a una generación de 2.6 [1.9-3.8] millones de BFU de arranque equivalentes a 32.9 [24.3-48.6] miles de toneladas de BFU.

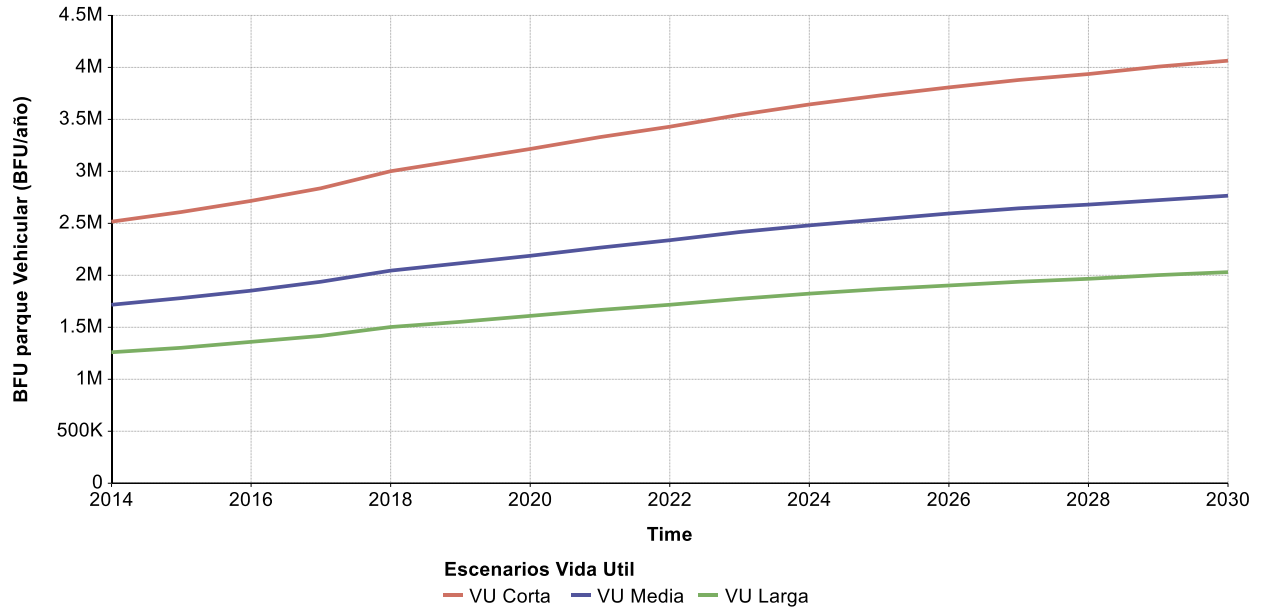


Figura 9-1 Estimación de generación BFU en parque vehicular, serie 2014-2030 [unidades], escenario electromovilidad conservador

Fuente: Elaboración propia

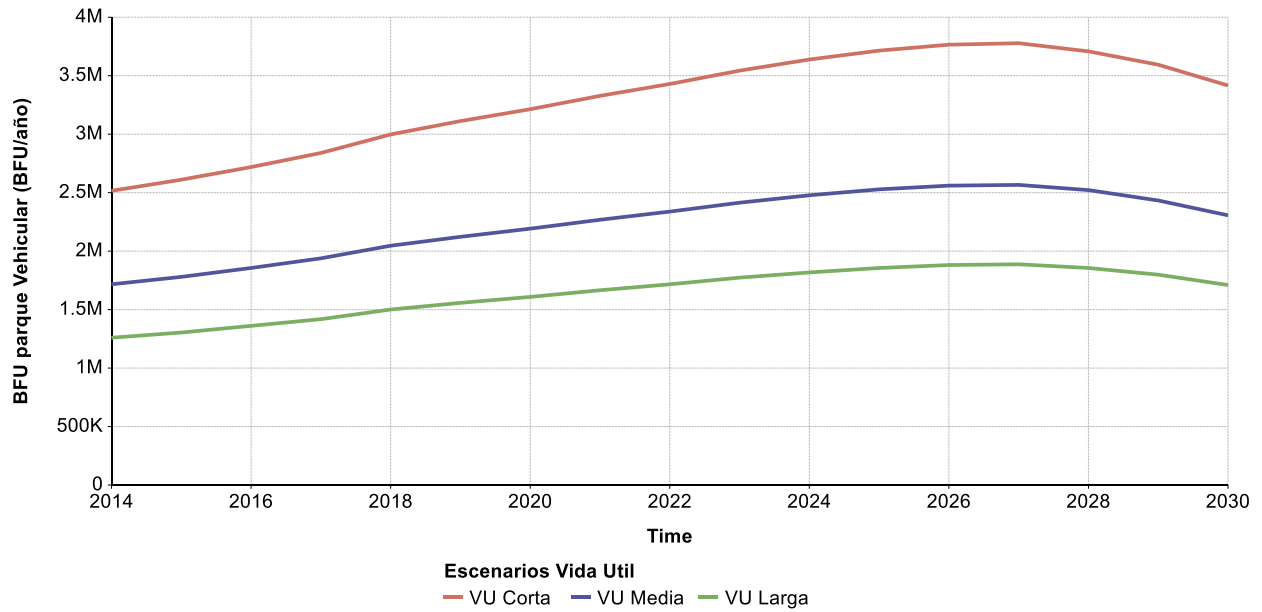


Figura 9-2 Estimación de generación BFU en parque vehicular, serie 2014-2030 [unidades], escenario electromovilidad optimista

Fuente: Elaboración propia

9.2 Proyección de la generación de BFU de arranque por parque industrial

Al igual que la proyección de la generación de BFU en el parque vehicular, para la estimación de la generación de las BFU del parque industrial, requiere una proyección del parque industrial. En este caso, se opta por utilizar la misma metodología de proyección utilizada para estimar el parque industrial en los años 2018 y 2019 (ver Sección 8.2).

Lo anterior implica una metodología recursiva que considera el parque existente en el año previo, las nuevas importaciones y el parque que se retira por cumplir su vida útil. Para éste último parámetro se utiliza la descripción realizada por la US-EPA en cuanto a la vida de las maquinarias, los cuales plantean que la vida útil de cada maquinaria tiene una distribución normal, donde una maquinaria podría llegar a cumplir el doble de su vida útil media (US-EPA, 2005).

Lo anterior se combina con el análisis de tendencia realizado por GEASUR (Geasur, 2014), quienes observan que las importaciones de maquinarias tienen una tendencia lineal, aumentando año a año con una tasa que depende del sector. Esta proyección es actualizada considerando las importaciones observadas en los años 2018 y 2019, resultando en una nueva tendencia, que estimar una proyección levemente superior a la estimación original de GEASUR.

El resultado de la implementación de la metodología anterior, manteniendo los supuestos utilizados para la estimación de generación de BFU en el sector industrial, se observa en la Figura 9-3, donde se observa un crecimiento constante durante el horizonte de estudio, llegando a superar los 3.18 [2.12 – 4.24] miles de toneladas. La distribución a nivel sectorial tiene variaciones interanuales pequeñas, resultando en que el 46% de las BFU provengan del sector agrícola, y un 35% del sector construcción. Por su parte, el sector minería representaría un 9% de las BFU generadas por el parque industrial, siendo el restante 10% producido por otras actividades industriales.

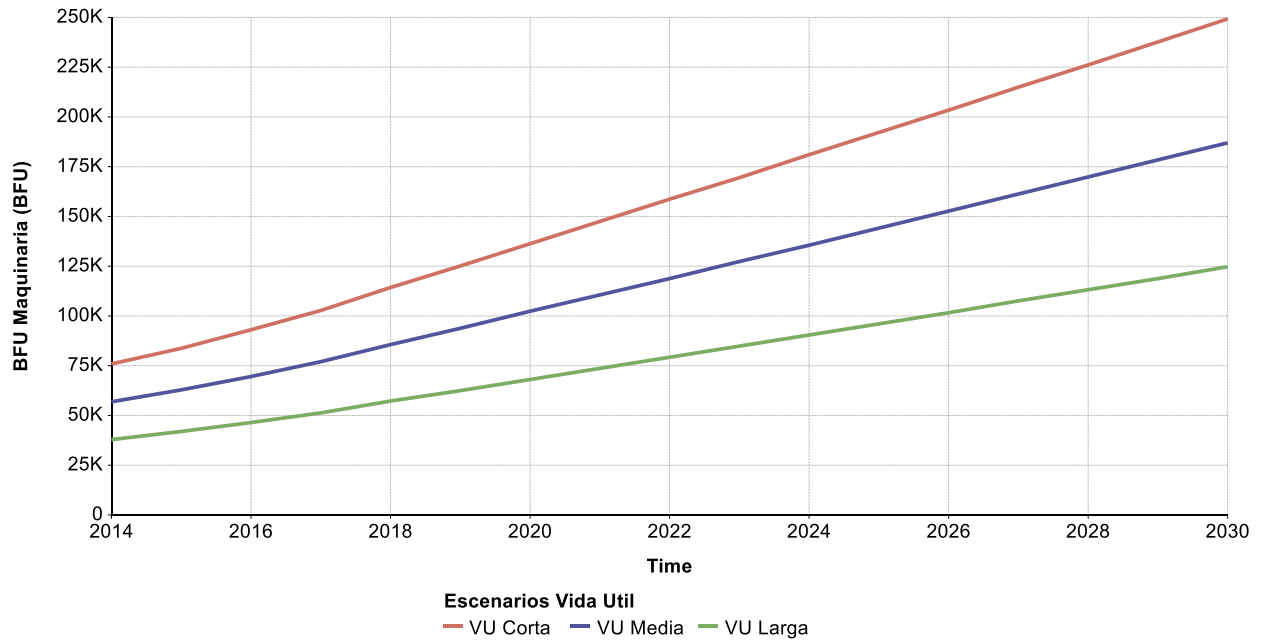


Figura 9-3 Estimación de generación BFU en parque industrial, serie 2014-2030 [unidades]

Fuente: Elaboración propia

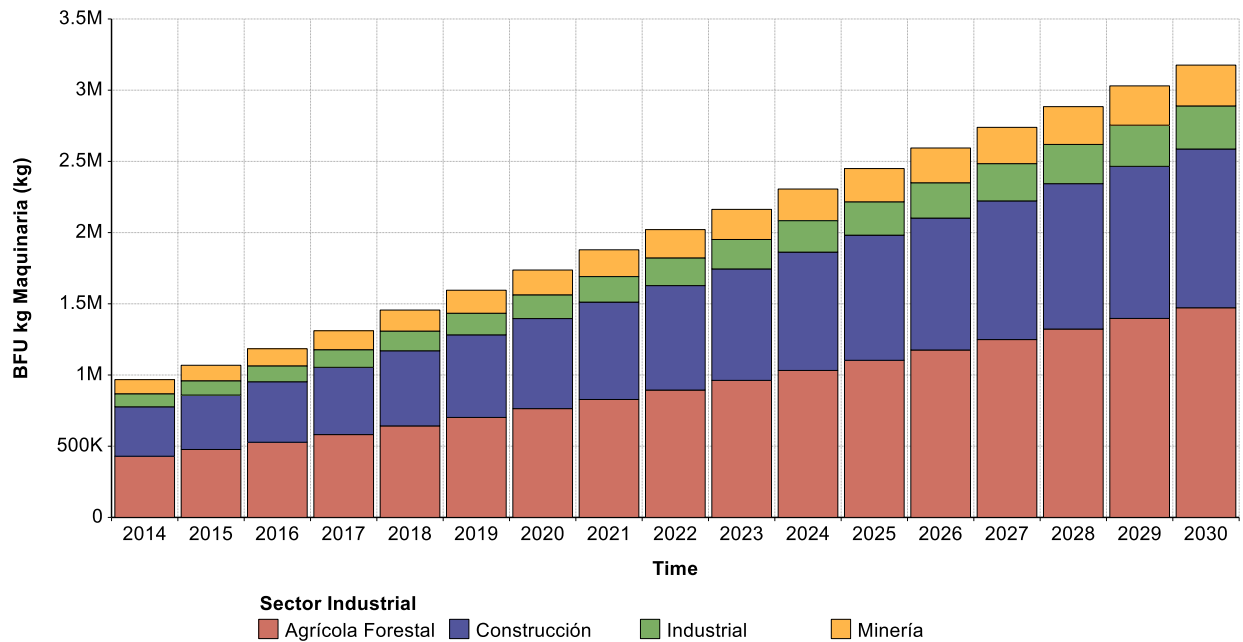


Figura 9-4 Estimación de generación BFU por sector industrial [kg], escenario vida media

Fuente: Elaboración propia

9.3 Proyección de la generación de BFU de tracción

La proyección del parque de tracción es análoga a la del parque vehicular, pues si bien ambos tipos de baterías tienen características y funcionalidades específicas diferentes, son utilizados de forma masiva en el parque vehicular. Sin embargo, a diferencia del parque vehicular a combustión, se espera aumenten de forma acelerada el parque vehicular eléctrico como consecuencia de la reducción de precio de estos vehículos y las políticas orientadas por la estrategia de Electromovilidad desarrollada por los Ministerio de Energía, Transporte y Telecomunicaciones y Medio Ambiente (Ministerio de Energía et al., 2017). Como prueba de esto el parque vehicular reportado por el INE se duplicó entre los años 2018 y 2019 (ver Tabla 8-1).

Si bien, dicha estrategia presenta las metas de electromovilidad para el 2050 (ver Figura 9-5), no se plantea una estimación de corto plazo. Una revisión de estudios disponibles permite observar que hay un amplio rango de incertidumbre asociado a los vehículos en la siguiente década (ver Tabla 9-1). Se observa que existe una amplia dispersión de las estimaciones, lo cual se explica por la incertidumbre frente a la difusión tecnológica de esta nueva tecnología y el método en que esta es modelada.



Figura 9-5 Metas establecidas por Estrategia de Electromovilidad

Fuente: (Ministerio de Energía et al., 2017)

En particular, los estudios de E2BIZ y del Centro de Energía UC utilizan una metodología basada en el modelo de Bass y su adaptación de Norton-Bass¹⁹, que modera la adquisición de nuevas tecnologías de productos durables. Por su parte, la proyección de Frost/Sullivan y del Centro de Mario Molina están basadas en el criterio de expertos.

¹⁹ El modelo de Norton-Bass considera que los procesos de adopción de nuevas tecnologías dependen de dos tipos de compradores: innovadores e imitadores. El proceso de adopción de esta forma queda definido por dos coeficientes: p (coeficiente de innovación) y q (coeficiente de imitación). Además, considera que pueden haber nuevas generaciones que compiten con la generación anterior.

Tabla 9-1 Proyecciones disponibles de vehículos eléctricos en Chile

Estudio	Autor	Proyección
Escenarios de Usos Futuros de la electricidad	E2BIZ Consultores (E2BIZ Consultores, 2017)	Año 2030: Conservador: 128,502 Moderado: 170,843 Optimista 462,778
Electric Vehicle Market in Latin America, Forecast to 2023	Frost / Sullivan (2015) (1)	Chile 2023: 32,000
Movilidad eléctrica: oportunidades para Latinoamérica	Centro Mario Molina Chile (Centro Mario Molina Chile, 2016)	Chile 2030: 1,520,000 (2)
Infraestructura nacional de carga de vehículos eléctricos en Chile	Centro de Energía UC (Centro de Energía UC, 2018)	Chile 2023: Optimista: 32,107 Base: 5,954

(1) Recolectado en "The incorporation of Electric cars in Latin America" (BID, 2016)

(2) El 20% del parque

Fuente: Elaboración propia

En vista de lo anterior se decide realizar una modelación del futuro de la electromovilidad bajo dos escenarios: un escenario conservador considerando la adopción de esta tecnología entre los años 2011 y 2019 en Chile, y un escenario optimista basado en la adopción observada en Alemania. La modelación se realiza implementando un modelo Norton-Bass, donde la tasa de adopción de la tecnología queda definida por $A(t)$:

Ecuación 5 Tasa de adopción de modelo Norton-Bass

$$A(t) = \frac{1 - e^{-(p+q)(t-t_0)}}{1 + \frac{p}{q} e^{-(p+q)(t-t_0)}}$$

Los coeficientes p y q del escenario conservador se estiman a partir de los datos observando, realizando una optimización que minimice el error entre lo predicho por el modelo y lo observado en el observado. Por su parte, los coeficientes para el escenario optimista corresponden a los observados en Alemania entre 2005 y 2013 (Massiani & Gohs, 2015).

Tabla 9-2 Coeficientes p y q según escenario de electromovilidad

Escenario Electromovilidad	p	q
Conservador	1.3E-4	0.45
Optimista	2.5E-4	1.01

Fuente: Elaboración propia, escenario optimista desde (Massiani & Gohs, 2015)

Los resultados de la implementación de este modelo se presentan en la Figura 9-6 donde se observa que mientras el escenario conservador bordea los 100 mil vehículos para el año 2030, el escenario optimista estima poco más de 350 mil vehículos livianos.

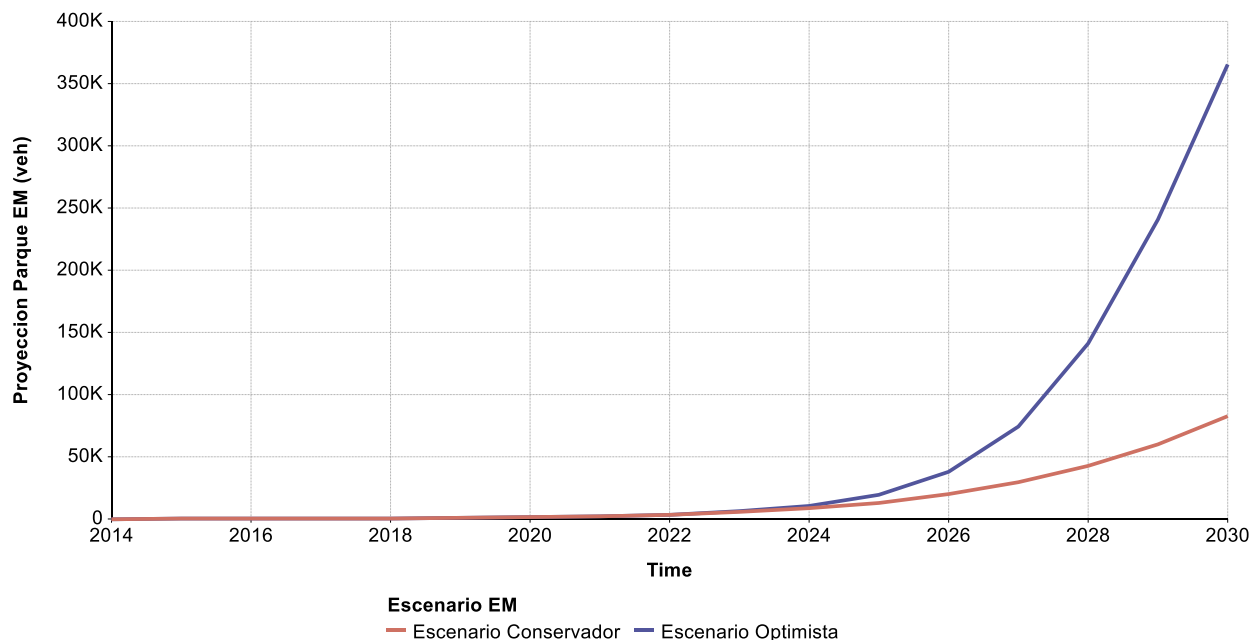


Figura 9-6 Parque Vehículos Livianos Eléctrico según escenario de electromovilidad

Fuente: Elaboración propia

La implementación de los modelos de Bass-Norton en electromovilidad se han enfocado en los vehículos particulares (Jensen, Cherchi, Mabit, & De Dios Ortúzar, 2017; Massiani & Gohs, 2015), sin encontrarse, modelos similares aplicados a otras categorías vehiculares. De esta forma, las otras categorías vehiculares son proyectadas suponiendo que siguen la misma curva descrita en la Figura 9-6. De esta forma la propagación de la incertidumbre asociada al parque de motos y similares eléctricas se propaga en la proyección.

Con lo anterior la estimación de la generación de BFU para el año 2030 se presenta en la Tabla 9-3, mientras que la trayectoria por escenario se presenta en la Figura 9-7.

Tabla 9-3 BFU tracción generadas [unidad], año 2030

Tipo Bateria	Escenario Conservador			Escenario Optimista		
	VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
Liviana	994,735 (674,476 - 1,314,994)	497,368 (337,238 - 657,497)	248,684 (128,619 - 328,749)	994,735 (674,476 - 1,314,994)	497,368 (337,238 - 657,497)	248,684 (128,619 - 328,749)
Media	62,550	41,700	31,275	276,999	184,666	138,499
Total	1,057,285 (737,026 - 1,377,544)	539,068 (378,938 - 699,197)	279,959 (199,894 - 360,023)	1,271,734 (951,475 - 1,591,993)	682,034 (521,904 - 842,163)	387,183 (307,118 - 467,248)

Resultados con incertidumbres presentan su intervalo de confianza al 90%.

Fuente: Elaboración propia

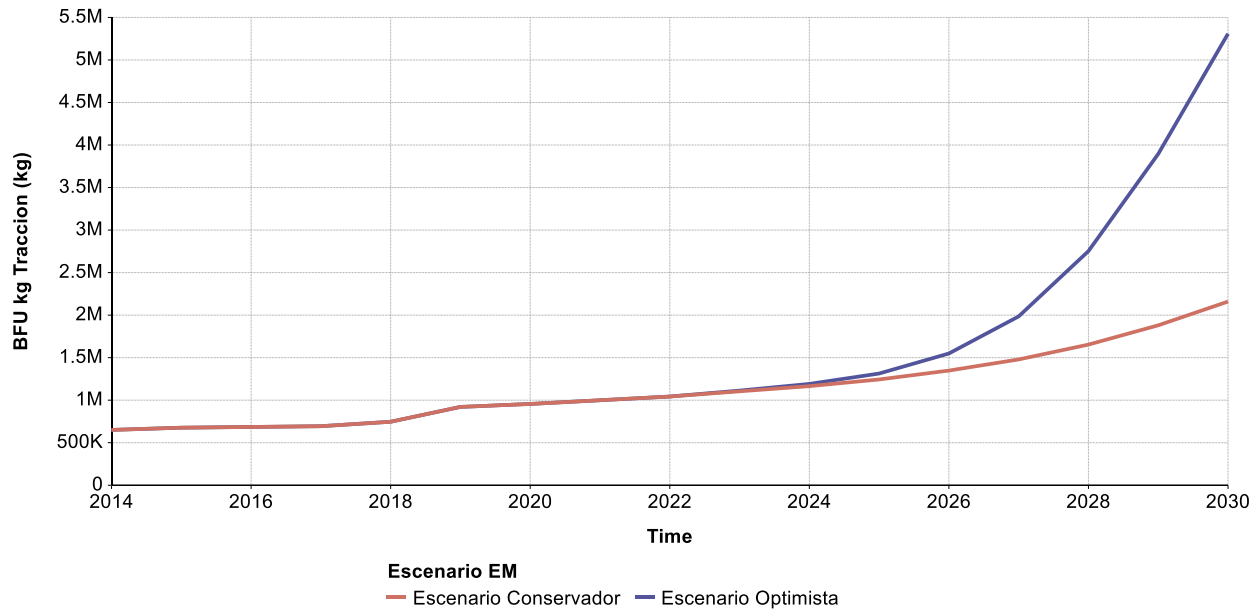


Figura 9-7 Mediana de generación de BFU Tracción [kg], escenario vida media
 Fuente: Elaboración propia

9.4 Proyección de la generación de BFU estacionarias

A diferencia del resto de las BFU consideradas, las BFU estacionarias son estimadas a partir de la serie histórica de baterías entrantes, considerando la vida útil de ellas. En este sentido, para realizar la proyección de la generación de BFU es necesario realizar la proyección de las nuevas baterías.

Al respecto es relevante destacar que la vida útil de este tipo de baterías es extensa, y luego para contar con una proyección de la generación de BFU hasta el 2030, basta con realizar una proyección hasta el año 2022. Esto puesto que la vida útil considerada en el escenario de vida útil corta es de 8 años. En este sentido se considera que realizar una proyección tendencial de la entrada de baterías estacionarias resulta razonable para estimar las BFU generadas.

En la Tabla 9-4 se observa la tasa de crecimiento anual promedio para dos horizontes temporales. Al observar por tipo de baterías se observa una variación relevante entre las tasas para los diferentes horizontes temporales, lo anterior se explica pues se ha visto una variación tecnológica aumentando la participación de las baterías sin plomo en esta funcionalidad. Sin embargo, al observar el efecto conjunto, se observa que ha habido un crecimiento más consistente en torno al 3% anual.

Tabla 9-4 Tasa crecimiento anual promedio de importaciones de baterías estacionarias

Tipo de batería Estacionaria	Tasa promedio 5 años 2014-2019	Tasa promedio 10 años 2009-2019
Baterías Plomo	-3.0%	-0.2%
Otras Baterías	33.9%	25.6%
Total	2.6%	3.0%

Fuente: Elaboración propia

En vista de lo anterior se opta por proyectar las baterías estacionarias en su conjunto, considerando la tasa promedio de 10 años y posteriormente realizar una distribución de acuerdo al tipo de baterías. En este último aspecto, se realizó un análisis de la participación²⁰ de ambos tipos de baterías, observándose que la curva con mayor ajuste ($R^2=0.93$) corresponde a una tendencia exponencial en el crecimiento de la participación de las baterías sin plomo, lo cual es consistente con lo esperado. Se opta por utilizar esta línea de tendencia para realizar la proyección a futuro, tal como se observa en la Figura 9-8.

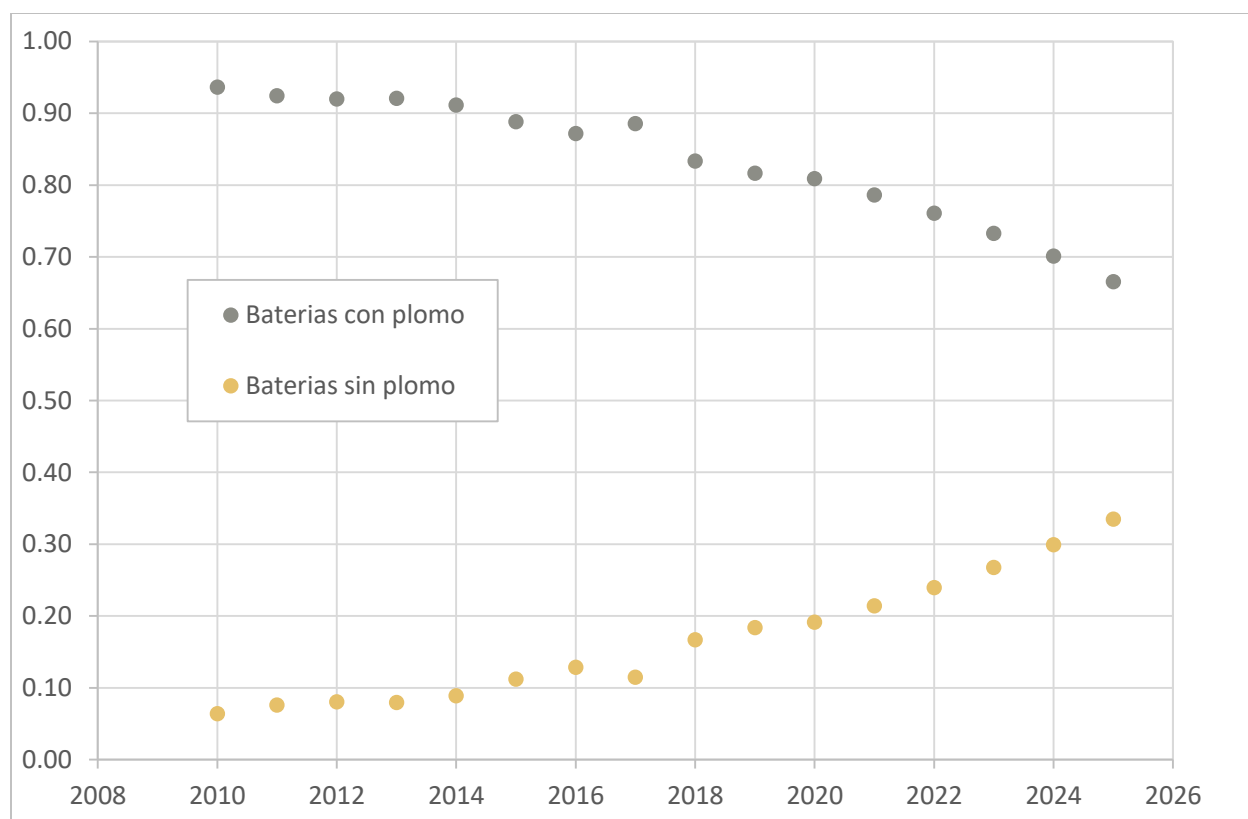


Figura 9-8 Participación histórica (2010-2019) y proyectada (2020-2025) según tipo de batería estacionaria,

Fuente: Elaboración propia

²⁰ La participación se calcula como el promedio móvil de tres años, es decir, considera los ingresos netos del año anterior, del presente año y del próximo año con y sin plomo, sobre el total de ingresos de baterías en el mismo período.

En las siguientes Figuras se observa el resultado de las estimaciones, observándose que se espera un crecimiento constante asociado al crecimiento histórico de las importaciones de baterías con fines estacionarios. Se observa un crecimiento constante para todos los escenarios, además de observarse que al año 2030, la mayor parte de las BFU de la clasificación se asocia a baterías de plomo, aun cuando han reducido su participación respecto del total.

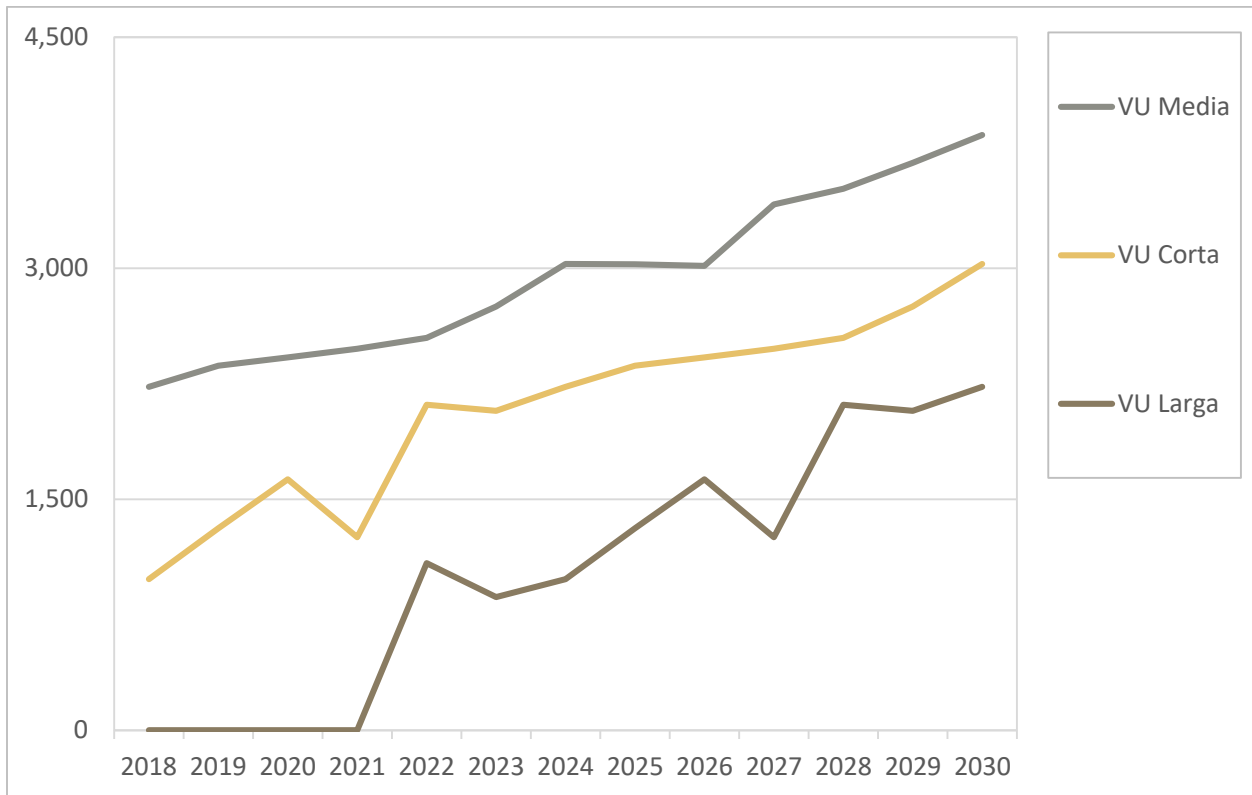


Figura 9-9 Proyección de generación de BFU estacionarias [ton], serie 2018-2030

Fuente: Elaboración propia

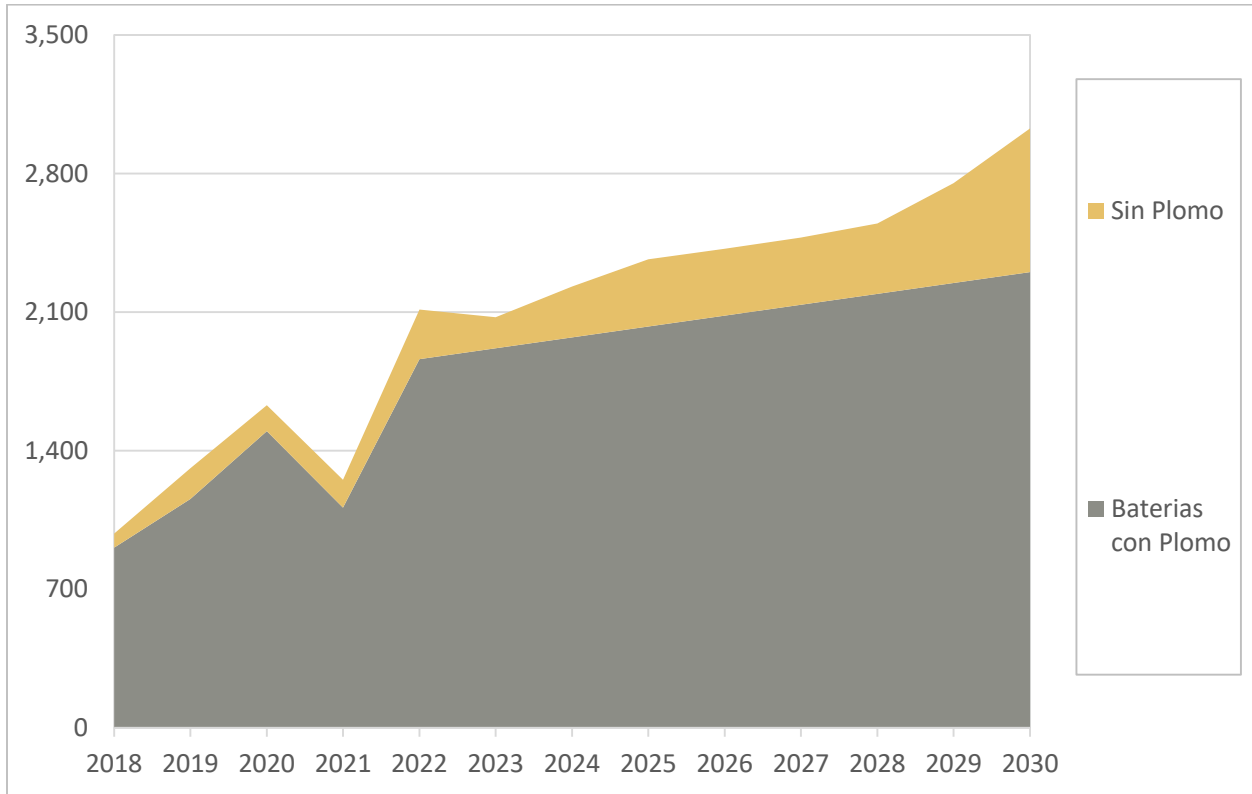


Figura 9-10 Proyección generación de BFU estacionaria [toneladas], escenario vida útil media, serie 2018-2030

Fuente: Elaboración propia

9.5 Resultados consolidados de proyección

A continuación, se presentan los resultados de generación de BFU para los tres tipos de baterías estudiados, acorde a los tres escenarios de vida útil. Se observa que se espera un crecimiento constante de la generación de BFU.

Tabla 9-5 Generación de BFU según clasificación de batería [toneladas], 2025 y 2030

Año Proyección	Clasificación	Escenario Electromovilidad Conservador			Escenario optimista		
		VU Corta	VU Media	VU Larga	VU Corta	VU Media	VU Larga
2025	Arranque	54,792	37,678	27,396	54,613	37,550	27,306
	Tracción	2,415	1,244	658	2,523	1,316	712
	Estacionaria	3,026	2,367	1,311	3,026	2,367	1,311
	Total	60,233	41,290	29,365	60,162	41,233	29,330
2030	Arranque	60,701	41,723	30,351	52,879	36,124	26,439
	Tracción	3,863	2,161	1,310	8,581	5,306	3,669
	Estacionaria	3,865	3,028	2,230	3,865	3,028	2,230
	Total	68,429	46,912	33,890	65,325	44,458	32,338

Se presenta percentil 50 para valores con incertidumbre

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes Figuras se presenta la proyección para la serie 2018 a 2030 en ambos escenarios de electromovilidad. Se observa que ambos escenarios presentan un crecimiento constante del total de BFU generadas, llegando a en torno a 46 mil toneladas anuales para el escenario de vida útil medio. Sin embargo, se observa que el efecto de la electromovilidad es relevante en el sentido de que altera la distribución del tipo de baterías generadas, de esta forma un escenario de electromovilidad optimista resulta en una reducción efectiva de las baterías de plomo utilizadas para arranque llevando a la generación de BFU del año 2030 a niveles similares al 2023, lo cual se ve compensado por un crecimiento relevante de las BFU de tracción, la cuales en el escenario optimista son 2.5 veces mayores que en el escenario conservador.

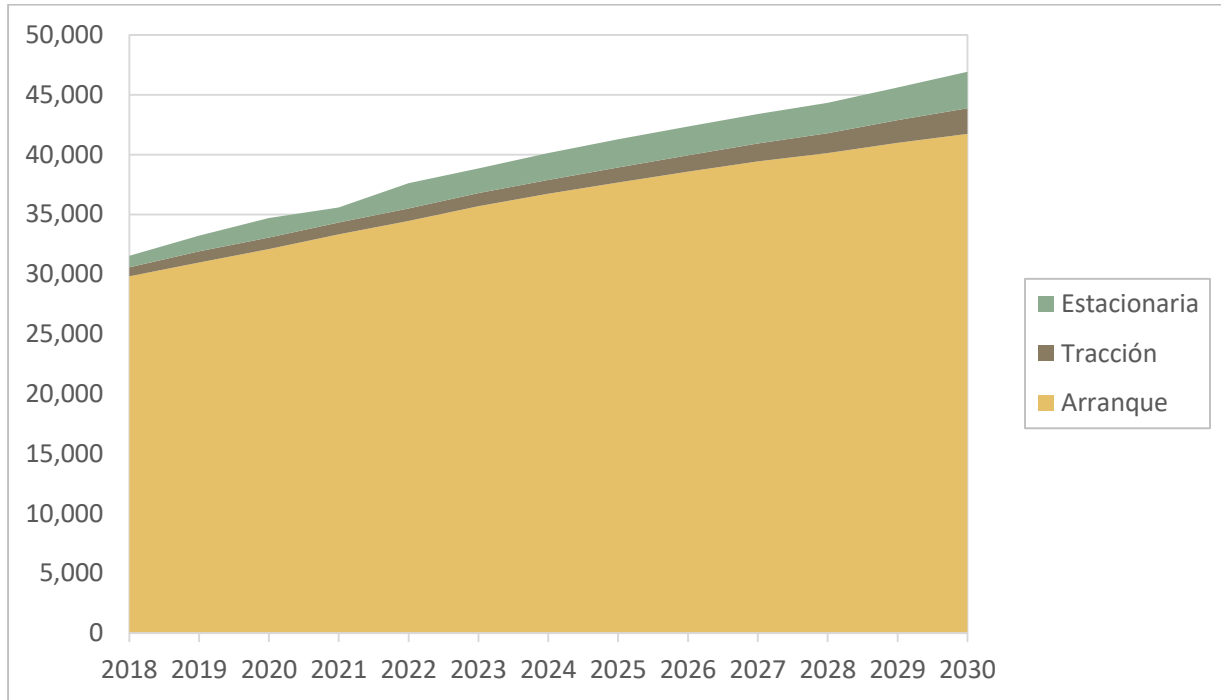


Figura 9-11 Proyección de la generación de BFU [toneladas], serie 2018-2030, escenario Electromovilidad conservador y vida útil media

Fuente: Elaboración propia

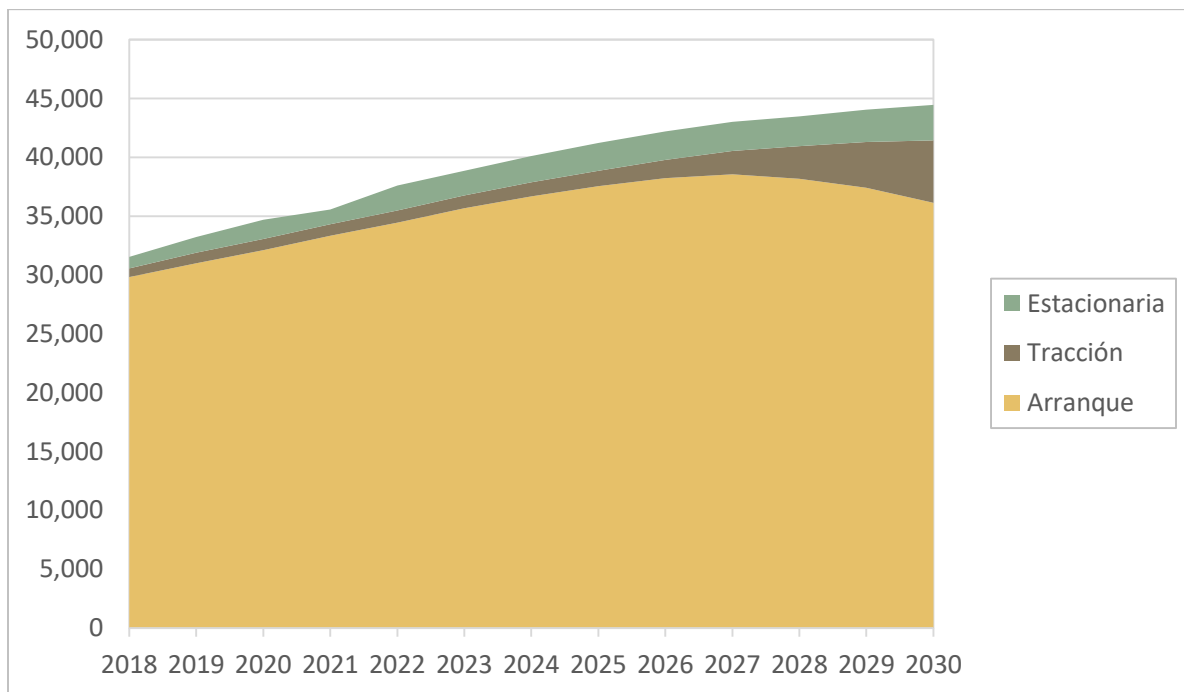


Figura 9-12 Proyección de la generación de BFU [toneladas], serie 2018-2030, escenario Electromovilidad optimista y vida útil media

Fuente: Elaboración propia

10. Identificación de impactos ambientales

Las baterías pueden tener una serie de impactos ambientales, ya sea por la toxicidad de sus componentes, la peligrosidad de sus reacciones físicas producto de su manipulación (pueden contener sustancias corrosivas o explosivas, por ejemplo), o bien debido a los distintos gases o elementos tóxicos que puedan emitir al ser gestionadas al final de su vida útil. En las siguientes secciones se presentan los impactos reportados por distintos estudios, separándolos en los dos tipos de baterías más comunes en la industria automotriz: baterías con plomo (baterías de ácido-plomo) y baterías sin plomo (baterías de iones de litio).

10.1 Baterías con plomo

Las baterías con contenido de plomo corresponden a las baterías de ácido-plomo, utilizadas como baterías de arranque en motores a combustión o como respaldo en sistemas estacionarios. Para la identificación de los impactos ambientales asociados al manejo de estas baterías se llevó a cabo una revisión de la literatura disponible tanto a nivel nacional como internacional (ver Sección 3 para detalles relativos a las fuentes nacionales)

Las baterías de ácido-plomo tienen principalmente dos compuestos contaminantes: plomo, el cual tiene efectos tóxicos neurológicos, gastrointestinales, cardiovasculares, renales, hematológicos y endocrinos sobre quienes se vean expuestos (Haefliger et al., 2009; WHO, 2019); y ácido sulfúrico líquido, compuesto ácido y corrosivo capaz de percolar a napas subterráneas contaminando sus aguas, así como también de contaminar aguas superficiales (UNEP & Secretariat of the Basel Convention, 2003). Además de esto, se ha observado que el plomo es persistente y no es transportado naturalmente a suelos subsuperficiales, por lo que los suelos que han sido contaminados pueden tardar varios años en ser recuperados y dejar de ser un riesgo para la salud de la población (WHO, 2019), existiendo además un riesgo de dispersión de polvo con contenido de plomo al aire.

Es por lo anterior, que las BFU son clasificadas como residuos peligrosos según el decreto 148 del Ministerio de Salud (MINSAL, 2004)²¹. Lo anterior, implica una serie de exigencias en cuanto al almacenamiento, traslado y disposición de estos residuos. Sin perjuicio de esto, en la práctica, una fracción de las BFU son probablemente recolectadas de forma informal y son múltiples los destinos finales que las BFU pueden tener, los cuales difieren en cuanto a las condiciones de seguridad con que estas se manejan. A continuación se detallarán los posibles impactos que se presentan en los distintos métodos usados en la gestión de las BFU.

10.1.1 Recolección, almacenamiento y transporte

Debido a su toxicidad, las BFU deben ser manejadas cumpliendo las medidas de seguridad apropiadas. Con el fin de asegurar un proceso de recolección y transporte adecuado de estos

²¹ Incluidas en la Lista A de residuos peligrosos como "A1160 Baterías de plomo desechadas, enteras o trituradas" del Decreto 148 (MINSAL, 2004)

residuos, se recomienda que sean guardados y transportados en contenedores resistentes a ácidos. Por otro lado, al momento de almacenar las BFU estas deben ser guardadas en estos mismos contenedores, sobre concreto resistente a ácidos, lejos de fuentes de calor, con un sistema para capturar líquidos y con ventilación adecuada (UNEP & Secretariat of the Basel Convention, 2003).

Debido a lo anterior es relevante destacar que pueden existir también canales de recolección, almacenamiento y transporte de BFU **no regulados**. Relativo a esto, RAM, la única fundición autorizada destinada a la valorización de residuos de baterías de plomo en Chile, piensa que cerca de la mitad de los residuos procesados en sus instalaciones provienen de gestores informales (ver Anexo 13.5.1). Al no ser canales regulados, en ellos se corre el riesgo de que los trabajadores se vean afectados por contaminación de plomo y sufran posteriormente de problemas a la salud. Además, la UNEP y el Convenio de Basilea (2003) advierten que si el transporte de estos residuos no es realizado tomando las medidas de seguridad necesarias se corre también el riesgo de derrame de los contenidos líquidos de las baterías, pudiendo así generar una contaminación del ambiente y daños a la salud como los mencionados previamente (Ver Sección 10.1).

Por otro lado, también existen emisiones debidas al transporte de los residuos. Los impactos asociados al transporte se asocian al traslado desde los centros de recolección hasta los centros de selección y reciclaje, que dependen de la localización tanto de los centros de recolección como de los centros de selección y reciclaje. De esta forma, los impactos varían para cada una de las comunas del país, y según el tipo de baterías. Si bien es esperable que las BFU de plomo sean recicladas en la comuna de Calama, donde RAM dispone de una planta de tratamiento con capacidad suficiente para tratar los residuos generados en el país, existe incertidumbre de donde se instalarían otros centros de reciclaje para otro tipo de BFU, o dónde se dispondrían en rellenos de seguridad.

Para estimar el impacto del transporte se debe conocer el consumo de combustible asociado al transporte. Para esto se considera el transporte carretero por medio de camiones autorizados para el transporte de residuos peligrosos. Esta forma de estimación permite, mediante el uso de supuestos del tipo de camiones y rendimiento, contar con una estimación sensible al punto de origen y destino de los residuos.

En este caso se considera que los residuos serán transportados en camiones con capacidad de 3 toneladas con un consumo de 240 [gr diésel/km] (EMEP/EEA, 2019a)²². Lo anterior **resulta en una tasa de consumo de combustible de 0.08 [kg diésel/km-ton BFU]**. Con dicha tasa, la cantidad de BFU a trasladar y la distancia entre origen y destino se puede estimar el consumo de combustible por transporte, de acuerdo, a lo que se presenta en la Ecuación 6.

²² Equivalente a 3.5 km/lt considerando la densidad de 0.84 [t/m³] referenciada en el Manual para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas (MMA, 2017)

$$\begin{aligned}
 \text{Consumo diésel} \left[\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right] &= \sum_{\text{Origen Destino}} \sum_{\text{Dist}_{\text{origen}}^{\text{destino}} [\text{km}]} \text{Tasa consumo} \left[\frac{\text{kg}}{\text{km} - \text{ton}} \right] * BFU_{\text{origen}} \left[\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]
 \end{aligned}$$

Ecuación 6 Estimación del costo de transporte

Para la aplicación de dicha ecuación es necesaria una matriz origen-destino, que mida la distancia en carretera entre los principales poblados de cada comuna. Al respecto, se destaca que, ante la inexistencia de conexión terrestre, en este caso no se consideraría el costo de las comunas Isla de Pascua, Juan Fernández, y de toda la región de Magallanes.

Luego a partir de eso es posible estimar los impactos socioambientales asociados a las emisiones producto de la combustión del diésel en los camiones de traslado. Para ello se considera el consumo de combustible bajo los supuestos explicitados recientemente, que equivale a 0.1 [lt/km-ton]. Para la estimación de emisiones atmosféricas de EMEP/EEA (2019a), se recomienda utilizar los factores de emisión detallados en la Tabla 10-1.

Tabla 10-1 Factores de emisión para transporte

Contaminante	Tasa emisión [g/kg combustible]	Tasa emisión por transporte BFU [g/km-ton BFU]
CO2	3,169	253.5
MP	0.61	0.05
NOx	28.34	2.27
Carbono Negro	0.32	0.03

Fuente: (EMEP/EEA, 2019a)

Si bien las emisiones de contaminantes locales tienen impactos sobre la población expuesta, la cuantificación en términos de impactos en salud se vuelve dificultosa, por cuanto no existe claridad del lugar preciso donde ocurren las emisiones, de su impacto en la concentración atmosférica, ni de la real exposición. Al respecto cabe destacar que la mayor parte de las emisiones se darían en zonas no urbanas, durante el recorrido de los camiones por las carreteras.

Por su parte, las emisiones de CO2 y de carbono negro, pueden ser cuantificadas de acuerdo con la contribución al cambio climático. Para ello se recomienda utilizar su potencial de calentamiento global a 100 años (PCG-100), que permite cuantificar las emisiones en término de CO2 equivalente (CO2e). En particular, para el CO2 su PCG-100 es de 1 [gCO2e/g], mientras que para el carbono negro es de 910²³ [gCO2e/g] (IPCC, 2013). Lo anterior resulta en **emisiones de 276.8 [gCO2e/km-ton BFU]**.

²³ Existe un rango de incertidumbre amplio que va desde 100 a 1700, asociado a su efecto sobre el albedo y su impacto en la nubosidad.

10.1.2 Tratamiento adecuado de los residuos

Para evitar los daños ambientales generados por las BFU es necesario que estas sean recicladas tomando las medidas de seguridad y de control necesarias, o bien sean dispuestas en rellenos de seguridad, donde se garantiza que sus componentes tóxicos no tengan la capacidad de ser dispersados por el suelo, agua o aire.

10.1.2.1 Reciclaje formal

Un canal de reciclaje regulado debe estar sometido a medidas de seguridad y de control para minimizar los impactos de este proceso, con lo cual se evitan daños a la gente que trabaja en la fundición de los residuos, además de prevenirse emisiones de material contaminante como polvo y hollín con contenido de plomo, o vertido de ácidos. En particular, RAM, la única fundición autorizada de valorización de residuos de baterías de plomo en Chile, dispone de tecnología que permite que las BFU sean transportadas y fundidas dentro de sus instalaciones minimizando su manipulación por parte del personal de la planta, además de utilizar filtros de manga con filtros HEPA²⁴ para evitar las emisiones de material contaminante (se detallan las características de RAM en el Anexo 13.5).

A continuación, y basado en el levantamiento de información bibliográfica realizado, se presenta una cuantificación de los impactos ambientales originados por el tratamiento de las BFU de ácido-plomo en instalaciones que operan de manera formal. En particular, se recopilieron antecedentes relativos a emisiones de gases de efecto invernadero y material particulado, los cuales se presentan en la Tabla 10-2²⁵²⁶. La metodología utilizada en cada estudio es detallada posteriormente.

²⁴ *High Efficiency Particulate Arresting*, filtros de captura de partículas de alta eficiencia que se pueden usar en los filtros de manga.²⁵ Para la estimación de las emisiones de GEI en CO₂e a partir de los datos de CO₂, CH₄ y N₂O, se utilizaron los valores de GWP-100 del AR5 del IPCC.

²⁵ Para la estimación de las emisiones de GEI en CO₂e a partir de los datos de CO₂, CH₄ y N₂O, se utilizaron los valores de GWP-100 del AR5 del IPCC.

²⁶ En los estudios se presentan emisiones de otros contaminantes, sin embargo, en el marco del presente estudio se consideraron sólo GEI, MP y Pb por ser los contaminantes con más datos medidos, lo que permite un análisis comparativo de las emisiones

Tabla 10-2 Cuantificación del consumo de energía y las emisiones de GEI, material particulado y plomo producto del reciclaje de baterías de ácido-plomo

Referencia	Fuente de emisiones	Gases de Efecto Invernadero (kg CO2e/ton batería)	Material particulado (kg PM10e/ton batería)	Emisiones aéreas de plomo (g Pb/ton batería)	Consumo de energía (kWh/ton batería)
(Rydh, 1999)	Reciclaje de baterías estacionarias, 50% plomo reciclado	133.25	-	-	-
(Rydh, 1999)	Reciclaje de baterías estacionarias, 99% plomo reciclado	133.10	-	-	-
(Daniel et al., 2003)	Reciclaje	34.11	0.41	231.30	42.61
(Bureau of International Recycling, 2008)	Producción secundaria de plomo	75.28	-	-	2.43
(Sullivan & Gaines, 2012)	Reciclaje	28.73	0.52	5	1222.22
(Tian et al., 2017)	Reciclaje convencional	275.10	-	-	-
(Tian et al., 2017)	Reciclaje de residuos plomados	256.90	-	-	-
(Tian et al., 2017)	Reciclaje con ácido cítrico	261.80	-	-	-
(EMEP/EEA, 2016)	Producción secundaria de plomo con abatimiento	-	0.01	0.64	-

Fuente: Elaboración propia

Rydh (Rydh, 1999) estudió el ciclo de vida de dos sistemas de baterías estacionarias de plomo de 48 ton, una cuyo contenido de plomo proviene en un 50% de material previamente reciclado, y otra donde esta proporción alcanza el 99%. Así, las emisiones presentadas en la Tabla 10-2 corresponden a las emisiones de GEI medidas para ambas composiciones de baterías.

Daniel *et al.* (2003) también cuantificaron los impactos del proceso de reciclaje de baterías de ácido-plomo por tonelada de plomo extraído, especificando el consumo de recursos, así como las emisiones de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos en cada una de las etapas del proceso. En su estudio se presentan resultados para el tratamiento de 1 ton de plomo, lo cual ha sido ajustado considerando un contenido de plomo de 66.2%, de manera tal que estos valores sean comparables a los propuestos en otros estudios.

Bureau of International Recycling (2008) estiman tanto las emisiones de dióxido de carbono como los requerimientos de energía de la producción secundaria de plomo, es decir, a partir del reciclaje de baterías de plomo, valores que se presentan relativos a la producción de 1 ton de plomo. Para poder comparar sus resultados se ha utilizado un promedio ponderado de los valores presentados en la Tabla 5-7, es decir, una eficiencia de reciclaje de 583.5 kg Pb/ton batería. Cabe

destacar que en su estudio también presentan el consumo de energía y emisiones de CO₂ a partir de la producción primaria de plomo, utilizando materia prima virgen.

Sullivan & Gaines (2012) presentan las emisiones de contaminantes medidas en plantas de reciclaje por kg de batería tratada para tres tipos de baterías (Ni-MH, ácido-plomo y NiCd). Estos resultados fueron obtenidos a partir de Rantik (Rantik, 1999), pero, a diferencia del estudio original, se presentan en este caso los valores correspondientes a emisiones de GEI, material particulado y otros gases (entre ellos, Pb) calculadas a partir del consumo de energía del proceso.

Tian et al. (Tian et al., 2017) estudian los impactos ambientales de 5 tecnologías distintas de reciclaje en China, para las cuales presentan las emisiones de CO₂ por cada tonelada de plomo procesada, presentando a su vez la cantidad de plomo obtenida para cada tecnología estudiada. En la Tabla 10-2 se presentan las emisiones GEI medidas para 4 de estas tecnologías: la primera corresponde al reciclaje tradicional llevado a cabo por fundiciones con capacidad de procesamiento anual superior a 100,000 toneladas de baterías; la segunda es utilizada por plantas de reciclaje de todo tipo de residuos plomados; la tercera era considerada una tecnología innovadora de reciclaje utilizando ácido cítrico; y la cuarta considera el escenario de reciclaje clandestino de baterías. No se comenta sobre la quinta tecnología estudiada en la investigación, ya que no se presentan los impactos ambientales asociados a ella. Nuevamente, debido a que se presentan resultados para cada ton de plomo procesada, y dado que el estudio no ha medido el contenido de plomo en las baterías que han utilizado, se ha utilizado un contenido de plomo de 700 kg Pb/ton batería, de acuerdo a lo propuesto por RAM. Se destaca que la metodología, alcances y contexto del estudio son explicados en detalle.

Por último, la Agencia Ambiental Europea (EMEP/EEA, 2016) ha medido las emisiones generadas por la producción primaria y secundaria de plomo. Si bien la producción secundaria de plomo proviene de la fundición de cualquier compuesto plomado, el mayor aporte a esta operación proviene de las BFU con plomo. Los factores de emisión propuestos en este caso están presentados relativos a 1 ton de plomo producida, por lo que, al igual que para los resultados propuestos por el Bureau of International Recycling, se ha considerado una eficiencia de reciclaje de 583.5 kg Pb/ton batería.

Como se mencionó en la Sección 5.1.3, según lo indicado por RAM, de su proceso de reciclaje obtienen lingotes de plomo que son comercializados, y polipropileno que es chipiado, granulado y pelletizado, para luego ser vendido a compañías externas que lo usan como materia prima.

10.1.2.2 Disposición en rellenos de seguridad

A pesar de existir en el país la tecnología y la capacidad necesarias para tratar las BFU, cabe mencionar la alternativa de que estos residuos sean llevados a un sitio de disposición final. Como ya se mencionó, la disposición de BFU con plomo viene acompañada de un riesgo de contaminación de suelos, aguas subterráneas y dispersión de polvos con material tóxico. Es por estos motivos que resulta importante que las baterías sean dispuestas en rellenos de seguridad,

donde se cumplen las medidas de control y de seguridad necesarias para retener residuos peligrosos.

De acuerdo con lo indicado por RAM, en su proceso de reciclaje obtienen un yeso a partir de la neutralización del ácido sulfúrico, que es dispuesto como residuo industrial no peligroso en empresas externas. En la fundición generan una escoria, que es dispuesta en un vertedero propio de la empresa autorizado para tal fin. Los únicos otros residuos que generan son contenedores y envases, que son entregados a una empresa externa que los dispone en un relleno de seguridad.

10.1.3 Tratamiento no regulado de los residuos

Si bien en Chile existen canales establecidos para el tratamiento regulado de las BFU, debido al alto valor de mercado que tienen las BFU y siendo su reciclaje un negocio rentable, se piensa que existen canales de reciclaje y exportación informal de estos recursos (Fiscalía Nacional Económica, 2016). Esto se respalda por lo indicado por RAM en el contexto del estudio de GESCAM, en que afirman que en 2016 se encargaron del tratamiento del 85% de las BFU del país, a partir de lo cual se asume que el 15% restante (estimadas en 5,082 ton de BFU) habrían sido enviadas a destinos desconocidos (ver Sección 3.1.2 y Tabla 3-9). En particular, la Superintendencia del Medio Ambiente detectó la operación no regulada de una planta de valorización de baterías con plomo responsable de la producción de 154 toneladas de plomo al mes, la cual no contaba con una Resolución de Calificación Ambiental ni las condiciones de seguridad requeridas para llevar a cabo este proceso (SMA, 2019). Más allá de esta información, no se han encontrado otros antecedentes concretos que permitan cuantificar o tener una noción de la magnitud de este tipo de operaciones.

Junto a lo anterior, también existe la posibilidad de que estos residuos sean dispuestos junto a otros residuos sólidos domiciliarios en rellenos sanitarios, vertederos o basurales, pero no se dispone de información respecto a esto y se estima que esto no sucede en la práctica, nuevamente debido al alto valor que tienen las BFU en el mercado. A continuación se realizará una identificación y cuantificación de los impactos ambientales asociados a su tratamiento.

10.1.3.1 Reciclaje informal

Debido a que el reciclaje de baterías de ácido-plomo es un negocio rentable, y que las medidas de control necesarias para operar una fundición de manera adecuada aumentan los costos de operación de estas instalaciones, internacionalmente existe evidencia que residuos pueden también ser **reciclados de manera informal**, en fundiciones que no se encuentren sometidas a las normas de seguridad requeridas para llevar a cabo esta operación. Estas son manejadas usualmente por familias o personas con oportunidades laborales limitadas (WHO, 2019), que suelen manipular los residuos directamente. En una fundición de estas características en Kenya se ha observado un importante aumento de la concentración de plomo en el aire y en la sangre de sus trabajadores (Were, Kamau, Shiundu, Wafula, & Moturi, 2012). Además, estas operaciones significan grandes emisiones de plomo al aire y la contaminación de suelos cercanos

a ellas, por lo que se suelen observar los impactos de estos contaminantes sobre la salud de la población aledaña no involucrada en esta labor (Haefliger et al., 2009). En particular, y relacionado a lo anterior, Haefliger (Haefliger et al., 2009) identifica diversos trastornos sufridos por niños y adultos que presentan altas concentraciones de plomo en la sangre. En su estudio han medido niveles tóxicos de plomo en la sangre²⁷ de un 94% del total de niños y niñas y un 61% del de adultos que habitan en las cercanías de una fundición de plomo sin medidas de control, quienes a su vez muestran síntomas gastrointestinales y neurológicos asociados a esta intoxicación.

Al igual que para el reciclaje formal, se han cuantificado las emisiones de GEI, material particulado y plomo generadas por la operación de estas fundiciones. En la Tabla 10-3 se presentan los valores medidos al utilizar hornos rotatorios para la fundición de baterías, los cuales son comúnmente utilizados en el reciclaje informal (Tian et al., 2017) junto a factores de emisión para la producción de plomo sin abatimiento (EMEP/EEA, 2016), donde el valor propuesto para la producción secundaria de plomo se puede asemejar a la situación dada en operaciones de reciclaje informal debido a la falta de medidas de control.

Tabla 10-3 Cuantificación del consumo de energía y las emisiones de GEI, material particulado y plomo producto del reciclaje no regulado de baterías de ácido-plomo

Referencia	Fuente de emisiones	Gases de Efecto Invernadero (kg CO2e/ton batería)	Material particulado (kg PM10e/ton batería)	Emisiones aéreas de plomo (g Pb/ton batería)
(Tian et al., 2017)	Reciclaje informal	349.30	-	-
(EMEP/EEA, 2016)	Producción secundaria de plomo sin abatimiento	-	6.89	3384.53

Fuente: Elaboración propia

10.1.3.2 Disposición en rellenos sanitarios, vertederos y basurales

Debido a su alto contenido de plomo, las BFU pueden ser valorizadas, o bien, en caso de ser llevadas a un sitio de disposición final, es importante que éste cumpla con las medidas de control necesarias para contenerlas evitando la liberación de sus componentes tóxicos. A pesar de lo anterior, estos residuos pueden ser gestionados de manera inadecuada junto a la basura domiciliar y enviados a un sitio de disposición de residuos municipales. Como se ha mencionado previamente, esta vía de disposición representa un riesgo de dispersión de material contaminante a suelos, aguas superficiales y subterráneas, y al aire.

10.1.3.3 Exportación informal

La exportación de BFU es considerada ilegal de acuerdo al Convenio de Basilea en caso de que no exista una notificación ni consentimiento documentado por parte de los estados, o bien si a

²⁷ > 45ug Pb/dL sangre

través de esta exportación los residuos peligrosos son llevados deliberadamente a una disposición inadecuada. Por este motivo, con la intención de regularizar estas operaciones, el Convenio de Basilea plantea entrenar a personal de aduanas, aumentar el monitoreo del movimiento e inspección de residuos peligrosos, y establecer tratados bilaterales y multilaterales para el control de cualquier sospecha de tráfico ilícito (Basel Convention, 2012).

En cuanto a la situación de Chile, no se dispone de información que permita cuantificar el volumen de BFU exportadas, y tampoco se tienen antecedentes de actividades de exportación realizada de manera formal en el país. En contraste, de acuerdo con lo declarado por RAM (ver Sección 13.5.1), sí existirían canales informales de exportación de los residuos a fundiciones u otros gestores en el extranjero, siendo éste uno de los posibles destinos desconocidos de los residuos. Si bien a través de esta vía no se generan impactos en el país más allá de los relativos a su transporte, en este caso se desconoce el destino final de las BFU así como las medidas de control tomadas para tratarlas, además de la pérdida de los recursos potencialmente extraíbles que son enviados al exterior.

10.1.4 Discusión

Los impactos previamente identificados se presentan de manera resumida a continuación en la Tabla 10-4.

Tabla 10-4 Descripción cualitativa de los impactos ambientales asociados a los distintos tipos de gestión de las baterías de ácido-plomo fuera de uso

Tipo de gestión	Impactos
Recolección, transporte y almacenamiento no regulados	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo a la salud de trabajadores - Riesgo de vertido de ácidos y productos corrosivos en el transporte
Reciclaje formal	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo de energía en comparación a su disposición - Emisiones de plomo al aire (menores en comparación al reciclaje no regulado) - Emisiones de GEI, material particulado y otros contaminantes
Disposición en relleno de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - No se recuperan los recursos (plomo, ácido y plástico) - Se requiere de espacio para contener el volumen de residuos
Reciclaje informal	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo a la salud de trabajadores - Riesgo de contaminación de napas subterráneas - Emisiones de plomo al aire - Consumo de energía - Emisiones de GEI, material particulado y otros contaminantes
Disposición en relleno sanitario, vertedero o basural	<ul style="list-style-type: none"> - No se recuperan los recursos (plomo, ácido y plástico) - Riesgo de contaminación de napas subterráneas - Riesgo de dispersión de polvo o cenizas con material contaminante - Se requiere de espacio para contener el volumen de residuos
Exportación informal	<ul style="list-style-type: none"> - No se recuperan los recursos en el país (plomo, ácido y plástico) - Se desconoce su destino final y sus impactos asociados

Fuente: Elaboración propia

A partir de la cuantificación de las emisiones de GEI, material particulado y de plomo que se ha realizado previamente, también es posible calcular la reducción en el impacto ambiental de las BFU debido a su reciclaje. Con este fin, se presentan a continuación los datos relativos a estos impactos producto de la producción de plomo a partir de metales vírgenes, valores obtenidos por distintos estudios de la literatura revisada cuya metodología ya ha sido comentada previamente en la Sección 10.1.2.1.

Tabla 10-5 Cuantificación de las emisiones de GEI y material particulado de la producción de plomo a partir de metales vírgenes

Referencia	Fuente de emisiones	Gases de Efecto Invernadero (kg CO2e/ton batería)	Material particulado (kg PM10e/ton batería)	Emisiones aéreas de plomo (g Pb/ton batería)	Consumo de energía (kWh/ton batería)
(IPCC, 2006)	Producción primaria de plomo	303.44	-	-	-
(Bureau of International Recycling, 2008)	Producción primaria de plomo	5835.40	-	-	264.21
(EMEP/EEA, 2016)	Producción primaria de plomo con abatimiento	-	0.00	2.39	-
(EMEP/EEA, 2016)	Producción primaria de plomo sin abatimiento	-	0.26	87.53	-

Fuente: Elaboración propia

Para comparar los impactos ambientales del reciclaje formal respecto a los de la producción primaria de plomo, se recomienda considerar el valor propuesto por EMEP/EEA (EMEP/EEA, 2016) para producción secundaria de plomo con abatimiento y el propuesto por Tian et al. (Tian et al., 2017) para reciclaje convencional, y por otro lado los valores presentados por EMEP/EEA y el IPCC (EMEP/EEA, 2016; IPCC, 2006) correspondientes a la producción primaria de plomo con abatimiento. Por último, dado que no se presenta información relativa al consumo de energía en los estudios ya propuestos, se recomienda considerar en ambos casos los valores entregados por el BIR (Bureau of International Recycling, 2008). Así, se presenta en la Tabla 10-6 una comparación de estos impactos.

Tabla 10-6 Disminución de emisiones de GEI, material particulado y plomo producto del reciclaje de baterías de plomo en comparación a la producción primaria de plomo

Referencias	Fuente de plomo	Gases de Efecto Invernadero (kg CO2e/ton batería)	Material particulado (kg PM10e/ton batería)	Emisiones aéreas de plomo (g Pb/ton batería)	Consumo de energía (kWh/ton batería)
(EMEP/EEA, 2016; IPCC, 2006)	Producción primaria	303.44	0.00	2.39	264.21
(EMEP/EEA, 2016; Tian et al., 2017)	Producción secundaria	275.10	0.01	0.64	2.43
Diferencia de emisiones debido a reciclaje de baterías de plomo		-28.34	0.01	-1.75	260.78

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para estimar el impacto por la operación de fundiciones de BFU no reguladas, se recomienda considerar el valor presentado por EMEP/EEA para producción secundaria de plomo sin abatimiento así como el de Tian et al. para reciclaje informal. Por último, se destaca la ausencia de información para cuantificar los impactos ambientales asociados a el tratamiento de las BFU a través de su disposición o exportación.

10.2 Baterías sin plomo

Las principales baterías sin plomo corresponden a las baterías de iones de litio, las cuales a su vez tienen múltiples composiciones distintas. Estas tienen una diversidad de aplicaciones, especialmente para tracción de vehículos eléctricos y como sistemas de respaldo en sistemas estacionarios²⁸. Al igual que en el caso de baterías con plomo, se ha llevado a cabo una revisión de la literatura disponible para identificar los impactos ambientales de estas baterías cuando ya están fuera de uso, así como para cuantificar las emisiones de GEI originadas por su gestión.

Las baterías de iones de litio pueden contener compuestos tóxicos como Cr, Co, Cu, Mn y Ni, así como otros compuestos que también son inflamables. En particular, se ha visto que las BFU sufren de un “escape térmico” al hacer corto circuito producto de torsiones o cortes, con lo cual pueden alcanzar temperaturas superiores a 100°C en poco tiempo (Ren, Cox, & Wang, 2014).

Últimamente este tipo de baterías ha visto un auge debido a su uso en los sistemas de tracción de vehículos eléctricos, lo cual a su vez ha fomentado una serie de estudios respecto a sus impactos sobre el ambiente. Así, las investigaciones se han concentrado en analizar el ciclo de vida de las baterías más utilizadas en vehículos eléctricos – baterías de litio-ferrofosfato (LFP) y de litio y óxido de manganeso (LMO)– evaluando así el impacto ambiental que tienen estas a lo largo de todo su ciclo de vida. A continuación, se realiza una identificación de estos impactos para las distintas vías de gestión de las BFU, y en particular se presenta la cuantificación de estos impactos producto del reciclaje de los residuos. Cabe destacar que las baterías a estudiar a continuación son utilizadas únicamente en vehículos eléctricos, no habiéndose encontrado información que permita cuantificar los impactos ambientales de la gestión de baterías de iones de litio utilizadas en otros sistemas eléctricos.

10.2.1 Recolección, almacenamiento y transporte

Una vez que las baterías llegan al fin de su vida útil, éstas deben ser recolectadas y luego transportadas a su destino de tratamiento final (reciclaje o disposición), pudiendo ser almacenadas previo a esta última etapa en su ciclo de vida. Entre los estudios revisados no se destacan impactos más allá de los originados por la operación de vehículos y la quema de combustible en su transporte, dando origen así a emisiones de GEI y otros compuestos tóxicos

²⁸ También son usadas en aparatos electrónicos tales como teléfonos, computadores y similares. Sin embargo, dado que en estos aparatos su peso es menor a los 2 kg son calificadas como pilas en lugar de baterías.

(Beaudet, Larouche, Amouzegar, Bouchard, & Zaghbi, 2020). El impacto ambiental del transporte tiene relación con la combustión del diésel, el cual depende del peso y distancia de transporte, por lo que este impacto es independiente del tipo de BFU en cuestión. Como consecuencia de esto el costo unitario ambiental es igual al presentado en la Sección 10.1.1.

10.2.2 Tratamiento adecuado de los residuos

Debido a los riesgos que representa el tratamiento de las BFU es necesario que estos residuos sean tratados tomando las medidas de seguridad necesarias, ya sea mediante una vía de reciclaje regulado, o bien siendo dispuestas en rellenos de seguridad.

10.2.2.1 Reciclaje formal

Las baterías de iones de litio suelen tener composiciones muy variadas, existiendo la posibilidad de recuperar metales valiosos a través de su reciclaje utilizando un proceso hidrometalúrgico (Oliveira et al., 2015), como cobalto o cobre, pero el principal recurso que se recupera de manera transversal en todos los tipos de baterías de iones de litio es litio. A través de la recuperación de estos metales se tiene un beneficio financiero asociado a su venta además de evitarse la extracción de materia prima virgen, lo cual a su vez alivia el impacto ambiental que tiene esta actividad.

La literatura generalmente se preocupa de identificar y cuantificar los impactos ambientales incurridos en la producción y uso de las baterías de iones de litio, más que evaluar los originados en su etapa de disposición o reciclaje. Aun así, sí se han cuantificado en algunos casos las emisiones de gases de efecto invernadero y de material particulado producto de su reciclaje, así como la reducción de estas emisiones si se considera el uso del material recuperado para producir nuevas baterías, en lugar de la utilización de materia prima virgen (Sanfélix, de la Rúa, Schmidt, Messagie, & Van Mierlo, 2016; Sanfélix, Messagie, Omar, Van Mierlo, & Hennige, 2015).

Así, se han revisado estudios que realizan un ACV de dos tipos de baterías de iones de litio utilizadas en vehículos – la primera de litio-ferrofosfato (LFP) y la segunda de litio y óxido de manganeso (LMO) – los cuales ponen particular atención a los impactos ambientales producidos por el uso de ellas, pero también valores de emisiones de GEI y de material particulado producto de su reciclaje. A continuación, en la Tabla 10-7 se resumen los resultados obtenidos por la literatura revisada. En ella se incluyen valores negativos, los cuales corresponden a una “disminución” de las emisiones de tales contaminantes, asumiendo que el material recuperado evitará el uso de materia prima virgen.

Tabla 10-7 Cuantificación de las emisiones de GEI y material particulado del proceso de reciclaje de baterías de litio

Fuente	Tipo de batería	Emisión de GEI (kg CO ₂ e/ton batería)	Material Particulado (kg MP10eq/ton batería)	Material Particulado Fino (kg MP2.5eq/ton batería)
(Oliveira et al., 2015)	LFP	16,625	8.93	-
	LMO	6,125	8.75	-
(Sanfélix et al., 2015)	LFP	-5,848	-	-0.0071
	LMO	-5,650	-	-0.0063
(Sanfélix et al., 2016)	LFP	-8,962	-5.90	-

Fuente: Elaboración propia

Oliveira *et al.* (2015) cuantificaron los impactos que tiene el reciclaje de dos tipologías de baterías de litio (LFP y LMO) de 8 kg sobre distintos indicadores ambientales, como cambio climático, potencial de toxicidad a humanos, formación de material particulado y agotamiento de metales vírgenes. En su estudio consideran el impacto que tiene el uso de 1 kWh de energía y una vida útil de 1,400 kWh para las baterías. Cabe destacar que las emisiones estimadas que presentan corresponden a las de una planta de reciclaje y no toman en cuenta el ahorro en consumo de energía por el aprovechamiento de los recursos recuperados que evita el proceso de extracción de metales vírgenes.

Sanfélix *et al.* (2015) realizan un estudio similar, también para las dos baterías de litio ya mencionadas (LFP y LMO), pero en él sí consideran el “crédito” de emisiones que implica el reciclaje al compararlo con la extracción de metales vírgenes. Toman en cuenta una serie de indicadores adicionales a las emisiones de GEI y de material particulado, tales como riesgo de eutrofización acuática y terrestre, impacto sobre el agotamiento de la capa de ozono, sobre la salud humana y el ambiente, etc. Para su estudio han considerado el impacto que tiene el recorrido de 1 km y una vida útil de packs de baterías de 150,000 km para las baterías de LMO y 300,000 km para las de LFP, de masas de 300 kg y 315 kg respectivamente.

Sanfélix *et al.* (2016) profundiza su análisis sobre las baterías de LFP. A pesar de ser un estudio realizado por los mismos autores que el estudio detallado previamente, se observa una diferencia en la estimación de las emisiones de CO₂e entre ambos. Esta vez, los autores se centran en medir los impactos de las baterías sobre el cambio climático, formación de material particulado, oxidación fotoquímica y acidificación terrestre. Para llevar a cabo su análisis utilizaron un pack de baterías de 318 kg con una vida útil de 150,000 km recorridos.

De la misma manera, Van Mierlo *et al.* (2017) también cuantificaron los impactos del reciclaje de dos tipos de baterías de litio (LFP y LMO) realizando un ACV de vehículos eléctricos, y, en particular, de estas baterías. A pesar de lo anterior, no es posible cuantificar los impactos de manera tal que sean comparables con los medidos por los estudios presentados en la Tabla 10-7, ya que los resultados se presentan en relación a la capacidad de las baterías (kWh) en lugar de su masa, sin mencionarse, a su vez, la capacidad total y la masa total de las baterías estudiadas. A pesar de esto, cabe destacar que, utilizando una herramienta para comparar los impactos

ambientales totales de distintos tipos de baterías, dedujeron que los impactos ambientales generados en su ciclo de vida pueden reducirse en un ~54% si son sometidas a reciclaje.

10.2.2 Disposición en rellenos de seguridad

Debido a la presencia de materiales tóxicos e inflamables, las baterías de iones de litio, en caso de ser dispuestas, debe ser realizado en un relleno de seguridad que posea las medidas de control necesarias para contener las sustancias contaminantes y evitar los daños producidos por su eventual inflamación o explosión. En particular, con el fin de evitar una combustión espontánea, es importante que las baterías sean gestionadas sin carga residual, para lo cual pueden ser sumergidas en una solución salina u otro medio que remueva la carga eléctrica contenida en ellas (Zheng et al., 2018).

10.2.3 Tratamiento no regulado de los residuos

Al igual que como sucede con las baterías con plomo, toda BFU puede ser dispuesta de manera inadecuada junto a otros residuos domiciliarios, pudiendo ser dispuestas en rellenos sanitarios, vertederos o basurales. Por otro lado, no se ha encontrado información que muestre antecedentes de canales de reciclaje o exportación de baterías de iones de litio. Como se presentó en la Tabla 8-18, las baterías sin plomo corresponden a tan sólo un 3% de las baterías generadas en el país (cerca de 4,000 toneladas de baterías al año), con una vida útil media de 2 años, por lo que, considerando esto y la baja rentabilidad de su reciclaje, se asume que no existen fundiciones informales ni exportación u otros canales no regulados de tratamiento de estos residuos en el país más allá de su disposición junto a otros residuos municipales. Cabe destacar que no se han observado esfuerzos municipales por recolectar estas baterías para evitar su disposición y someterlas a un proceso de valorización.

Respecto a su disposición no regulada, es importante evitar que estas baterías sean dispuestas en espacios que no cumplan con las medidas de seguridad necesarias, dado que, como ya se ha mencionado, algunas de estas baterías contienen compuestos tóxicos y peligrosos, los cuales pueden drenar a napas subterráneas; o bien pueden prenderse en fuego con facilidad ante un corto circuito (Beaudet et al., 2020).

10.2.4 Discusión

Los impactos previamente identificados se presentan de manera resumida a continuación en la Tabla 10-8.

Tabla 10-8 Descripción cualitativa de los impactos ambientales asociados a los distintos tipos de tratamiento de las baterías de iones de litio fuera de uso

Tipo de tratamiento	Impactos
---------------------	----------

Reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo de energía en comparación a su disposición - Posibles emisiones de compuestos tóxicos - Emisiones de GEI, material particulado - Poco rentable
Disposición en relleno sanitario, vertedero o basural	<ul style="list-style-type: none"> - No se recuperan recursos - Riesgo de contaminación de napas subterráneas - Riesgo de incineración o explosión - Se requiere de espacio para contener el volumen de residuos
Disposición en relleno de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - No se recuperan recursos - Se requiere de espacio para contener el volumen de residuos

Fuente: Elaboración propia

Si bien no es atingente en el marco de la Ley N°20.920, se menciona que el mayor impacto ambiental de estas baterías ocurre en la fase de uso producto de la energía consumida al ser cargadas (Deng, Li, Li, Gao, & Yuan, 2017), por lo que la manera más efectiva de hacerse cargo de los efectos ambientales que tienen estos productos, más que el reciclaje, consiste en la utilización de fuentes de energía renovables u otras fuentes de energía con menores emisiones para alimentar estas baterías.

10.3 Valorización de los impactos

El impacto económico asociado a la salud de la población por la exposición a plomo está compuesto por costos directos e indirectos. Costos directos incluyen aquellos asociados a la detección y atención médica por intoxicación aguda y crónica por plomo como también la entrega de educación especial, el manejo de la delincuencia juvenil y otras conductas delictivas debido a la reducción del coeficiente intelectual mientras que los costos indirectos reflejan la carga económica sobre la sociedad debido a una variedad de factores, incluida la reducción del coeficiente intelectual y la consiguiente reducción de la productividad económica y los ingresos fiscales (WHO, 2017). Diferentes estudios han estimado el costo social asociado a las pérdidas de coeficiente intelectual estimadas y el impacto en la productividad económica producto de la exposición a plomo (Attina & Trasande, 2013; Bartlett & Trasande, 2013; Pichery et al., 2011; Trasande & Liu, 2011).

Si bien existe amplia evidencia de los impactos económicos asociados a la exposición de la población al plomo, en el caso particular del tratamiento inadecuado de las baterías de plomo fuera de uso en Chile, no se tienen antecedentes como para poder realizar una estimación precisa del impacto económico de este tipo debido a que no se conoce la magnitud ni la ruta de exposición de plomo en la población debido a la liberación de plomo producto de una disposición inadecuada de este tipo de residuos²⁹. Sin embargo, es importante tener esto en consideración

²⁹ Una investigación de la exposición al plomo debe incluir la identificación o confirmación de las fuentes de exposición, la determinación de las rutas y los medios por los cuales ocurre la exposición, y la evaluación de la gravedad y los impactos asociados a la salud de la exposición. La confirmación de la exposición y la determinación de la gravedad y la necesidad de tratamiento implica la medición de la concentración de plomo en la sangre, junto exámenes médicos para detectar signos y síntomas de envenenamiento por plomo. Las fuentes de exposición se deben identificar tomando un historial de exposición y realizando investigaciones ambientales (WHO, 2017).

a manera de reconocer que cualquier valorización social que se realice, es una subestimación del beneficio social que pueda tener un tratamiento adecuado de este tipo de residuo debido a que no se está incluyendo en la valoración el beneficio asociado a la disminución de la exposición al plomo de la población y los beneficios sociales que esto implica.

Según lo descrito en las secciones anteriores respecto a los antecedentes existentes para una cuantificación de los impactos ambientales de una adecuada gestión de las baterías fuera de uso, solo es posible realizar una valoración directa asociada a una reducción de las emisiones GEI considerando que el proceso de reciclaje de las baterías fuera de uso evita la extracción de materia prima virgen, además de la posibilidad de cuantificar la reducción del consumo de energía asociado al mismo concepto para el caso de las baterías con plomo (ver Sección 10.1.2.1).

Por su parte, la alta tasa de reciclaje que presentan las baterías de plomo se explica por el hecho de que el plomo que está contenido en ellas tiene valor en el mercado y la tecnología para recuperar este metal se encuentra bien establecida y a un costo suficiente como para que estas sean recicladas (Gupt & Sahay, 2015; NZIER, 2013). Por lo mismo, las baterías de plomo, internacionalmente, tienden a no ser un problema de disposición final ya que los materiales son suficientemente valorados para soportar el reciclaje con fines comerciales y por lo mismo, no existe amplia evidencia que estudie la disposición a pago por un tratamiento adecuado de este tipo de residuos (NZIER, 2013), que en caso de que existiera, permitiría incorporar aquellos beneficios no transables en el mercado, en particular aquellos asociados a reducir el riesgo hacia el ecosistema y salud de la población.

Sin embargo, dado que existe una fracción que no se esta gestionando de manera adecuada, y que la valoración ambiental que le otorga la sociedad a los beneficios asociados a la gestión adecuada no es nula, se proponen dos enfoques alternativos de valoración, adicionales a la valoración directa asociada a la reducción de emisiones GEI por evitar la extracción de materia prima virgen, que si bien tienen características metodológicas que dificultan su uso directo (ver detalle en las Secciones 10.3.2 y 10.3.3), permiten establecer un orden de magnitud de los potenciales beneficios socioambientales que se generarían por una disposición adecuada de las baterías.

Los enfoques alternativos de valoración junto con la valoración directa asociada a la reducción de emisiones GEI por evitar la extracción de materia prima virgen, se presentan en las secciones a continuación.

10.3.1 Valoración social por reducción de emisiones GEI al evitar la extracción de materia prima virgen

La siguiente tabla presenta la reducción de emisiones GEI que se recomienda utilizar para cada tipología de batería (con plomo y sin plomo), basándose en los estudios que fueron levantados y analizados en el presente documento y que corresponden a los más actualizados a la fecha, y

considerando que el proceso de reciclaje de las baterías fuera de uso evita la extracción de materia prima virgen. Esto, junto con el precio social del carbono según el Ministerio de Desarrollo Social y Familia de 0.823 [UF/ton CO₂e] (Ministerio de Desarrollo Social, 2020), implica que el reciclaje de una tonelada de batería genera un beneficio social asociado a la reducción de emisión de GEI de 5.42 [UF/ton BFU] y 7.38 [UF/ton BFU] para baterías con plomo y sin plomo respectivamente.

Tabla 10-9 Valores de reducción de emisiones GEI recomendados para cada tipología de batería

Tipo Batería	Alcance	Emisiones GEI [kg CO ₂ e/ton BFU]	Fuente	Valor social CO ₂ e [UF/ton CO ₂ e]	Beneficio Social [UF/ton BFU]
Baterías con Plomo	Producción primaria	303.44	(IPCC, 2006)	0.823	-0.02
	Producción secundaria	275.10	(Tian et al., 2017)		
	Diferencia considerando el "crédito" de no extracción de materia virgen	-28.34	(IPCC, 2006; Tian et al., 2017)		
Baterías sin Plomo	Considerando el "crédito" de no extracción de materia virgen	-8,962	(Sanfélix et al., 2016)		-7.38

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que, si bien el proceso de reciclaje se realizaría en territorio nacional, la extracción de materia prima no necesariamente ocurre en el mismo territorio. Debido a que los GEI son contaminantes globales, el impacto al medio ambiente es independiente a donde estos se emiten.

10.3.2 Valoración social de la reducción del riesgo a la población y ecosistemas por medio del método de disposición a pago (DAP)

Como ya se mencionó, las baterías de plomo, internacionalmente, tienden a no ser un problema de disposición final ya que los materiales son suficientemente valorados para soportar el reciclaje con fines comerciales. Por lo mismo, no existe amplia evidencia de ejercicios que estudien la disposición a pago por un tratamiento adecuado de este tipo de residuos (NZIER, 2013).

Solo se identificó un estudio que estima la disposición a pagar por el reciclaje de una batería de plomo en Beijing, China (Tian, Wu, Gong, Agyeiwaa, & Zuo, 2015). El contexto de la disposición a pago en este caso corresponde a la existencia de fundiciones ilegales en Beijing producto de que el reciclaje legal no es rentable. En este caso, el escenario hipotético presentado a los encuestados implicó un aporte económico de la población al momento de entregar el residuo para su tratamiento adecuado, en este caso, reciclado. Este estudio concluye que aquellos

residentes con automóvil tienen una DAP de 48.72 CNY por batería o un 4.96 % del costo de la batería, mientras que residentes con E-bikes tienen una DAP de 26.05 CNY por batería o un 4.04 % de su costo. La siguiente tabla presenta estos valores luego de hacer el ejercicio de transferirlos a valor nacional, considerando tanto la conversión de divisas como la diferencia de poder paridad de compra.

Tabla 10-10 Disposición a pagar por reciclaje de baterías de plomo, en UF y CLP

Tipo de batería	Valor original [CNY/batería]	Año	[CLP/batería]	[UF/ batería]	[UF/ton batería] (1)
Automóvil	48.72	2014	8,376	0.34	23.9
E-bike	26.05	2014	4,479	0.18	51.4

(1) Para batería de tipo "Automovil", considera peso promedio ponderado de baterías de gasolina y diesel (14.23 kg), mientras que para E-bike considera peso de batería asociada a motocicleta (3.5 kg), ambos, según Tabla 7-3.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Servicio de Impuestos Internos, 2020; World Bank, 2019)

La Tabla anterior presenta los valores de disposición a pago provenientes de dicho estudio transferidos a Chile, pero es importante destacar que el contexto desde donde proviene la disposición a pago es diferente a la situación que ocurre en Chile, en donde si bien existe evidencia aislada de reciclaje informal de BFU (ver Sección 10.1.3), el reciclaje formal es una práctica común y rentable.

Sin embargo, y a pesar de que el reciclaje formal en Chile es una actividad rentable, sigue existiendo una fracción de BFU, que, no se está gestionando de manera adecuada, teniendo destino desconocido e implicando un riesgo a la salud de la población y de los ecosistemas. Dado esto, y a pesar de que el contexto entre el estudio de DAP existente y el caso chileno son diferentes, los valores resultantes del ejercicio de transferencia de beneficio entregan una buena aproximación del valor que podría estar dispuesto a pagar la población chilena por la gestión adecuada, en este caso reciclaje, de las BFU.

El mercado del reciclaje de las baterías sin plomo aún no cuenta con economías de escala como para hacerlo rentable privadamente, pero aun así no se encontraron ejercicios que estimaran la disposición a pago por una reducción de los impactos asociados a la mala gestión de estas baterías al momento de finalizar su vida útil. Debido a la no existencia de información, y también reconociendo que su mala gestión podría implicar un riesgo a la salud de la población y los ecosistemas y que la sociedad le otorga un valor a estos, los valores presentados en la Tabla 10-11 pueden representar un orden de magnitud de los potenciales beneficios socioambientales que se generarían por una disposición adecuada de este tipo de baterías.

10.3.3 Valoración social según magnitud de la acción indemnizatoria

En Chile, una vez que existe daño ambiental se genera la necesidad de reparación ambiental para restaurar el medio ambiente afectado, pero además se genera el requerimiento de acciones indemnizatorias de manera de compensar el daño no reparable y los beneficios sociales perdidos

a partir de éste (daño residual y pérdidas interinas). La valoración social del daño dependerá de los servicios ecosistémicos (SSEE) que tienen directa relación con el bienestar humano. La valoración de estos SSEE directos, debiese determinar la acción indemnizatoria requerida a partir del daño (GreenLabUC, 2014).

Según lo que se indica en el párrafo anterior, se propone como un método alternativo de valoración utilizar la jurisprudencia de sanciones y multas asociadas a infracciones relacionadas al reciclaje de baterías de plomo dentro del territorio nacional. Si bien la acción indemnizatoria debiese ser calculada basándose en la valoración social de los servicios ecosistémicos dañados y no al revés como se está proponiendo aquí (i.e. utilizar la magnitud de la acción indemnizatoria para estimar la valoración social), se considera una buena aproximación con el objetivo de establecer un orden de magnitud de los beneficios asociados a evitar el potencial daño a la salud de la población y ecosistemas debido a la disposición inadecuada de las BFU.

Se han identificado dos casos de infracciones asociadas al reciclaje de baterías de plomo, los cuales se detallan a continuación.

El primero de ellos ocurrió el año 2013. La compañía recicladora de baterías de plomo Tecnorec S.A. ubicada en San Antonio fue acusada de liberar contaminantes ambientales, más allá de lo permitido, a la zona donde se llevaba a cabo la operación, razón por la cual la SMA formuló cargos en su contra, incluyendo la acusación de realizar una actividad o proyecto fuera de lo establecido en la RCA. De acuerdo a lo indicado en la RCA 1033/2008, el proyecto contemplaba procesar 1,300,000 baterías al año, lo cual permitiría recuperar 10,100 toneladas de plomo refinado. El total de la multa asociado a este caso fue de **175 U.T.A**³⁰, en donde una de las infracciones que fue finalmente tramitada y con multa efectiva correspondió a una falta **grave**³¹ según la clasificación del artículo 36 de la Ley Orgánica de la Superintendencia de Mediambiente (LOSMA), la cual estipula una multa de una a cinco mil U.T.A. según los artículos 38 y 39 de esta misma Ley.

Por otro lado, y como ya fue descrito en la Sección 10.1.3, la Planta de Fundición Alcones ubicada en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y con una capacidad de procesamiento de 154 ton de plomo al mes fue también formalizada el año 2019 debido al manejo de residuos peligrosos provenientes de baterías de plomo sin la RCA que la habilite a ello, considerada por la SMA como una **infracción gravísima**. A pesar de esto, a la fecha de formulación del presente informe se encuentra suspendida la fiscalización y no se han registrado sanciones en contra de la fundición.

³⁰ Mayor detalle revisar expediente del procedimiento sancionatorio en <https://snifa.sma.gob.cl/Sancionatorio/Ficha/38>

³¹ Los resultados obtenidos dieron cuenta de una emisión promedio de plomo de 9.03 [mg/m³N], concentración que supera el valor de emisión de plomo establecido, siendo una infracción grave debido a su clasificación del tipo "Hayan generado un riesgo significativo para la salud de la población".

Considerando estos antecedentes, es posible tener una noción de las multas esperadas por la operación de plantas informales de reciclaje de baterías de plomo y considerar que estas multas pueden representar el beneficio económico que la sociedad podría estar dispuesta a desembolsar, ya que como se dijo en el primer párrafo de este capítulo, la valoración de los SSEE que estuvieron afectos al daño ambiental, debiese determinar la acción indemnizatoria a ejecutar. En este caso, se debiese considerar que este costo representa el beneficio económico mínimo, ya que la sociedad podría estar dispuesta a pagar más que la multa que finalmente se decide. Además, los antecedentes muestran que por una falta grave la multa puede ir entre una a cinco mil U.T.A. (artículo 38 y 39 de la LOSMA) y finalmente el caso al cual se está haciendo referencia solo se le aplicó una multa de 175 U.T.A.

Considerando ambos casos, y asumiendo que el segundo caso podría estar afecto a una multa similar al primero, la siguiente tabla presenta los valores sugeridos para considerarlos como representación de los beneficios socioambientales que se generarían por una disposición adecuada de baterías utilizando como aproximación una valoración basada en la magnitud de la acción indemnizatoria.

Tabla 10-11 Valores sugeridos para representar los beneficios socioambientales de una disposición adecuada de baterías según método de valoración según acción indemnizatoria

Caso	Capacidad [Pb/año]	Capacidad [ton batería/año] (1)	Multa [U.T.A]	U[F/ ton batería] (2)
Tecnorec S.A.	10,100	20,612	175	0.18
Fundación Alcones	1,848	3,771		0.98

(1) Considera un 49% de Pb/batería, considerando que el 70% de las baterías son componentes plomados y que, de estos, el 70% es plomo.

(2) Considera valor de la U.T.A (612,348 CLP) y UF (29,070 CLP) al 31 de diciembre 2020.

Fuente: Elaboración propia

10.3.4 Resumen

Considerando entonces lo descrito en las Secciones 10.3.2 y 10.3.3, la siguiente tabla resume los valores propuestos como aproximación metodológica debido a la dificultad de poder estimar directamente el beneficio asociado a la disposición adecuada de baterías fuera de uso.

Tabla 10-12 Beneficios socioambientales unitarios promedios [UF/ton] por disposición adecuada de baterías fuera de uso según metodologías alternativas

Metodología de Valoración Social Alternativa	Detalle	[UF/ton batería]
DAP	Automóvil	23.9
	Motocicletas	51.4
Magnitud de acción indemnizatoria	Rango inferior (Caso Tecnorec S.A.)	0.18
	Rango superior (Caso Fundación Alcones)	0.98

Fuente: Elaboración propia

Si bien se intentó construir una propuesta metodológica alternativa de valoración ambiental siguiendo el enfoque de “Costo de restauración”³², no se logró levantar antecedentes respecto a cuanta agua o suelo se podría contaminar debido a la disposición inadecuada de baterías fuera de uso que permitiese así obtener un beneficio unitario. Sin embargo, en el Anexo 13.6 se presentan antecedentes asociados a los costos de tratamiento de agua y suelo en caso de contaminación de estos por metales pesados.

³² Este método consiste en estimar el valor económico de un servicio ecosistémico calculando cuánto costaría en el mercado reemplazarlo con tecnología o restaurarlo, si este ha sido dañado (Cerde & Melo, 2014).

11. Conclusiones

En el marco de la ley 20.920, se establece que es atribución del MMA establecer metas de recolección y valorización para los residuos de productos prioritarios. Estas metas, deben ser evaluadas por un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) que, en base a los mejores antecedentes disponibles, los costos y beneficios del cumplimiento del anteproyecto de metas. Como un insumo para la elaboración de este AGIES, el presente estudio tiene como objetivo actualizar línea base e identificar, cuantificar y valorizar los impactos ambientales específicos para el producto prioritario baterías. Para dar cumplimiento a este objetivo se desarrollaron una serie de actividades cuyas metodologías y resultados se detallan en el cuerpo del informe.

Al comienzo del estudio se realizó una revisión bibliográfica de estudios en la materia desarrollados en Chile con anterioridad. De esta revisión se concluye que la información presentada por los estudios anteriores se enfoca principalmente en el mercado de baterías de plomo y, por ende, limita las comparaciones con los resultados de este estudio únicamente a este tipo de baterías. Al respecto cabe destacar, que los resultados del presente estudio apuntan a que si bien la gran mayoría de los BFU corresponden a baterías de plomo - en torno al 97% en términos de masa para el año 2019 –, también se observa un aumento importante en la participación de baterías de otros compuestos, las cuales en el futuro podrían aumentar su participación de forma relevante, especialmente impulsada por el crecimiento de la electromovilidad. De los estudios revisados, se considera el estudio de GESCAM (2017) como el estudio que presenta la información más completa y actualizada para baterías de plomo, siendo la principal referencia base para la realización del actual estudio. Esto, se debe principalmente a la trazabilidad en la metodología presentada para el cálculo en los factores de generación de BFU, metodología que se adaptó para ser replicada en este estudio para baterías de arranque y de plomo. Del mismo modo, para estos tipos de baterías, los resultados presentados por GESCAM muestran coherencia y compatibilidad con los obtenidos en este estudio, obteniéndose ordenes de magnitud similares en importaciones de baterías de plomo y generación de BFU.

Para las variables ya analizadas en estudios anteriores, como importaciones y generación de BFU de plomo, los resultados se encuentran en el orden esperado. En particular los ingresos netos de baterías, pasando de 2.2 millones estimadas por GESCAM para el año 2016 a 2.3 y 2.2 millones para los años 2018 y 2019 respectivamente (ver Tabla 11-1). Este crecimiento tiene un correlato al observar la serie completa de importaciones de baterías, reconstruida a partir de los estudios previos (ver Figura 11-1). En dicha serie, si se excluyen los datos de EY, los cuales se escapan de la tendencia, se observa un crecimiento constante de las baterías importadas. Ajustando una regresión lineal a dicha serie se observa un crecimiento anual de los ingresos netos de baterías de plomo de 82,170 unidades cada año ($R^2=0.964$), esto es equivalente a un aumento de entre 3%-4% respecto de los ingresos netos observados en los últimos años.

Tabla 11-1 Comparación de valores de importaciones de baterías de plomo actuales y de bibliografía

Estudio	Cifra	Año estudiado	Descripción	Valor
Presente estudio, 2020	Importaciones de baterías con corrección	2019	Importaciones de baterías en base a datos de Servicio Nacional de Aduanas, con corrección de los errores encontrados.	2,300,413
Presente estudio, 2020	Exportaciones de baterías	2019	Exportaciones de baterías en base a datos de Servicio Nacional de Aduanas.	91,199
Presente estudio, 2020	Ingreso neto de baterías	2019	Ingreso neto de baterías, obtenido restando las exportaciones anuales de baterías a las importaciones anuales de baterías.	2,183,925
Presente estudio, 2020	Importaciones de baterías con corrección	2018	Importaciones de baterías en base a datos de Servicio Nacional de Aduanas, con corrección de los errores encontrados.	2,435,614
Presente estudio, 2020	Exportaciones de baterías	2018	Exportaciones de baterías en base a datos de Servicio Nacional de Aduanas.	90,867
Presente estudio, 2020	Ingreso neto de baterías	2018	Ingreso neto de baterías, obtenido restando las exportaciones anuales de baterías a las importaciones anuales de baterías.	2,344,747
GESCAM, 2017	Proyección del consumo de baterías	2018	Cálculo realizado a partir de las importaciones de baterías de Aduanas para el 2016, considerando que las importaciones equivalen al consumo, y una proyección en base al crecimiento del PIB esperado del país.	2,314,153
GESCAM, 2017	Importaciones de baterías	2016	Importaciones de baterías en base a datos de Servicio Nacional de Aduanas, para el año 2016.	2,202,762
EY, 2017	Importaciones de baterías Aduana	2015	Basado en las importaciones de baterías del Servicio Nacional de Aduanas. No hay claridad en cómo se llegó a este número.	3,501,818
EY, 2017	Consumo de baterías	2014	Cálculo realizado en base a las importaciones del Servicio Nacional de Aduanas, y un factor de consumo calculado en base a las demandas anuales en el parque automotriz.	1,639,203

Fuente: Elaboración propia

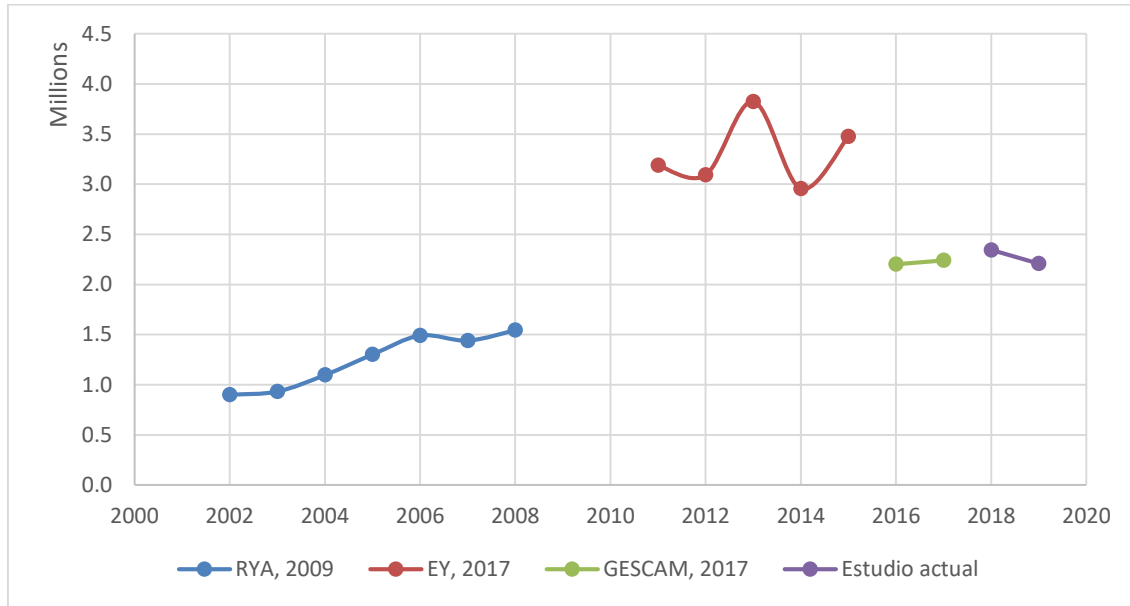


Figura 11-1 Importaciones de baterías con plomo [unidades] por estudio, serie 2002-2018

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los ingresos netos de baterías de otros compuestos, se ve que dentro de los códigos consultados las importaciones son mayoritariamente de pilas o aparatos que no corresponden a baterías. Frente a esto se aplica un proceso de filtrado e identificación de los movimientos que efectivamente implican baterías. De este proceso se identificó que cerca del 15% de las importaciones corresponderían a baterías según la definición de la RE 409/2018 del MMA³³. Las baterías de otros compuestos corresponden principalmente a baterías de Litio, cuyo uso más frecuente es como baterías de tracción para vehículos eléctricos, aunque una fracción también es utilizada como baterías estacionarias. En la Tabla 11-2 se presentan los resultados de una clasificación de todas las importaciones realizadas en los códigos arancelarios relacionados a baterías de plomo y de otros compuestos según categorías y tipo.

De los resultados de ingreso neto de baterías según categoría, se observa que las de tracción representan al 23.1% de las unidades importadas. Por otro lado, las baterías estacionarias corresponden al 18.2% de las unidades importadas y se componen en gran parte por baterías estacionarias de respaldo, uso energético e industrial. Lo anterior da cuenta de que, si bien, las baterías de arranque siguen siendo la principal categoría de baterías, otros usos como la tracción o el respaldo energético tienen una participación relevante. Respecto a la diferencia entre estos valores y la generación de BFU, donde los resultados para los mismos años apuntan a que el 97% del peso corresponden a baterías de plomo, se destaca a que efecto como el mayor peso de las baterías de plomo, una vida útil menor, y aplicaciones ampliamente extendidas y con una participación consolidada hace varios años, explican estas diferencias. Sin embargo, es esperable que en el futuro las baterías de arranque reduzcan su participación en la generación de BFU. Aún así en las proyecciones realizadas, se observa que aún en un escenario de electromovilidad

³³ Establece la diferencia entre pilas y baterías, según un umbral de peso de 2 kg.

optimista, las baterías de arranque de plomo representarían el 80% del peso de BFU generadas en el año 2030.

Tabla 11-2 Ingreso neto de baterías de todos los compuestos 2018 y 2019

Categoría	Tipo	Unidades importadas 2018	Total 2018	Unidades importadas 2019	Total 2019
Arranque	Arranque	1,024,957	1,923,611	997,054	1,956,838
	Bencina	70,472		70,855	
	Diésel	713,576		705,425	
	Motocicleta	99,402		153,098	
	Maquinaria	15,204		30,406	
Tracción	Otras Litio	745,452	749,931	775,905	780,688
	Otros Vehículos	3,351		4,079	
	Scooter	1,128		704	
Estacionaria	Estacionarias Energía	146,706	689,916	65,599	514,133
	Estacionarias Industrial	100,310		50,826	
	Estacionarias Respaldo	336,028		295,111	
	Estacionarias S.C.	29,635		31,402	
	Médico	11,318		9,918	
	Telecomunicaciones	65,919		61,277	
No batería	Cargador	81,759	3,264,045	156,779	5,590,266
	Celular	580,415		558,919	
	Notebook	45,488		78,424	
	Pilas	2,556,383		4,796,144	
		Total baterías	3,363,458	Total baterías	3,251,659

Fuente: Elaboración propia

Esta clasificación realizada por medio de un algoritmo de identificación de palabras claves en las glosas descriptivas de los registros de aduanas, permite identificar con mayor nivel de detalle el tipo de producto, así como el tipo de uso de las importaciones. Al respecto cabe destacar que los resultados con este nivel de detalle deben ser tomados con consideración de la incertidumbre asociada, la cual es mayor en la medida que aumenta el nivel de detalle. Esta incertidumbre tiene su origen en la diferencia en la definición realizada de pilas y baterías entre el Servicio Nacional de Aduanas, cuya clasificación se basa en la capacidad de recarga y en los elementos que las componen, mientras que la definición propuesta en la RE 408/2018 del MMA toma como criterio el peso unitario. Esta diferencia implica que los datos de ingresos de pilas y baterías al país, requieran un proceso de reclasificación para adaptarse a las definiciones utilizadas en la Ley 20920. Este proceso es especialmente incierto en el caso de las baterías de compuestos no plomados y las pilas secundarias (recargables), en la medida que ingresan bajo las mismas partidas arancelarias, sin necesidad de diferenciar por peso unitario.

El ingreso neto de baterías contenidas en equipos, como vehículos y maquinaria, presentan una fracción importante del total de baterías que ingresan al país anualmente. Las importaciones

vehiculares contienen el 17% y 14% del total de importaciones de baterías para 2018 y 2019 respectivamente (ver Tabla 11-3). Los datos de ingresos de baterías contenidas en vehículos y maquinaria, junto con las importaciones de baterías de otros compuestos, corresponden a más del 25% del total de importaciones para ambos años estudiados. Lo anterior, muestra el aumento significativo que hubo en el universo de baterías consideradas para el estudio, lo que permitió desarrollar el modelo de generación de BFU con datos actualizados y representativos.

Tabla 11-3 Ingreso total de baterías y baterías contenidas en equipos

Origen	Clasificación	Ingreso de unidades 2018	Peso ingresado 2018 (ton)	Subtotal 2018 (ton)	Ingreso de unidades 2019	Peso ingresado 2019 (ton)	Subtotal 2019 (ton)
Baterías de plomo	Arranque	1,889,229	26,017	28,601	1,885,479	25,503	27,212
	Tracción	2,341	6		3,845	10	
	Estacionaria	444,520	2,578		294,601	1,709	
Baterías de otros compuestos	Arranque	34,062	451	4,209	55,132	719	4,354
	Tracción	732,332	1,943		769,896	2,002	
	Estacionaria	114,896	1,815		139,005	1,633	
Ingreso vehicular	Vehículos para 10 personas o más	7,161	200	6,471	7,373	210	5,014
	Vehículos para transporte de personas	337,479	4,341		259,393	3,298	
	Vehículos para transporte de mercancías	114,703	1,753		87,763	1,358	
	Vehículos para usos especiales	1,594	13		35,976	0	
	Motocicletas	459,536	164		229,584	148	
Ingreso de maquinarias	Tractores	10,705	182	397	8,704	148	390
	Otras maquinarias	12,620	215		14,252	242	
Total de baterías importadas		4,161,178	39,678	37,094	3,791,003	36,970	36,970

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una estimación de la generación de BFU en el país, la cual resulta en una generación de 31.5 y 33.1 miles de toneladas para el año 2018 y 2019, para un escenario de vida útil media. De esta generación en torno al 98% corresponden a baterías de plomo, y cerca 2/3 del total provienen de las baterías de arranque de las categorías vehiculares de automóviles livianos y camionetas. Cabe destacar que respecto a los ingresos netos se observaba una reducción en el ingreso neto de baterías del año 2018 al año 2019, y pese a esto se observa un aumento de la generación de BFU. Lo anterior, si bien podría parecer contraintuitivo en principio, se explica por la forma en que se estiman la generación de BFU. A modo general, el ingreso de baterías se suma al parque existente aumentando el parque de baterías en el país, mientras que la generación de BFU implica una reducción de este parque. Bajo esta lógica, en la medida que los ingresos sean mayores que la generación de BFU, el parque estaría aumentando y, por lo tanto, aumenta también la generación de BFU.

La estimación anterior responde a la serie de supuestos consideradas para la estimación y, por lo tanto, se incluye un análisis de otros escenarios de una variable frente a los cuales los resultados son especialmente sensibles: vida útil promedio de las baterías. Frente a esto se observa que de

considerar vidas útiles menores tiene un impacto en un aumento en torno al 40% en la cantidad de BFU generadas, mientras que una vida útil larga implicaría una reducción de en torno al 30%. Aun así, las conclusiones respecto a la participación de las baterías de plomo, en particular las originadas por automóviles, station wagon y camionetas, se mantienen representando una participación similar al escenario de vida media.

Otra incertidumbre relevante que afecta en particular a las baterías de litio, corresponde al parque eléctrico de motocicletas y similares. Esta incertidumbre se identifica por la amplia disonancia que se observa entre los vehículos de este tipo observados en el parque vehicular del INE (menos de mil hasta el año 2019) y las importaciones registradas por Aduana que superan las 450 mil unidades entre los años 2018 y 2019. Esta diferencia se explicaría puesto que el INE realiza la estimación del parque vehicular en base a datos como los permisos de circulación, y estos vehículos actualmente no realizan este tipo de trámites de forma masiva. A nivel de modelo esta variable es modelada como una variable incierta con una distribución, que resulta en una estimación de BFU que resulta en una variación de ± 300 toneladas. Si bien este valor es relativamente pequeño frente al total de BFU generadas, si resulta relevante para la subcategoría de BFU distintas de plomo, que en su estimación media corresponde a cerca de 1,000 toneladas.

Respecto del destino de las BFU generadas en el país, la única opción de valorización conocida en el país corresponde a la planta RAM ubicada en la comuna de Calama. En el contexto del presente proyecto se contactó directamente a dicha planta quienes facilitaron información de primera fuente respecto de sus operaciones y del proceso de reciclaje de las baterías. De acuerdo a los datos provistos por la empresa (ver Tabla 11-4), en el período 2018-2019 se procesaron en torno a 47.8 miles de toneladas de BFU, los cuales dieron paso a la producción de 27.8 miles de toneladas de plomo y una fracción menor de PP.

Tabla 11-4 Estadística operativas de RAM, años 2018 y 2019

Año	Baterías recibidas [ton]	Baterías procesadas [ton]	Plomo obtenido (1) [ton]	Relación Plomo : Batería procesada
2018	21,713	22,071	13,210	59.9%
2019	26,054	25,607	14,612	57.1%
Total	47,767	47,678	27,822	58.4%

(1) Sólo considera plomo obtenido desde BFU. En la planta también se recupera plomo desde otros desechos plomados. Se destaca que las BFU representan el principal origen del plomo durante los años 2018 y 2019, representando cerca del 90% del plomo obtenido en la planta en dicho período.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos directamente por RAM

En el caso de las baterías de arranque es posible realizar el contraste entre la estimación de las BFU y las importaciones netas de baterías. Esto puesto que estas baterías, a diferencias de las baterías estacionarias, son baterías que son importadas principalmente para el reemplazo de baterías que pasan a ser BFU. De este contraste se observa que el ingreso neto (en el orden de los 1.9 millones de unidades) se ubican entre las estimaciones de BFU para vida útil media (2.1-2.2 millones de unidades) y larga (1.5-1.6 millones de unidades).

Otro antecedente que coincide con la conclusión de que el valor real estaría entre ambos escenarios corresponde a las estimaciones de RAM. De acuerdo a las estimaciones propias de RAM, en RAM se reciclarían cerca del 90% de las BFU de plomo generadas en el país. Considerando los datos de procesamiento de RAM, dicha tasa de reciclaje equivale a una generación de BFU del país en torno a un punto intermedio entre el escenario de vida útil medio (~75%) y el escenario de vida útil larga (~105%).

Considerando los antecedentes anteriores, se podría proponer como una mejor estimación el promedio entre ambos escenarios lo que da cuenta de una generación de 28.15 miles de toneladas de BFU para el año 2019, de las cuales el 97.0% serían baterías con plomo, de las cuales en torno al 90% serían procesadas por RAM y la fracción restante tendría un destino desconocido.

Se desarrolló una proyección hasta el año 2030 de la generación de las BFU. Dado el horizonte de evaluación y el origen de las BFU se considera relevante modelar el impacto de la electromovilidad en la generación de BFU. Si bien el país tiene una meta al año 2050, no se tiene una trayectoria oficial de la penetración de los vehículos eléctricos al año 2030, frente a esto se plantearon dos escenarios, uno conservador y otro optimista, que den cuenta del rango del impacto que podría tener la electromovilidad en la generación de BFU.

El impacto de la electromovilidad en las baterías de arranque y tracción se presenta en la Figura 11-2, donde se observa que un escenario optimista resulta en que la generación de BFU tiene su peak en el año 2027, para luego contar con una reducción de generación de BFU. Esta reducción se ve compensada por un aumento en la generación de BFU de Tracción. Si bien, en términos netos de toneladas de BFU generadas la electromovilidad tiene un impacto reducido, se observa que estas baterías son diferentes en su composición siendo las baterías de arranque elaboradas a partir de plomo mientras que las de tracción a litio, lo cual resultará en diferencias relevantes en cuanto a los impactos asociados a la disposición correcta e incorrecta de las BFU.

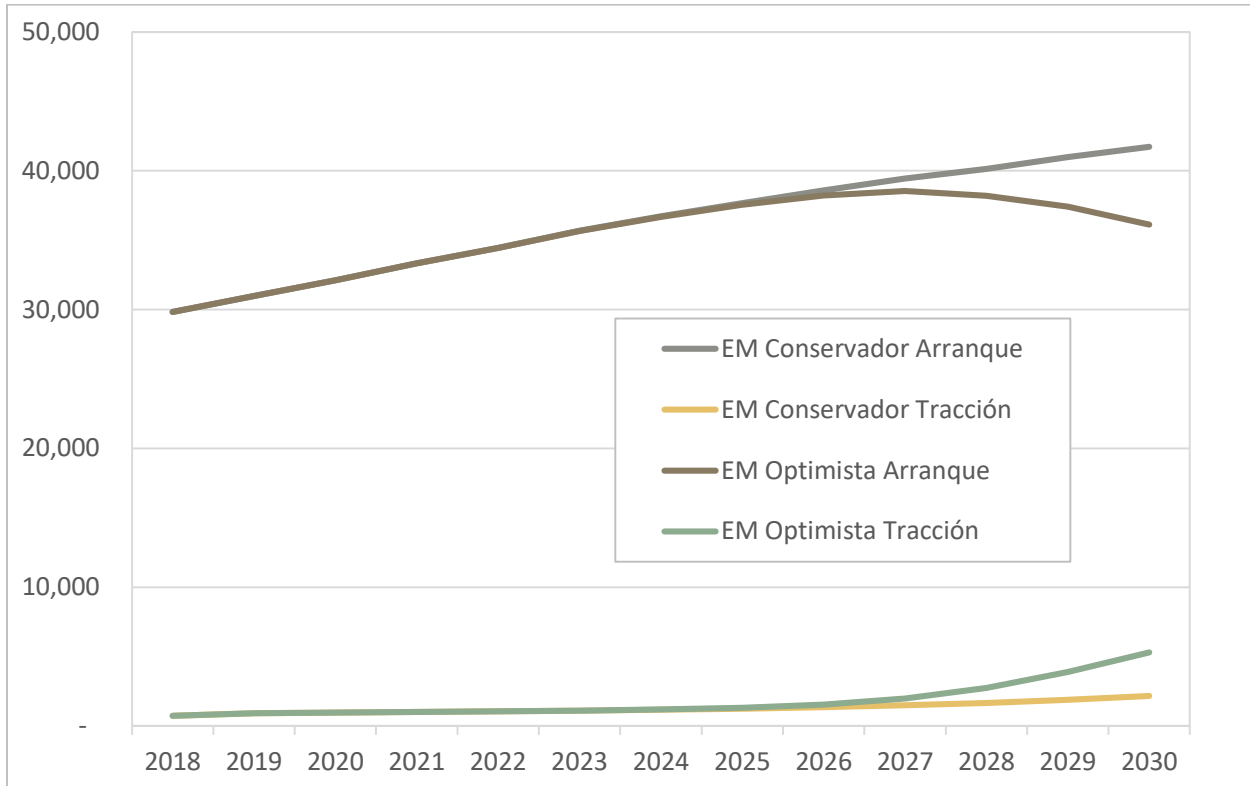


Figura 11-2 Generación de BFU [toneladas], arranque y tracción, según escenario electromovilidad

Fuente: Elaboración propia

Una segunda parte del presente estudio correspondió a la identificación de los impactos ambientales asociados a la disposición final de las baterías fuera de uso. El mayor impacto que tiene una disposición inadecuada de baterías de plomo fuera de uso tiene relación con la presencia de dos compuestos principales que son sumamente contaminantes: plomo, el cual tiene serios efectos tóxicos neurológicos, gastrointestinales, cardiovasculares, renales, hematológicos y endocrinos sobre quienes se vean expuestos (Haefliger et al., 2009; WHO, 2019); y ácido sulfúrico líquido, compuesto ácido y corrosivo capaz de percolar a napas subterráneas y de contaminar aguas superficiales. Respecto a las baterías sin plomo y específicamente aquellas de iones de litio, estas no contienen compuestos tóxicos ni se han mencionado mayores peligros en su gestión, únicamente “escapes térmicos” al hacer corto circuito, con lo cual la batería puede alcanzar temperaturas superiores a 100°C en poco tiempo (Ren et al., 2014).

Si bien el tratamiento adecuado, por medio de reciclaje o disposición en rellenos de seguridad disminuyen los riesgos inherentes de una disposición inadecuada, estas vías no se encuentran libres de generar un impacto ambiental, destacándose un alto consumo de energía, emisiones GEI y otros contaminantes. Más aun, debido al alto valor en el mercado que tiene el plomo que está contenido en ellas, existe la posibilidad de existencia de reciclaje informal, el cual aumenta los riesgos de los impactos ambientales identificados. En el caso de las baterías sin plomo, los componentes de estas actualmente no poseen un valor de mercado luego de ser recuperados a

través de un proceso de reciclaje, con la excepción del cobalto, por lo que no se ha identificado un riesgo de existencia de reciclaje informal.

Respecto a la cuantificación de los impactos, los estudios identificados se centran en estudiar el ciclo de vida de baterías, incluyendo el proceso de reciclaje de estas. Desde ahí es posible identificar el impacto ambiental, en términos de emisiones GEI, material particulado y otros contaminantes que tiene este proceso, pero considerando el “crédito” de emisiones que implica el reciclaje al compararlo con la extracción de metales vírgenes. Es este sentido se destaca que, según lo identificado en la literatura internacional, el reciclaje de ambos tipos de baterías (con y sin plomo) implican una reducción de emisiones GEI al incorporar el crédito asociado a la no extracción de materia prima virgen.

Según los antecedentes levantados, solo es posible realizar una valoración directa asociada a una reducción de las emisiones GEI considerando que el proceso de reciclaje de las baterías fuera de uso evita la extracción de materia prima virgen. Basándose en los estudios de análisis de ciclo de vida más actualizados a la fecha junto con el precio social del carbono según el Ministerio de Desarrollo Social y Familia de 0.823 [UF/ton CO₂e], el reciclaje de una tonelada de batería genera un beneficio social asociado a la reducción de emisiones GEI de 5.42 UF y 7.38 UF para baterías con plomo y sin plomo respectivamente.

La alta tasa de reciclaje que presentan las baterías de plomo se explica por el hecho de que el plomo que está contenido en ellas tiene valor en el mercado y la tecnología para recuperar este metal se encuentra bien establecida y a un costo suficiente como para que estas sean recicladas (Gupt & Sahay, 2015; NZIER, 2013). Por lo mismo, las baterías de plomo, internacionalmente, tienden a no ser un problema de disposición final ya que los materiales son suficientemente valorados para soportar el reciclaje con fines comerciales no existiendo estudios que estudien la disposición a pago por un tratamiento adecuado de este tipo de residuos (NZIER, 2013).

Sin embargo, dado que existe una fracción que no se está gestionando de manera adecuada, y que la valoración ambiental que le otorga la sociedad a los beneficios asociados a la gestión adecuada no es nula, se proponen dos enfoques alternativos de valoración, adicionales a la valoración directa asociada a la reducción de emisiones GEI por evitar la extracción de materia prima virgen, que si bien tienen características metodológicas que dificultan su uso directo, permiten establecer un orden de magnitud de los potenciales beneficios socioambientales que se generarían por una disposición adecuada de las baterías.

La siguiente tabla resume los valores propuestos como aproximación metodológica debido a la dificultad de poder estimar directamente el beneficio asociado a la disposición adecuada de baterías fuera de uso.

Tabla 11-5 Beneficios socioambientales unitarios promedios [UF/ton] por disposición adecuada de baterías fuera de uso según metodologías alternativas

Metodología de Valoración Social Alternativa	Detalle	UF/ton batería
DAP	Automóvil	23.9
	Motocicletas	51.4
Magnitud de acción indemnizatoria	Rango inferior (Caso Tecnorec S.A.)	0.18
	Rango superior (Caso Fundación Alcones)	0.98

Fuente: Elaboración propia

12. Bibliografía

- Amphos21. (2015). *Diagnóstico Sectorial Baterías y Acumuladores de Plomo en General. Informe Final elaborado para ECOVALOR y CPL.*
- ANAC. (2019). *Informe Mercado Automotor Diciembre 2018.*
- ANAC. (2020). *Informe mercado automotor – Diciembre 2019. Mercado Automotor.*
- Attina, T. M., & Trasande, L. (2013). Economic costs of childhood lead exposure in low- and middle-income countries. *Environmental Health Perspectives*, 121(9), 1097–1102. <https://doi.org/10.1289/ehp.1206424>
- Bartlett, E. S., & Trasande, L. (2013). Economic impacts of environmentally attributable childhood health outcomes in the European Union. *European Journal of Public Health*, 24(1), 21–26. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckt063>
- Basel Convention. (2012). National Management Plans for Used Lead Acid Batteries, (November), 1–55.
- Beaudet, A., Larouche, F., Amouzegar, K., Bouchard, P., & Zaghib, K. (2020). Key challenges and opportunities for recycling electric vehicle battery materials. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su12145837>
- BID. (2016). *The incorporation of Electric Cars in Latin America.*
- Bureau of International Recycling. (2008). Report on the Environmental Benefits of Recycling. *October*, (April), 49.
- Centro de Energía UC. (2018). *Infraestructura nacional de carga de vehículos eléctricos en Chile.*
- Centro Mario Molina Chile. (2016). Movilidad eléctrica: Oportunidades para Latinoamérica, 1–84. Retrieved from https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/nuestros-servicios/energía/movilidad-eléctrica
- Cerda, C., & Melo, O. (2014). Valoración económica de servicios ecosistémicos y biodiversidad en Chile: Marcos conceptuales y experiencias en investigación.
- Daniel, S. E., Pappis, C. P., & Voutsinas, T. G. (2003). Applying life cycle inventory to reverse supply chains: A case study of lead recovery from batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 37(4), 251–281. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00070-8)
- Deng, Y., Li, J., Li, T., Gao, X., & Yuan, C. (2017). Life cycle assessment of lithium sulfur battery for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 343, 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.01.036>
- E2BIZ Consultores. (2017). Estudio Escenarios de Usos Futuros de la Electricidad, Capítulos Transporte y Residencial. Retrieved from http://generadoras.cl/media/170822_Estudio_Escenarios_de_Usos_Futuros_de_la_Electricidad.pdf
- Ecoing. (2010). *INFORME FINAL “Evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la ley de responsabilidad extendida del productor en Chile.*
- Ecoing. (2011). *Evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la REP en Chile.* Santiago, Chile.
- EMEP/EEA. (2016). Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - 2.C.5 Lead production, (July), 1–25.
- EMEP/EEA. (2019a). *1.A.3.b Road Transport. EMEP/EEA air pollutant emission inventory*

- guidebook - 2019 (Vol. 53).*
- EMEP/EEA. (2019b). 1.A.4 Non road mobile machinery. *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019*, 1–81.
- EY. (2017). Asesoría para la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en Chile.
- Fiscalía Nacional Económica. (2016). Denuncia en mercado de compra de baterías de plomo usadas.
- Geasur. (2013). *Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión para maquinaria fuera de ruta.*
- Geasur. (2014). Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país.
- GEASUR. (2014). Analisis técnico económico de la aplicacion de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país.
- GESCAM. (2015). ESTRATEGIA SOSTENIBLE DE PRODUCCIÓN LIMPIA Y GENERADORA DE NEUMÁTICOS, BATERÍAS Y ACEITES LUBRICANTES.
- GESCAM. (2017). *Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para los productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la Ley 20,920.*
- GreenLab-Dictuc. (2018). *Valoración contingente para estimar beneficios ambientales asociados a los residuos de productos prioritarios contenidos en la ley rep.*
- GreenLabUC. (2014). Metodología para la Elaboración de Planes de Reparación del Daño Ambiental.
- Gupt, Y., & Sahay, S. (2015). Managing Used Lead Acid Batteries in India: Evaluation of EPR-DRS Approaches. *Journal of Health and Pollution*, 5(8), 52–63. <https://doi.org/10.5696/i2156-9614-5-8.52>
- Haefliger, P., Mathieu-Nolf, M., Locicero, S., Ndiaye, C., Coly, M., Diouf, A., ... Neira, M. (2009). Mass lead intoxication from informal used lead-acid battery recycling in Dakar, Senegal. *Environmental Health Perspectives*, 117(10), 1535–1540. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900696>
- Ingenieros Consultores RYA. (2009). *Diagnóstico de importación y distribución de baterías de plomo ácido usadas.*
- IPCC. (2006). Metal Industry Emissions. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Industrial Process and Product Use*, 85. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_Industry.pdf
- IPCC. (2013). AR5. Physical Science Basis. Ch. 8 - Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.018>
- Jensen, A. F., Cherchi, E., Mabit, S. L., & De Dios Ortúzar, J. (2017). Predicting the potential market for electric vehicles. *Transportation Science*, 51(2), 427–440. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0659>
- Massiani, J., & Gohs, A. (2015). The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies. *Research*

- in Transportation Economics*, 50, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.06.003>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2020). Precios Sociales 2020. Retrieved from <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/precios-sociales-vigentes-2017/?wpdmdl=2392>
- Ministerio de Energía, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, & Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Estrategia Nacional de Electromovilidad, 56. Retrieved from http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/estrategia_electromovilidad-27dic.pdf.
- Ministerio de Salud y Subsecretaria de Salud Pública. (2010). Decreto 2/2010: Regula autorización de movimientos transfronterizos de residuos peligrosos consistentes en baterías de plomo usadas.
- MINSAL. (2004). Decreto 148 - Aprueba Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos. Retrieved from <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=226458>
- MMA. (2017). Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas.
- NZIER. (2013). Willingness to pay for six end-of-life products, (October).
- Oliveira, L., Messagie, M., Rangaraju, S., Sanfelix, J., Hernandez Rivas, M., & Van Mierlo, J. (2015). Key issues of lithium-ion batteries - From resource depletion to environmental performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 108, 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.021>
- Peter J. Marks, Walter J. Wujcik, A. F. L. (1994). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*.
- Pichery, C., Bellanger, M., Zmirou-Navier, D., Glorennec, P., Hartemann, P., & Grandjean, P. (2011). Childhood lead exposure in France: Benefit estimation and partial cost-benefit analysis of lead hazard control. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 10(1), 44. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-44>
- Rantik, M. (1999). Life cycle assessment of five batteries for electric vehicles under different charging regimes.
- Ren, F., Cox, T., & Wang, H. (2014). Thermal runaway risk evaluation of Li-ion cells using a pinch-torsion test. *Journal of Power Sources*, 249, 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.058>
- Rydh, C. J. (1999). Environmental assessment of vanadium redox and lead-acid batteries for stationary energy storage. *Journal of Power Sources*, 80(1), 21–29. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(98\)00249-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(98)00249-3)
- Sanfélix, J., de la Rúa, C., Schmidt, J. H., Messagie, M., & Van Mierlo, J. (2016). Environmental and economic performance of an li-ion battery pack: A multiregional input-output approach. *Energies*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/en9080584>
- Sanfélix, J., Messagie, M., Omar, N., Van Mierlo, J., & Hennige, V. (2015). Environmental performance of advanced hybrid energy storage systems for electric vehicle applications. *Applied Energy*, 137, 925–930. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.012>
- Servicio de Impuestos Internos. (2020). UF. Retrieved from https://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2020.htm
- SMA. (2019). SMA formula cargos en contra de la planta de fundición alcones. Retrieved from <https://portal.sma.gob.cl/index.php/2019/04/26/sma-formula-cargos-en-contra-de-la->

planta-de-fundicion-alcones/

- Sullivan, J. L., & Gaines, L. (2012). Status of life cycle inventories for batteries. *Energy Conversion and Management*, 58, 134–148. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.001>
- Tian, X., Wu, Y., Gong, Y., Agyeiwaa, A., & Zuo, T. (2015). Residents' behavior, awareness, and willingness to pay for recycling scrap lead-acid battery in Beijing. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(4), 655–664. <https://doi.org/10.1007/s10163-015-0430-7>
- Tian, X., Wu, Y., Hou, P., Liang, S., Qu, S., Xu, M., & Zuo, T. (2017). Environmental impact and economic assessment of secondary lead production: Comparison of main spent lead-acid battery recycling processes in China. *Journal of Cleaner Production*, 144, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.171>
- Trasande, L., & Liu, Y. (2011). Reducing The Staggering Costs Of Environmental Disease In Children, Estimated At \$76.6 Billion In 2008.
- UNEP, & Secretariat of the Basel Convention. (2003). *Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Waste Lead-acid Batteries*.
- US-EPA. (2005). Calculation of Age Distributions in the Nonroad Model: Growth and Scrapage, (007), 1–16.
- Van Mierlo, J., Messagie, M., & Rangaraju, S. (2017). Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. *Transportation Research Procedia*, 25, 3435–3445. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.244>
- Were, F. H., Kamau, G. N., Shiundu, P. M., Wafula, G. A., & Moturi, C. M. (2012). Air and blood lead levels in lead acid battery recycling and manufacturing plants in Kenya. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9(5), 340–344. <https://doi.org/10.1080/15459624.2012.673458>
- WHO. (2017). *Recycling used lead-acid batteries: health considerations*.
- WHO. (2019). Lead poisoning and health.
- World Bank. (2019). Official exchange rate.
- WSP. (2020). *Asesoría para la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile - Producto Prioritario Pilas*.
- Zheng, X., Zhu, Z., Lin, X., Zhang, Y., He, Y., Cao, H., & Sun, Z. (2018). A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries. *Engineering*, 4(3), 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.018>

13. Anexos

13.1 Estudio GESCAM, 2017

13.1.1 Contexto del estudio

De acuerdo a los antecedentes el proyecto se enmarca en la futura implementación de la Ley REP, para lo cual el MMA requería contar con antecedentes metodológicos y técnicos para evaluar económicamente el cumplimiento de las metas asociadas a la recolección y valorización de residuos de productos prioritarios de neumáticos, baterías y aceites lubricantes. En este marco, el MMA solicitó el servicio de apoyo profesional para el levantamiento de información y elaboración de propuestas metodológicas para la evaluación económica de metas de recolección y valorización de los productos prioritarios contenidos en el Proyecto de Ley REP.

13.1.2 Objetivos del estudio

El objetivo general del estudio consiste en: Contar con antecedentes metodológicos y técnicos para la evaluación económica de metas de recolección y valorización y su rentabilización para productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

1. Realizar una caracterización actualizada del mercado del producto prioritario neumáticos, aceites lubricantes y baterías, sus categorías y subcategorías.
2. Caracterizar y sistematizar los sistemas de recolección y valorización existentes en el país y proponer una estrategia para abordar metodológicamente potenciales sistemas futuros.
3. Elaborar una propuesta metodológica para la evaluación económica, ambiental y social de metas de recolección y valorización para los residuos de los productos prioritarios neumáticos, aceites lubricantes y baterías, contenidos en la Ley N° 20.920.
4. Proponer y evaluar metas de recolección y valorización para neumáticos, aceites lubricantes y baterías.

13.2 Estudio Ecoing, 2011

13.2.1 Metodología

Para evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales asociados a la implementación de la REP para Neumáticos fuera de uso (NFU), Baterías fuera de uso (BFU), Aceites y lubricantes usados (ALU) y Residuos electrónicos (RE, específicamente equipos de informática y celulares), se ha supuesto distintos escenarios con metas de recuperación para dichos productos, de acuerdo al siguiente esquema:

- Base de Evaluación: Corresponde a la situación actual de los productos comercializados y recuperados, y el manejo de sus residuos, sin reglamentación.
- Escenario 1 de Evaluación: Considera la implementación de la REP con metas blandas de recuperación de los productos fuera de uso, fáciles de alcanzar.
- Escenario 2 de Evaluación: Contempla la implementación de la REP con metas más duras de recuperación de los productos fuera de uso, a cumplir comparablemente con más esfuerzo.
- Metas: Definidas en porcentajes de recuperación para cada uno de los productos fuera de uso.
- Gradualidad de la REP: Considera una implementación paulatina de la REP que se inicia con el fomento de REP voluntaria (ya en proceso), seguido por una primera meta de recuperación por producto para el año 2015 y después otra más exigente para el año 2020.

Para el desarrollo de la evaluación se utilizaron las siguientes consideraciones y supuestos generales:

- Recuperación significa que los productos fuera de uso (residuos) sean recogidos o recolectados y registrados formalmente, para derivarlos a un adecuado tratamiento de residuos (valorización o eliminación).
- Las “metas de recuperación” apuntan al manejo adecuado de los productos fuera de uso, con especial atención a los residuos que actualmente tienen un “destino desconocido”. Para la definición de los destinos se considera la tendencia del mercado para cada tipo de residuo, basándose principalmente en los sistemas de manejo existentes o proyectados.
- Las metas se definen en porcentajes, donde el 100% representa una recuperación total del respectivo producto comercializado en Chile. No está considerado definir y evaluar metas de valorización de los productos recuperados.
- Las metas a definir deben ser alcanzables en el tiempo.
- Las metas se fijan para los años 2015 y 2020, para lo cual se debe considerar para cada producto:
 - Escenario base: Cantidades actuales comercializadas de cada producto y las respectivas cuotas de recuperación del producto fuera de uso (residuo).
 - Escenario base proyectado: Cantidades de residuos pronosticados para los años 2015 y 2020, basándose en las tendencias del mercado de cada producto consumido, tomando en cuenta el desfase asociado a su vida útil (año de producción/comercialización y año de generación como residuo).
 - Potencial de recuperación proyectado: Capacidades instaladas y proyectadas de los sistemas de recogida, transporte y acopio, reciclaje, procesos de valorización energética y eliminación de residuos. Basado en lo anterior, se define la infraestructura y sistemas de recuperación faltantes para poder alcanzar las metas para los años 2015 y 2020.

- Particularidades de los productos en desuso: Peso, volumen, peligrosidad, valor comercial, destinos, usos informales o irregulares asociados, y otros aspectos que facilitan o dificultan su recuperación formal.

Además, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones y supuestos específicos:

- En la definición de las metas no se considera el stock de los “**residuos históricos**”, generados antes de la implementación de la REP. Aunque este stock va a provocar un incremento de productos retornados en la fase inicial de la REP, la experiencia demuestra que después de una temporada se normaliza dicho efecto.
- Las metas de recuperación deben ser medibles en términos de cantidades y procedencia (marca), para lo cual se considera un monitoreo del flujo de los residuos en la entrada de las plantas de valorización/ reciclaje o de los centros de acopio.
- En principio, no está considerado restringir o normalizar la calidad de los productos importados o fabricados en Chile asociados, aunque se concuerda que sería importante para aumentar la vida útil de los productos, generándose consiguientemente menos residuos.
- El Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos, D.S. 148/03, es complementado respecto a los productos prioritarios que generan residuos peligrosos.
- Exportación de baterías: La exportación de baterías usadas está prohibida (según DS 2/2009).

Respecto al aporte del Estado, se supone lo siguiente:

- No hay un presupuesto asignado para la implementación de la REP, es decir, el sistema debe financiarse por parte del mercado.
- Las tareas operativas de control y monitoreo del cumplimiento de las metas de recuperación y del funcionamiento de la REP las asumirán los organismos existentes.
- Los organismos del estado ejecutan programas básicos de educación relacionados con la implementación de la REP.
- Los organismos del estado ejecutan programas para la incorporación del sector informal (reciclador primario) en la REP.
- Existen aproximadamente 70 “Puntos Limpios” o centros de acopio municipales, para las comunas con más de 100.000 habitantes, donde se recepcionarán residuos electrónicos. En principio, no se requiere la recepción de aceites, baterías y neumáticos en dichos puntos, dado que son captados en talleres, servitecas y proveedores automotrices.

Para la caracterización del producto, se tomó en cuenta lo siguiente:

Para el estudio de las BFU, el estudio se restringe a baterías de arranque para vehículos, del tipo plomo ácido.

La vida útil promedio de una batería de plomo-ácido es de 2 a 4 años, lo que depende de la forma de uso del vehículo, ya que mientras más partidas se realicen, mayor requerimiento tendrá la batería.

En el año 2008 la estructura del mercado registra aproximadamente 300 importadores de baterías, de los cuales 30 concentran una participación del 86% del mercado y sólo 10 dan cuenta del 65% de las importaciones. A lo largo del país existen alrededor de 600 puntos de venta de insumos para vehículos y más de mil talleres de reparación de automóviles, llegando a más de 1,600 potenciales puntos de recepción de baterías usadas.

Durante el año 2008 se registró un parque vehicular de 2.9 millones unidades; considerando un recambio anual de las baterías en un 50%, se llega a una comercialización aproximada de 1,450,000 baterías por año. Esto equivale a una **demanda anual de 1 batería por cada 11 habitantes aproximadamente**. Considerando un peso promedio por batería de 17 kg, se llega a un peso total comercializado y transportado de 24,660 toneladas durante ese mismo año. El valor de las ventas del año 2008 fue estimado en 80 millones de dólares, equivalente a un valor promedio de 55 dólares por batería.

Para la evaluación de los impactos se suponen los siguientes destinos para los residuos recogidos:

- Prohibición de la exportación: Se supone la valorización del cien por ciento dentro del país.
- Valorización: El cien por ciento de las BFU será procesada en las dos plantas de reciclaje existentes y autorizadas en Calama (RAM) y San Antonio (TECNOREC), que cuentan con suficiente capacidad para procesar la totalidad de las BFUs generados en Chile.
- Destinos de materiales recuperados: El plomo recuperado y refinado se comercializa como materia prima en el extranjero o mercado interno; el plástico se lava y recicla en el mercado interno; el electrolito se neutraliza, la escoria y los otros residuos se disponen en rellenos autorizados.



Figura 13-1 Destinos supuestos para los BFU recogidos

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Para la evaluación de los impactos económicos se supone:

- Al momento de recibir las BFU del generador de residuos, se le paga un valor de \$200,000/ton.
- La evaluación se realiza a partir de las condiciones nuevas que impone la aplicación de la REP: A parte del sistema de recogida, acopio y transporte, sólo se considera los impactos asociados a la obtención de plomo refinado, por cuanto la obtención de otros productos, como la recuperación del ácido o de plástico no presenta aún un mercado de referencia con precios y cantidades demandadas que permitan una evaluación objetiva de los flujos económicos asociados. Se supone que estos materiales secundarios se destinan a rellenos industriales y los residuos peligrosos a rellenos de seguridad, con los consiguientes costos de operación asociados. En la medida que se vendan estos materiales los resultados de las evaluaciones económicas que aquí se presentan serán más positivos.
- Costos de transporte: \$20,000/ton en un radio de 150 km en torno a la planta, de \$40,000 entre 150 a 500 km y de \$70,000/ton si es mayor a 500km. A esto se agrega el costo de transporte de las materias primas secundarias de \$10,400/ton.

- Costo de acopio promedio: \$10.000/ton
- Disposición residuos: 1 UF/ton para residuos no peligrosos y 10 UF/ton para ResPel.
- Payback de las inversiones: 6 años, considerando una vida útil de las plantas de 20 años.
- El valor de comercialización de materia prima secundaria: Plomo: US\$1,700/ton
- Tipo de cambio considerado: \$500/US\$

Para determinar el personal asociado a la implementación de la REP, se supone para ambos escenarios:

- Un sistema de transporte local que básicamente ya existe, requiriéndose agregar sólo algunos viajes desde los generadores hacia los centros de acopio. No obstante, debe adecuarse al D.S.148/03 para residuos peligrosos.
- 15 centros de acopio del productor.
- Acopios municipales en 70 comunas del país en combinación con campañas específicas de recolección.
- Un nuevo sistema de transporte interregional, desde los centros de acopio hacia las plantas de reciclaje.
- 2 plantas de reciclaje existentes.
- Un nuevo servicio de transporte de los productos desde las plantas trituradoras.

13.2.2 Resultados obtenidos

A continuación, se presentan los principales resultados del estudio respecto a la caracterización del mercado de baterías, gestión de BFU, y valorización de impactos ambientales de la disposición de BFU.

13.2.2.1 Caracterización y proyección de mercado

Durante el año 2008 se registró un parque vehicular de 2,900,000 unidades; considerando un recambio anual de las baterías en un 50%, se llega a una comercialización aproximada de 1,450,000 baterías por año. Esto equivale a una **demanda anual de 1 batería por cada 11 habitantes aproximadamente**. Considerando un peso promedio por batería de 17 kg, se llega a un peso total comercializado y transportado de 24,660 toneladas durante ese mismo año. El valor de las ventas del año 2008 fue estimado en 80 millones de dólares, equivalente a un valor promedio de 55 dólares por batería.

Para la proyección del mercado, se estima un incremento anual inicial del 4% del mercado de venta de las baterías, relacionado con el crecimiento del parque automotriz proyectado, que se duplica en 23 años (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

Tabla 13-1 Proyección del parque vehicular y venta de baterías

Año	N° de Vehículos			N° de baterías	
	Livianos	Transporte Personas	Transporte Carga	Total	Per Cápita
2008	2,659,679	45,033	196,769	1,450,000	0.09
2015	3,500,000	59,260	258,935	1,909,000	0.11
2020	4,258,000	72,100	315,034	2,323,000	0.13

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011 basado en proyección del INE

13.2.2.2 Manejo actual de residuos

Generalmente, el recambio de las baterías se efectúa en talleres mecánicos especializados, sean estos externos, como en el caso de los vehículos particulares, o propios, como en caso de las empresas de transporte y carga, pero también se generan en desarmaduras.

Desde estos lugares, aproximadamente la mitad de las BFU desaparece en “destinos desconocidos” y más que 40% es exportado a países vecinas, supuestamente para su valorización. El resto, aproximadamente el 10%, es manejado de la siguiente manera (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- Reciclaje: Desmantelamiento y posterior recuperación del plomo en fundiciones y del plástico en plantas de reciclaje.
- Valorización energética: Mezcla del electrolito con sustancias de alto poder calorífico para su uso como combustibles alternativo y coincineración en las plantas cementeras.
- Rellenos de seguridad: Disposición de la fracción peligrosa no valorizada.

Tabla 13-2 Cantidades y destinos de las BFU en Chile (año 2008)

Unidades	BFU generados	Reciclaje	Valorización energética	Relleno de seguridad	Exportación	Destino desconocido
N°	1,450,000	57,994	42,878	47,749	607,374	694,004
Toneladas	26,100	1,044	772	859	10,933	12,492
Porcentaje (en peso)	100%	4%	3%	3.2%	41.9%	47.9%

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011 en base a Ingenieros RYA Consultores, 2009

El recolector o reciclador primario juega un rol relevante en la recolección de las BFU, dado el elevado precio del plomo. Por lo tanto, los usos alternativos de los residuos de baterías podrían explicar parte del casi 48% del producto con “destino desconocido” (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

13.2.2.3 Proyección de la generación de BFU

En función de la evolución del parque vehicular y de acuerdo a la estimación de la vida útil de las baterías se establece la siguiente proyección de las BFU (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

Tabla 13-3 Proyección de la generación de BFU

Año	BFU (unidades)	BFU (ton)
2008	1,450,741	24,663
2015	1,909,076	32,454
2020	2,322,682	39,486

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

13.2.2.4 Aspectos ambientales

De acuerdo al análisis del ciclo de vida efectuado para las baterías, la etapa más crítica corresponde al uso del producto, dado que involucra los mayores consumos de energía, insumos y generación de CO₂. Considerando sólo el último segmento del ciclo, a partir de la generación de las BFU (residuos), la etapa más crítica corresponde a su disposición en “destino desconocido”, dado el muy alto porcentaje que sigue esa vía (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

Las baterías fuera de uso se clasifican como un residuo peligroso, según el reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos (D.S.148/03, artículos 18 y 90), ya que poseen electrolito (ácido sulfúrico) y plomo, por lo que existen riesgos y daños por su tratamiento inadecuado, entre los que se cuentan (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- El electrolito es corrosivo y el plomo es altamente tóxico para la salud humana y el ambiente. Ambos son clasificados como desechos peligrosos bajo el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos de Desechos Peligrosos y su Eliminación.

- Se generan impactos ambientales por contaminación de suelo y aguas por el ácido derramado al vaciar los acumuladores y por la dispersión del polvo de plomo por el viento al guardar los acumuladores triturados sin protección.
- Se producen emisiones atmosféricas (por ejemplo, polvo con contenido de plomo, hollín, SO₂, cloruros, dioxinas, etc.) al fundir los desechos de acumuladores, debido a procesamiento de todo el acumulador, incluyendo sus partes orgánicas (caja, separadores de PVC, en los tipos antiguos) o por eliminación inadecuada de gases y vapores durante el proceso de fusión y refinación.

Basado en la composición de las baterías, el potencial de recuperación de materias secundarias se presenta en la Tabla 3-23.

Tabla 13-4 Recuperación actual de BFU y potencial de recuperación de materias secundarias (año 2008)

Material	Contenido (ton/ton)	Cantidad total (ton)	Recuperación actual (ton)	Potencial de recuperación (ton)
Plomo	0.65	16,965	8,845	8,120
Electrolito	0.25	6,525	3,402	3,123
Separadores de plástico	0.05	1,305	680	625
Cajas de plástico	0.05	1,305	680	625
Total	1	26,100	13,608	12,492

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Observando los datos anteriores, se podrían recuperar sobre 8,000 toneladas de plomo y sobre 1.200 toneladas de plástico, las que actualmente no se están aprovechando de forma adecuada. Considerando que está proyectado prohibir la exportación de los BFU, a estas cifras se debe agregar otro 40% más (proveniente del flujo de recuperación actual), debido al material que comenzaría a ser valorizado en Chile (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

13.2.2.5 Conclusiones del diagnóstico

Las principales conclusiones del diagnóstico realizado a la situación actual en el país, respecto a la generación y disposición de BFU son las siguientes (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- Anualmente se generan aproximadamente 1.5 millones de BFU, equivalente a casi 25,000 toneladas o aproximadamente 0.09 BFU/habitante-año.
- En Chile, aproximadamente el 7% de los BFU se valoriza (3% energéticamente y 4% reciclaje) y el 3% se dispone en rellenos de seguridad. Alrededor del 42% se exporta y el 48% de los BFU tiene un “destino desconocido”.
- Los principales impactos ambientales se generan durante la etapa de uso de las baterías, seguido por la etapa de eliminación de las BFU, y se relacionan con las emisiones de CO₂ (cambio climático) y el uso de energía.

- El sector informal juega un rol importante en la recuperación o posterior valorización de las BFU, dado el elevado precio del plomo a nivel nacional e internacional. No obstante, como se trata de un residuo peligroso, existen riesgos para la salud de las personas durante su manipulación.
- Existe una percepción y actitud positiva de parte de los productores, importadores y consumidores acerca de la implementación de la REP.
- Existen iniciativas de recuperación de los BFU por parte de los principales productores y de gestores de residuos, que potenciarían la implementación de la REP.

13.2.2.6 Evaluación de los impactos

Tomando en cuenta las consideraciones y supuestos planteados, se determinaron los siguientes escenarios y metas de recuperación para la evaluación de los impactos (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

Tabla 13-5 Balance de masa de las BFU, según escenario y metas de recuperación

BFU	Valor base	Escenario 1		Escenario 2	
	2008	2015	2020	2015	2020
Datos base					
Total BFU (ton)	26,100	32,454	39,486	32,454	39,486
Recuperación proyectada					
Meta de recuperación (%)	-	60	75	70	90
BFU recogidos (N°)	800,000	1,145,500	1,742,050	1,336,360	2,090,500
BFU recogido (ton)	13,608	19,480	29,620	22,720	35,540
Destino desconocido (ton)	12,492	12,974	9,866	9,734	3,946
Destinos supuestos de BFU recogido					
Plantas de reciclaje existentes (ton)	1,816	19,480	29,620	22,720	35,540
Recuperación de principales materias primas secundarias					
Plomo recuperado (ton)	690	10,130	15,402	11,814	18,481
Plástico recuperado (ton)	0	1,753	2,666	2,045	3,199
Residuos a relleno seguridad (ton)	1,126	3,896	5,924	4,544	7,108
Residuos a relleno industrial (ton)	0	3,701	5,628	4,317	6,753

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Aplicando los datos del balance de masa en el análisis del ciclo de vida de las BFU, se obtienen los siguientes resultados para energía (GJ), emisión de dióxido de carbono (ton CO₂) y la generación de productos y residuos (ton) por tonelada de las BFU recuperados (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

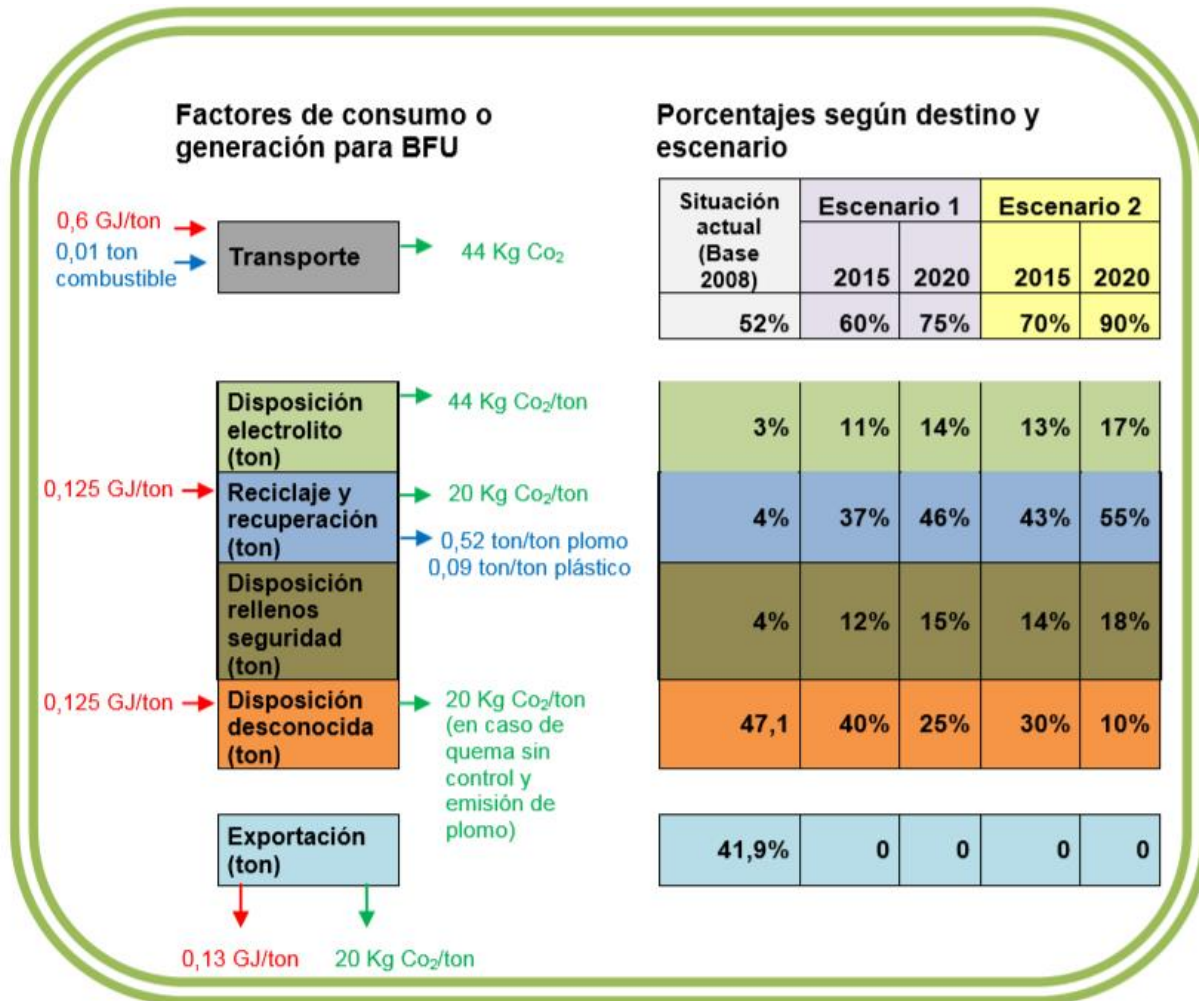


Figura 13-2 Análisis de ciclo de vida de las BFU

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Respecto a la emisión de dióxido de carbono relacionado con la disposición final de las BFU en destinos desconocidos, se aplica el supuesto que estas son quemadas sin control (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

De acuerdo al análisis anterior, se proyecta un cambio importante en el sistema de eliminación actual de las BFU, rebajándose el “destino desconocido” (47%) más la actualmente exportada (42%), es decir un 89%, a no más de un 25% en el escenario 1 y a no más de un 10% en el escenario 2. Además, se reintegra una cantidad importante de plomo y plástico al mercado de materias primas, como se puede observar en la siguiente Tabla 3-25.

Tabla 13-6 Recuperación de materia prima secundaria por valorización de BFU

BFU	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Reciclaje (ton)	1,326	19,480	29,620	22,720	35,540
Plomo recuperado(ton)	690	10,130	15,402	11,814	18,481
Plástico recuperado (ton)	0	1,753	2,666	2,045	3,199

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Respecto a la variación en el uso de energía, el proceso de recuperación y reciclaje de plomo permite ahorrar 9.87 GJ por cada tonelada que es retornada al ciclo de uso. Al año 2020, para el escenario 1 implicaría un ahorro de casi 150,000 GJ y 180,000 GJ en el escenario 2 (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

Tabla 13-7 Ahorro de energía por valorización de BFU

BFU	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Ahorro indirecto de energía por recuperación de plomo (GJ)	5,063	99,979	152,022	116,608	182,405

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Respecto a la variación en la generación de dióxido de carbono, El reciclaje de plomo permite la reducción de 1,610 kg de CO₂ por tonelada. Para el escenario 1 esto implica reducir 24,800 toneladas de CO₂ al año 2020 y para el escenario 29,700 toneladas de CO₂ (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

Tabla 13-8 Reducción de emisiones de CO₂ por valorización de BFU

Baterías	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Reducción de emisiones indirectas de CO ₂ por recuperación de plomo (ton)	1,111	16,309	24,798	19,021	29,754

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Respecto a otros impactos ambientales, la implementación de la REP disminuye además los siguientes impactos ambientales (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

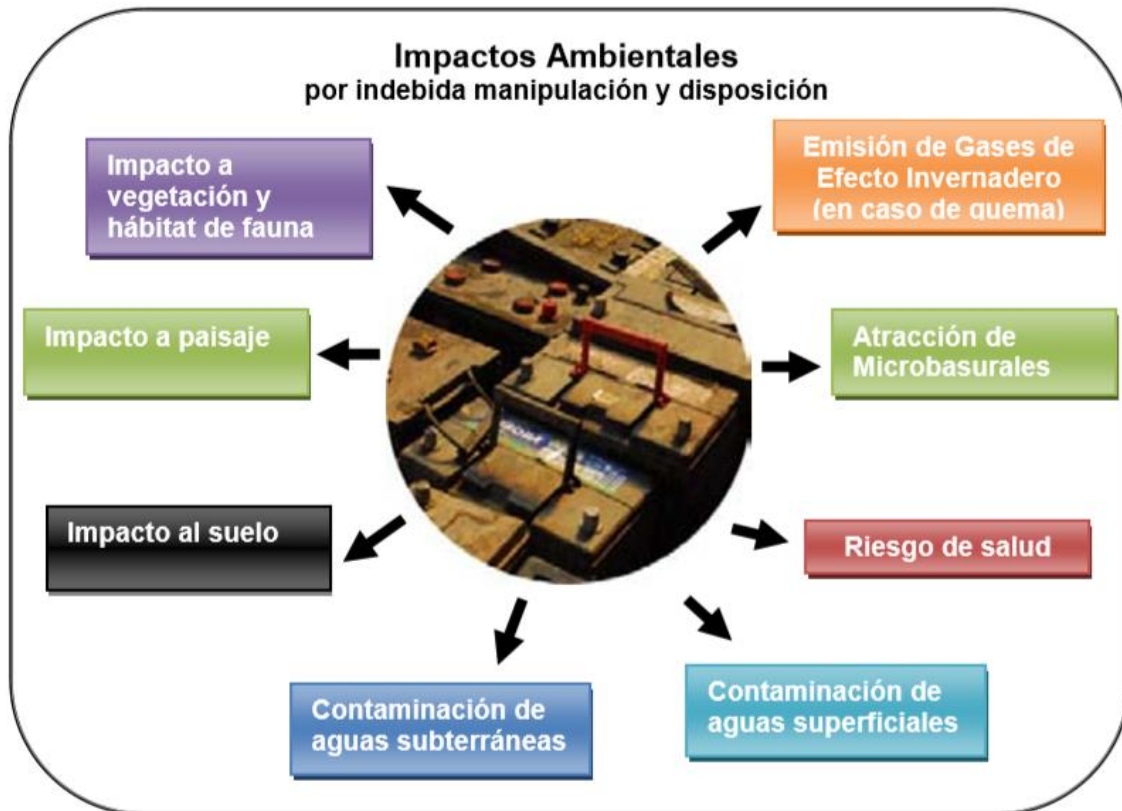


Figura 13-3 Reducción de impactos ambientales por implementación de la REP

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

En la Figura 13-4 se identifica los principales impactos sociales relacionados con la implementación de la REP para BFU.

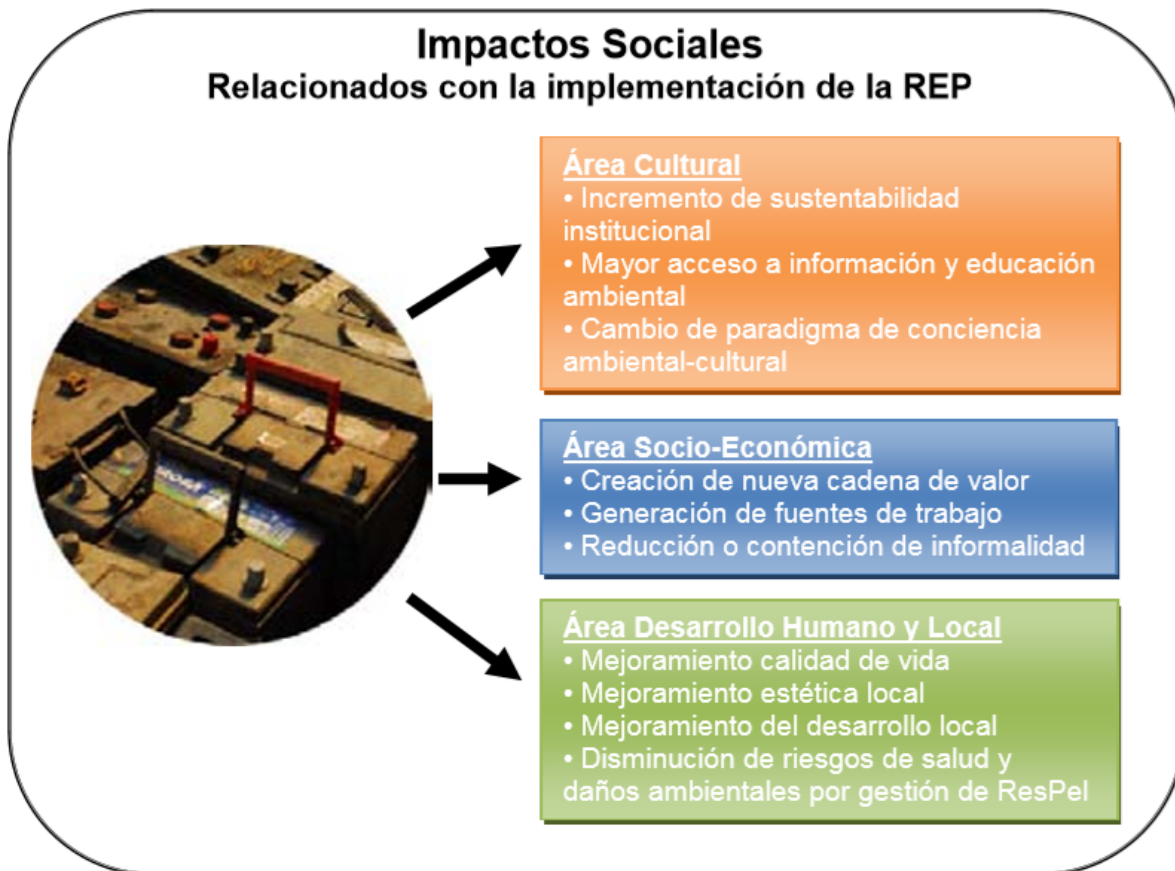


Figura 13-4 Resumen de los impactos sociales

Fuente: Ecoing, 2011

En el **Área cultural**, los principales impactos asociados a la implementación de la REP son (Ecoing, 2011):

- Cambio de **mentalidad y hábitos en los consumidores**: Elección de productos ecoetiquetados; disciplinamiento y compromiso con la REP (entrega y recambio de baterías en talleres especializados, en puntos de acopio o al recolector especializado, siempre y cuando cuenten con autorización para residuos peligrosos).
- Instalar el tema en la **agenda pública** y en los **medios de comunicación masivos**.
- Cambio de **mentalidad de grupos empresariales**: Compromiso con la sustentabilidad, haciéndose responsable de un adecuado manejo de los residuos asociados a sus productos; fomento de la comercialización de productos de mejor calidad y duración basado en un ecodiseño; creación de una estrategia sustentable común; incorporación de su rol como educador y responsabilidad social-empresarial.

En el **Área socioeconómica** y con la implementación de la REP se generan los siguientes impactos (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- **Beneficios socioeconómicos directos:** Con la implementación de la REP en combinación con la prohibición de la exportación de las baterías usadas, se espera un fuerte fortalecimiento de las dos empresas de reciclaje de baterías existentes. Dado que se trata de un residuo peligroso, se requiere una adecuación de los lugares de entregarecambio en los talleres mecánicos, servitecas y lugares de venta; la creación de nuevos centros de acopio centralizados asociados al productor, una formalización del sistema de transporte local; la implementación de un sistema de transporte interregional, además de la creación de otras medidas complementarias. Todo lo anterior crea una nueva cadena de valor, que crea nuevos empleos y formaliza fuentes de trabajo ya existentes (mediante capacitaciones acorde al D.S.148/03). Además, se crea un nuevo rubro de transporte desde las plantas recicladoras hasta los destinatarios finales que aprovechan los materiales recuperados (plomo y plástico). Para el **sector informal** (reciclador primario) existe la posibilidad de que se incorpore a las actividades de retiro y transporte, siempre y cuando cuenten con medios de transporte adecuados y una capacitación formal certificada. También está considerada la participación de los **Municipios** a través de los centros de acopio previstos para las ciudades con más de 100.000 habitantes, no obstante se estima que la gran mayoría de las BFU será recolectada directamente por el sector privado.
- **Beneficios socioeconómicos indirectos:** Disminución de los riesgos a la salud de las personas, minimización de los impactos ambientales y liberación de recursos económicos, debido a la implementación de un adecuado servicio de manejo de residuos (acorde al D.S.148; por ejemplo se evitaría el derrame del ácido electrolito y el contacto directo de las personas) y por la comercialización de productos de mejor calidad y mayor vida útil (se supone que la REP implica ecodiseño).
- **Costos socioeconómicos:** Costos por traslado del consumidor y por requerimiento de superficies e instalaciones para el almacenamiento de las BFU en talleres automotrices, servitecas, acopios de privados o municipales. Costos de capacitación/calificación de personal.

El **Área desarrollo humano y local** plantea como principal impacto y beneficio general a nivel país una elevación de la calidad de vida, de forma directa e indirecta (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- Reducción de **impactos ambientales y a la salud** de las personas, descritos previamente.
- Mejora en la **calidad de vida y desarrollo local**, dada la creación de una nueva cadena de valor de los BFU: generación de empleo, subida de ingresos, satisfacción de necesidades básicas, mejora de condiciones de trabajo, mejora de índices de desarrollo humano y bienestar general.
- Respecto al cumplimiento de las **condiciones de trabajo de acuerdo a los estándares internacionales**, -criterios de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)-, cabe destacar que éstas, por lo general, se cumplen en Chile. Es decir, en el país no existirían problemas relacionados con el trabajo infantil o discriminación de minorías, como lo señalan expresamente los dirigentes de recicladores primarios.

Respecto a los empleos brutos asociados a la REP, considerando los supuestos señalados en la sección de metodología, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 13-9.

Tabla 13-9 Empleos brutos adicionales asociados a la REP

Ítem	Escenario 1		Escenario 2	
	2015	2020	2015	2020
Transporte local	2	3	2	4
Transporte interurbano	7	11	8	14
Acopios del Productor	60	60	60	60
Personal municipal	70	70	70	90
Planta de separación y refinación	30	30	30	30
Transporte productos	3	4	6	10
Total empleo	172	178	176	208

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Basado en lo anterior, se han determinado los siguientes **costos para las plantas recicladoras** (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- Considerando que la capacidad de las dos plantas existentes es suficiente para reciclar la totalidad de las BFU generados, se ha estimada la misma inversión para ambos escenarios, independiente de sus metas de recuperación: \$8,500 millones, con una vida útil de las instalaciones de 20 años.
- La diferencia entre ambos escenarios resulta en la capacidad ociosa que operan ambos sistemas: En el escenario 1 sería de un 51% al 2015 y de un 26% al 2020, mientras en el escenario 2 sería de un 43% y un 11%, respectivamente.
- El costo fijo de depreciación de equipos e instalaciones asciende a \$10.100 por tonelada instalada de capacidad de procesamiento, en ambos escenarios.
- Los costos de operación unitarios considerados del proceso de reducción de los componentes ascienden a \$170.000 por tonelada, e incluyen los insumos, la mantención, la mano de obra y la depreciación de las instalaciones.
- A lo anterior se agregan los pagos por BFU recibida (calculado con \$200.000/ton) y los costos de recogida, transporte y acopio, que ascienden en conjunto a \$240.400 por tonelada, lo que en este caso incluye además el costo asociado al transporte de los productos refinados.

13.2.2.7 Resultados de la evaluación económica

Basado en la información revisada anteriormente, los resultados de la evaluación económica se presentan a continuación (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

Considerando los actuales valores de comercialización del plomo (calculado con US\$ 1,700/ton), el margen de operación resultante asciende a \$32,400 por tonelada, en ambos escenarios.

En el escenario 1 se obtiene una rentabilidad económica de 7.4% anual al 2015, con una capacidad ociosa de 51%. De acuerdo a la reducción de la capacidad ociosa al 2020 a un 26%, la rentabilidad se eleva al 11,2%.

En el escenario 2 se logra una rentabilidad económica de 8.7% anual al 2015, con una capacidad ociosa de 43%. De acuerdo a la reducción de la capacidad ociosa al 2020 a un 11%, la rentabilidad se eleva al 13.6%.

Como se puede observar, las rentabilidades del escenario 1 se incrementan en la medida que se adopte metas más elevadas de recuperación. No obstante, en la medida que la meta de recuperación es más exigente, se verán afectados los costos medios de transporte debido a la necesidad de acceder a BFU que se encuentren más alejadas de las plantas recicladoras. Se estima que, si es necesario recurrir a distancias largas, el impacto de ese costo marginal se reflejaría en una disminución de 12% del margen unitario de operación estimado.

A modo de síntesis, la implantación de la REP desde la perspectiva económica tendrá beneficios en términos de la introducción de nuevas líneas productivas que generan valor, lo que se presenta en la Tabla 13-10.

Tabla 13-10 Síntesis comparativa – impactos económicos

Ítem	Escenario 1		Escenario 2	
	2015	2020	2015	2020
Inversión, millones de \$	8,500	8,500	8,500	8,500
Rentabilidad, % anual	8.0%	11.0%	8.7%	13.6%
Empleo asociado, N°	172	178	176	208
Aporte al PIB, millones de \$		1,360		1,555
Impacto aumento del precio del producto, \$	0	0	0	0

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

13.2.2.8 Resumen de los impactos

En términos generales se puede concluir que la implementación de la REP bajo los escenarios evaluados es factible de realizar y que los impactos resultantes se evalúan como positivos. El resumen se presenta en la Tabla 3-28 (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011).

Tabla 13-11 Resumen de impactos por escenario al año 2020

Impactos	Unidad/Año	Escenario 1 Año 2020	Escenario 2 Año 2020
Datos base			
Meta de recuperación	%	75	90
Meta de recuperación	ton	29,620	35,540
Capacidad neta requerida de plantas	ton	Plantas existentes	Plantas existentes
Impactos ambientales			
Recuperación de materia prima: Plomo	ton	15,402	18,461
Recuperación de materia prima: Plástico	ton	2,666	3,199
Ahorro indirecto de energía (producción desde material reciclado)	GJ	152,022	182,405
Reducción indirecta de Gases de Efecto Invernadero (producción desde material reciclado)	ton CO ₂ eq	24,798	29,754
Impactos positivos (no cuantificables)		Reducción de microbasurales, impactos a suelo, agua, vegetación, fauna y paisaje, riesgos a la salud	
Impactos negativos (no cuantificables)		No se detecta	
Impactos sociales			
Empleos brutos generados	N°	178	208
Impactos positivos (no cuantificables)	Fortalecimiento del mercado, aumento renta empresarial, creación de empleo, mejoras laborales, aporte al PIB, adecuado manejo de residuos garantizado, reducción riesgo a salud, imagen país		
Impactos negativos / Costos socioeconómicos (no cuantificables)	Compromiso de entrega del consumidor (cambio de hábito), acopio autorizado para residuos peligrosos, costos operacionales de municipios, esfuerzo de educación ambiental, capacitación de personal, dependencia del mercado de materiales recuperados, riesgos financieros.		
Impactos económicos			
Inversión requerida en plantas de reciclaje	MM\$	Capacidad existente	Capacidad existente
Aporte al PIB (MM\$)	MM\$	1,360	1,555
Aumento en precio del producto nuevo	\$	0	0

Fuente: Ecoing, MMA, & GIZ, 2011

Traduciendo las cifras de la evaluación de impactos en elementos más concretos, se puede decir que la aplicación de la REP respecto a las BFU en condiciones del Escenario 1 al año 2020, implicaría anualmente (Ecoing, MMA, & GIZ, 2011):

- Reducir en más de 3,300 m³ las baterías acumuladas y manejadas inadecuadamente, lo que equivale a la cancha de fútbol del Estadio Nacional llena con baterías a una altura de

casi un metro. Lo anterior disminuye considerablemente los impactos por riesgo de contaminación de aguas y suelos, riesgo a la salud y atracción de microbasurales.

- Dejar de producir más de 15,000 toneladas de plomo con todos los costos asociados que tiene la extracción minera, su refinación, producción y transporte.
- Iniciar la recuperación del plástico de las baterías desde 0 a más de 2,500 toneladas anuales.
- Reducir el consumo de energía convencional en 150,000 GJ hasta el año 2020, equivalente al consumo de cerca de 3,84 millones de litros de combustible o a lo que consumen más de 1,500 automóviles en un año.
- Reducir la emisión de CO₂ en 24,800 toneladas hasta el año 2020, equivalente a lo que consumen casi 83,000 árboles adultos.
- Generar 178 nuevas fuentes permanentes de trabajo, de las cuales al menos el 70% es trabajo calificado.
- Aportar desde \$1,360 millones de pesos por año al PIB de Chile.

13.3 Estudio RYA, 2009

13.3.1 Contexto del estudio

El estudio se enmarca en el proyecto “Gestión Integral de Residuos Sólidos en Chile”, en el cual se desarrolló el estudio “Diagnóstico de Importación y Distribución de Baterías y Manejo de Baterías de Plomo Ácido Usadas”, elaborado por RYA Ingenieros Consultores y encargado por GTZ.

13.3.2 Objetivos del estudio

El objetivo general del estudio, conforme a los términos de referencia del mismo, es disponer de un conocimiento profundo y de indicadores, formulados sobre dicho conocimiento, para distintos ámbitos vinculados al manejo de baterías de plomo ácido y baterías de plomo usadas.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

5. Recopilación de información general del rubro.
6. Contar con una caracterización económica.
7. Contar con un diagnóstico de la situación actual en Chile y una comparación con experiencias a nivel internacional.
8. Definición de indicadores para medir eficientemente los cambios en el rubro.

13.3.3 Metodología utilizada

Para recopilar información del mercado de baterías en Chile, se utilizaron las bases de datos del Servicio Nacional de Aduanas.

Actualmente, la demanda total de baterías de plomo ácido en Chile es satisfecha por baterías fabricadas en el extranjero, principalmente en China, Corea del Sur y Colombia, e importadas, principalmente por representantes de marcas e importadores mayoristas, como repuestos o como parte de equipos o vehículos automóviles.

Para efectos de su importación al país, las baterías o acumuladores de plomo están comprendidos en la partida 85.07 de la Sección XVI del Arancel Aduanero nacional vigente a contar del 1 de enero de 20074, específicamente en las siguientes subpartidas:

- 8507.1010: Los acumuladores eléctricos de plomo que funcionen con electrolito líquido, de los tipos utilizados para arranque de motores de émbolo (pistón)
- 8507.1090: Los demás acumuladores eléctricos de plomo, de los tipos utilizados para arranque de motores de émbolo (pistón)
- 8507.2000: Los demás acumuladores de plomo

Para efectos de su importación al país, los vehículos terrestres con motor están comprendidos en el Capítulo 87 de la Sección XVII del Arancel Aduanero nacional, específicamente en las siguientes partidas:

- 87.01: Tractores.
- 87.02: Vehículos automóviles para transporte de diez o más personas.
- 87.03: Automóviles de turismo y demás vehículos automóviles concebidos principalmente para el transporte de personas (excepto los de la partida 87.02), incluidos los del tipo familiar y los de carreras.
- 87.04: Vehículos automóviles para transporte de mercancías.
- 87.05: Vehículos automóviles para usos especiales, excepto los concebidos principalmente para transporte de personas o mercancías (por ejemplo: coches para reparaciones [auxilio mecánico], camiones grúa, camiones de bomberos, camiones hormigonera, coches barredera, coches esparcidores, coches taller, coches radiológicos).
- 87.09: Carretillas automóvil sin dispositivo de elevación del tipo de las utilizadas en fábricas, almacenes, puertos o aeropuertos, para transporte de mercancías a corta distancia; carretillas tractor del tipo de los utilizados en estaciones ferroviarias; sus partes.
- 87.11: Motocicletas (incluidos los ciclomotores) y velocípedos equipados con motor auxiliar, con sidecar o sin él; sidecares.

Para efectos de las exportaciones, los códigos del Sistema Armonizado de designación y codificación de mercancías que se determinó eran relevantes para este estudio son:

- 7801.1000: Plomo refinado
- 7801.9100: Plomo en bruto, con antimonio como el otro elemento predominante en peso
- 7801.9900: Plomo en bruto, los demás

- 7802.0000: Desperdicios y desechos, de plomo
- 7806.0000: Las demás manufacturas de plomo

13.3.4 Resultados obtenidos

13.3.4.1 Importaciones y exportaciones

Los resultados obtenidos para la caracterización del mercado se muestran a continuación.

El número total de acumuladores eléctricos de plomo importados durante los años 2002-2008 se muestra en la Tabla 13-12.

Tabla 13-12 Cantidad de acumuladores eléctricos de plomo importados, clasificados en las subpartidas 8507.1010, 8507.1090 y 8507.2000 del Arancel Aduanero nacional. Años 2002-2008

Subpartida arancelaria	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
Acumuladores de plomo, de arranque, que funcionan con electrolito líquido (8507.1010)	1,140,626	1,161,821	1,134,961	1,039,258	903,429	782,305	684,351
Los demás acumuladores de plomo, de arranque (8507.1090)	9,284	12,406	32,170	27,495	16,107	14,289	19,079
Los demás acumuladores de plomo (8507.2000)	396,393	267,940	326,338	238,035	192,104	172,684	204,711
Total	1,546,303	1,442,167	1,493,469	1,304,788	1,111,640	969,278	908,141

Fuente: RYA, 2009

El número de importadores de acumuladores eléctricos de plomo que ha participado en el mercado se muestran en la Tabla 13-13. Se puede observar el número de importadores que participa del 100%, 95% y 80% de las importaciones.

Tabla 13-13 Número de importadores de acumuladores eléctricos de plomo clasificados en las subpartidas 8507.1010, 8507.1090 y 8507.2000 del Arancel Aduanero nacional, año 2008

Subpartida arancelaria	Número de baterías	Número de importadores		
		100%	95%	80%
Acumuladores de plomo, de arranque, que funcionan con electrolito líquido (8507.1010)	1,140,626	132	25	9
Los demás acumuladores de plomo, de arranque (8507.1090)	9,284	42	14	5
Los demás acumuladores de plomo (8507.2000)	396,393	162	31	17

Fuente: RYA, 2009 en base a Servicio Nacional de Aduanas.

El número total de vehículos automóviles importados entre los años 2002 y 2008 se puede observar en la Tabla 13-14.

Tabla 13-14 Número de vehículos automóviles importados, años 2002-2008

Partida arancelaria	Número de vehículos automóviles, tractores y demás vehículos terrestres importados						
	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
Tractores (87.01)	8,064	6,299	5,618	6,083	4,398	2,870	2,263
Vehículos para transporte de diez o más personas (87.02)	5,296	5,512	5,302	6,856	5,027	4,016	3,244
Demás vehículos para el transporte de personas (87.03)	202,735	175,131	146,244	146,244	118,080	95,859	70,984
Vehículos automóviles para transporte de mercancías (87.04)	77,809	79,820	60,625	63,062	45,539	40,253	40,086
Vehículos automóviles para usos especiales (87.05)	623	377	475	445	467	319	172
Carretillas automóvil sin dispositivo de elevación (87.09)	74	85	94	55	187	21	48
Motocicletas (87.11)	65,983	106,087	47,406	23,137	16,312	9,799	5,799
Total	360,585	373,311	265,764	240,062	191,019	151,137	122,596

Fuente: RYA, 2009

El número total de acumuladores eléctricos de plomo exportados durante los años 2002-2008 se muestra en la Tabla 13-15.

Tabla 13-15 Cantidad de acumuladores eléctricos de plomo exportados, clasificados en las subpartidas 8507.1010, 8507.1090, 8507.2000 del Arancel Aduanero nacional, años 2002-2008

Subpartida arancelaria	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
Acumuladores de plomo, de arranque, que funcionan con electrolito líquido (8507.1010)	192	128	2,051	203	2,498	34,904	5,930
Los demás acumuladores de plomo, de arranque (8507.1090)	57	307	207	2,587	11,412	955	1,744
Los demás acumuladores de plomo (8507.2000)	1,570	685	145	74	126	374	479
Total	1,819	1,120	2,403	2,864	14,036	36,233	8,153
Porcentaje del total importado	0.12%	0.08%	0.16%	0.22%	1.26%	3.74%	0.90%

Fuente: RYA, 2009

El número total de vehículos terrestres con motor exportados durante el año 2008 se muestra en la Tabla 13-16.

Tabla 13-16 Número de vehículos automóviles, tractores y demás vehículos terrestres exportados, año 2008

Partida arancelaria	Número de vehículos
Tractores (87.01)	175
Vehículos para transporte de diez o más personas (87.02)	284
Demás vehículos para el transporte de personas (87.03)	4,575
Vehículos automóviles para transporte de mercancías (87.04)	2,147
Vehículos automóviles para usos especiales (87.05)	60
Carretillas automóvil sin dispositivo de elevación (87.09)	0
Motocicletas (87.11)	272
Total	7,513
Porcentaje del total importado	2.1%

Fuente: RYA, 2009

En la Figura 13-5 se presenta un diagrama que ilustra el flujo de materiales (con estimaciones para el año 2008) asociado al manejo de baterías usadas en Chile. Si se asume que las baterías tienen una vida útil promedio de 2 años, entonces considerando las importaciones netas (esto es, importaciones - exportaciones) de baterías del año 2006 y de vehículos para el año 2008, se puede estimar una entrada de 33,194,484 kg (asumiendo un peso promedio de 18 kg por batería). Por otro lado, considerando los datos de exportación para el año 2008, y asumiendo una composición en peso promedio de 70% de plomo y 20% de electrolito, se puede estimar que se gestionó el equivalente a 21,725,703 kg de baterías (con electrolito). Esto significa que aproximadamente 11,500,000 kg de baterías usadas (con electrolito) no tienen un destino conocido. Por otro lado, si se considera que Bravo Energy puede procesar 153,600 kg de electrolito, entonces en principio se desconoce el destino de más de 4,000,000 kg de electrolito.

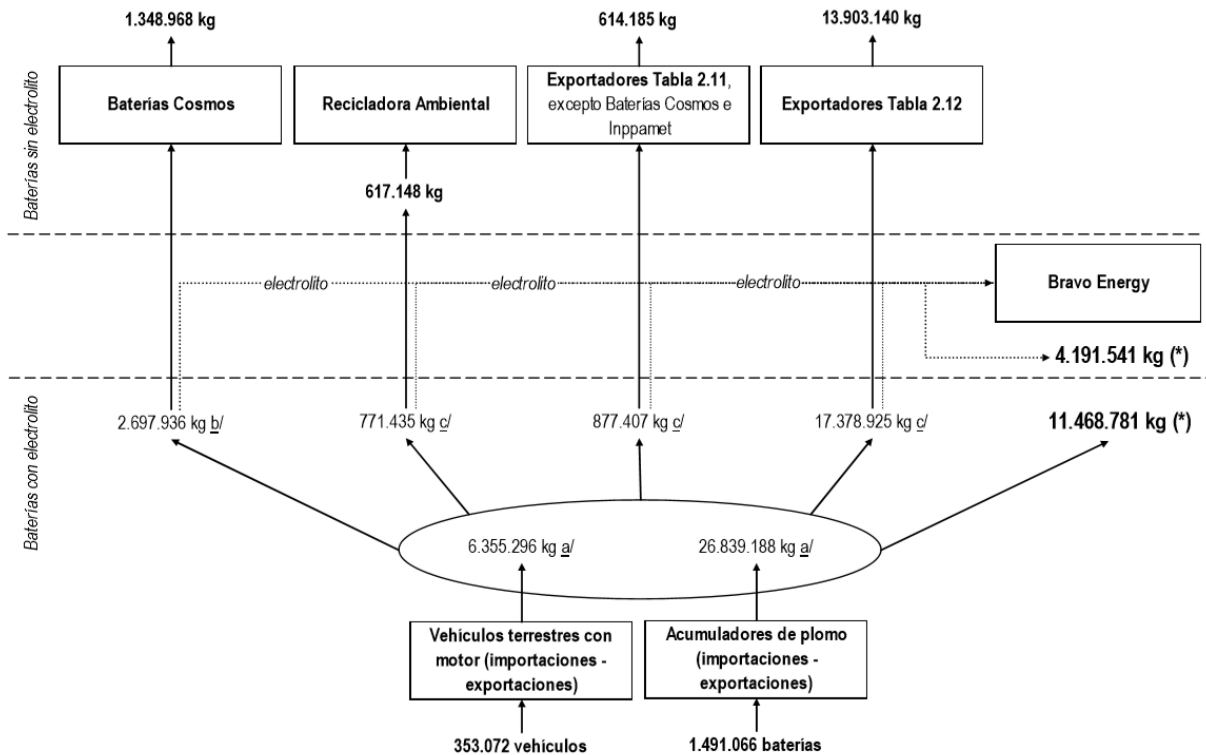


Figura 13-5 Diagrama de flujo de materiales, año 2008

Fuente: RYA, 2009

13.3.4.2 Clasificación de baterías

Las baterías comercializadas en Chile se clasifican según su aplicación o según su construcción. Según su uso, las baterías de plomo ácido se clasifican en (CONAMA-GTZ, 2009):

- Baterías de arranque o SLI (por sus siglas en inglés, Starting, Lighting, and Ignition): diseñadas especialmente para arrancar los motores de combustión suministrando gran intensidad de corriente en pocos segundos; son utilizadas en automóviles, camiones, motos, tractores, embarcaciones y aeronaves, entre otros. Las baterías de arranque están diseñadas para resistir profundidades de descarga no mayores del 10-20%. Por lo general, al arrancar el motor de un auto la batería se descarga entre 1-3%; si se utiliza una batería de arranque en aplicaciones de ciclo profundo (60-80% de profundidad de descarga), la vida útil de la batería se verá reducida de manera significativa. Estas baterías tienen un número elevado de placas de bajo grosor (1,02 mm).
- Baterías de tracción: especialmente construidas para suministrar energía a vehículos eléctricos tales como grúas horquillas, transpaletas y apiladores eléctricos, carros de golf y sillas de rueda. Las baterías de tracción están diseñadas para suministrar cantidades

relativamente bajas de corriente por largos períodos de tiempo, soportando un elevado número de ciclos profundos de carga y descarga. Para mejorar la resistencia al ciclado profundo se utilizan rejillas de plomo antimonio. Estas baterías tienen un número menor de placas que las de arranque, pero más gruesas (1,8-2,8 mm en carros de golf y 6 mm o más en grúas horquillas).

- Baterías estacionarias o de reserva: diseñadas para aplicaciones en sistemas de alarma de incendios, alumbrado de emergencia, sistemas de alimentación ininterrumpida o UPS (por sus siglas en inglés, Uninterruptible Power Supply) y telecomunicaciones, entre otros. Las baterías estacionarias están constantemente siendo cargadas (carga de flotación) para compensar la pérdida de capacidad debido a la autodescarga, y están construidas para resistir descargas profundas esporádicas.

Las baterías también se clasifican según la tecnología de fabricación empleada, distinguiéndose los siguientes tipos (CONAMA-GTZ, 2009):

- Batería abierta o ventilada: Las baterías abiertas son las más convencionales y se caracterizan por tener orificios de acceso a su interior con tapones removibles, que permiten la verificación del nivel y gravedad específica del electrolito, la eventual reposición del agua perdida, y que los gases producidos en su interior por la electrólisis y la evaporación del electrolito pueden escapar a la atmósfera. Invariablemente, el electrolito en estas baterías se encuentra en estado líquido. Las baterías abiertas, dependiendo del fabricante, pueden suministrarse en las siguientes condiciones: cargadas y llenas con electrolito o cargadas y secas (sin electrolito). Si se aplica el concepto de “libre mantenimiento” a baterías cuya gasificación sea nula o despreciable en condiciones normales de uso, entonces las baterías abiertas de plomo selenio pueden clasificarse como “bajo mantenimiento” y las de plomo calcio como “libre mantenimiento”. La mayoría de las baterías abiertas de ciclo profundo emplean placas de plomo antimonio.
- Batería sellada o regulada por válvula (VRLA, por sus siglas en inglés, Valve Regulated Lead Acid): Batería en la que el escape de los gases producidos por la electrólisis del electrolito es controlado automáticamente por una válvula sensitiva a la presión. Las baterías selladas emplean placas de plomo calcio y son de “libre mantenimiento” (SMF, por sus siglas en inglés, Sealed Maintenance Free) o “sin mantenimiento” (concepto empleado para las baterías que por tener un insignificante consumo de agua durante la carga y por tener una baja autodescarga durante el almacenamiento, bajo condiciones de uso normales, no necesitan adiciones de agua durante toda su vida útil y durante un almacenamiento de al menos 15 meses antes de la venta, no necesitan recargas). Según el estado en que se encuentre el electrolito, las baterías selladas se clasifican en: baterías de gel (electrolito inmovilizado mediante la adición de sílice) y baterías de electrolito absorbido o AGM (por sus siglas en inglés, Absorbed Glass Mat). Las baterías de recombinación (gel o AGM) son aquellas donde, mediante un proceso electroquímico, el

oxígeno y el hidrógeno producidos por la electrolisis vuelven a combinarse formando agua para reincorporarse de nuevo a su celda; la recombinación tiene típicamente una eficiencia del 99%, luego casi no hay pérdida de agua.

Las baterías selladas ofrecen algunas ventajas técnicas sobre las abiertas, tales como la ausencia de fugas de electrolito, mínima emisión de gases, nula posibilidad de contaminación del electrolito y bajos requerimientos de mantenimiento. Sin embargo, también presentan limitaciones tales como un menor número de ciclos, la imposibilidad de reponer el agua perdida por exceso de sobrecarga, la imposibilidad de verificar en forma confiable su estado de carga, y en algunos casos su mayor sensibilidad a la temperatura de operación.

13.3.4.3 Vida Útil de baterías

La vida útil de la batería en servicio es el período de tiempo en años o la cantidad de ciclos de carga y descarga que puede soportar hasta que su capacidad sea insuficiente para cubrir las necesidades para las que fue diseñada. Se considera que una batería llegó al fin de su vida útil cuando no puede entregar el 80% de su capacidad nominal.

La vida de una batería varía considerablemente en función de varios factores:

- Composición de las placas
- Modo de empleo y profundidad de las descargas
- Mantenimiento: calidad de las cargas y sobrecargas; frecuencia de las cargas; temperatura de trabajo y almacenamiento.

La vida útil de una batería se puede reducir drásticamente si se sobrecarga con frecuencia, o bien, si permanece largos periodos a temperaturas elevadas sin recargarse (RYA y GTZ, 2009).

La capacidad de la batería se reduce a bajas temperaturas, y aumenta con la misma; sin embargo, el nivel de autodescarga aumenta con la temperatura y disminuye con la misma. Aunque la capacidad de la batería aumente con la temperatura, su vida útil se acorta y viceversa.

En condiciones ideales, una batería de automóvil puede durar hasta seis años, no obstante, sólo el 30% del total llega a ese límite. El 70% tiene una vida útil que fluctúa entre 6 y 48 meses. Una batería de arranque para vehículos que asegure unos 4,000 ciclos supone aproximadamente una duración promedio de 2 a 3 años; en los taxis y los vehículos comerciales, las baterías durarán considerablemente menos debido al desgaste producido por los numerosos arranques.

13.3.4.4 Riesgo de contaminación

Las baterías poseen dos sustancias peligrosas: el electrolito ácido y el plomo. El primero es corrosivo, tiene alto contenido de plomo disuelto y en forma de partículas, y puede causar quemaduras en la piel y los ojos. El plomo y sus compuestos (dióxido de plomo y sulfato de plomo

entre otros) son altamente tóxicos para la salud humana, ingresan al organismo por ingestión o inhalación y se transportan por la corriente sanguínea acumulándose en todos los órganos, especialmente en los huesos. La exposición prolongada puede afectar el sistema nervioso central, cuyos efectos van desde sutiles cambios psicológicos y de comportamiento, hasta graves efectos neurológicos, siendo los niños la población en mayor riesgo (CONAMA-GTZ, 2009).

Los riesgos más importantes y efectos nocivos sobre la salud de las personas, según vía de exposición, son (CONAMA-GTZ, 2009):

- **Inhalación:**

Ácido sulfúrico: Respirar vapores o niebla de ácido sulfúrico puede causar irritación en las vías respiratorias.

Compuestos de plomo: La inhalación del polvo o vapores puede causar irritación en vías respiratorias y pulmones.

- **Ingestión:**

Ácido sulfúrico: Puede causar una irritación severa en boca, garganta, esófago y estómago.

Compuestos de plomo: Su ingestión puede causar severo dolor abdominal, náusea, vómito, diarrea y calambres. La ingestión aguda puede llevar rápidamente a toxicidad sistémica.

- **Contacto con la piel:**

Ácido sulfúrico: El ácido sulfúrico causa quemaduras, úlceras e irritación severa.

Compuestos de plomo: No se absorben por la piel.

- **Contacto con los ojos:**

Ácido sulfúrico: Causa irritación severa, quemaduras, daño a las córneas y ceguera.

Compuestos de plomo: Pueden causar irritación.

- **Sobre exposición aguda (por una vez):**

Ácido sulfúrico: Irritación severa de la piel, daño a las córneas que puede causar ceguera, e irritación al tracto respiratorio superior.

Compuestos de plomo: Síntomas de toxicidad incluyen dolor de cabeza, fatiga, dolor abdominal, pérdida de apetito, dolor muscular y debilidad, cambios de patrones de sueño e irritabilidad.

- **Sobre exposición crónica (largo plazo):**

Ácido sulfúrico: Posible erosión del esmalte de los dientes, inflamación de nariz, garganta y tubos bronquiales.

Compuestos de plomo: Anemia; neuropatía, particularmente de los nervios motores, caída de la muñeca; daño a los riñones y cambios reproductivos en hombres y mujeres.

- **Carcinogenicidad:**

Ácido sulfúrico: La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado la exposición ocupacional a vapores de ácidos inorgánicos fuertes que contienen ácido sulfúrico,

como carcinogénica para los humanos (Grupo 1). Esta clasificación no aplica al electrolito de las baterías, sin embargo, las recargas con corrientes excesivamente altas durante periodos de tiempo prolongados, de baterías sin las tapas de venteo bien puestas, puede crear una atmósfera de neblina de ácido inorgánico fuerte con contenido de ácido sulfúrico.

Compuestos de plomo: La IARC clasifica el plomo y sus compuestos dentro del Grupo 2B “posiblemente carcinogénicos en humanos”.

Arsénico: El arsénico es una sustancia cancerígena humana conocida; clasificado por la IARC en el Grupo 1.

- **Fuego y explosión:**

La liberación de hidrógeno, incluso con la batería en estado de reposo, es inherente a la reacción química que se produce en aquella, por lo tanto, la emanación de este gas inflamable es inevitable. La emanación de hidrógeno y proximidad de un foco de ignición (cigarro encendido, flama o chispa) pueden causar la explosión de una batería con la proyección violenta tanto de fragmentos de la caja como del electrolito líquido corrosivo. Las chispas se pueden producir internamente en el seno de la batería por cortocircuitos causados por un deficiente estado de la misma, ya sea por desprendimiento de materia activa, por acumulación de algunas impurezas, por comunicación entre los apoyos o por deformaciones de éstas, así como por avería en algún separador; circunstancias que pueden deberse a defectos de fabricación, mantenimiento incompleto o al trato dispensado a la batería. Las chispas externas tienen lugar por la manipulación de herramientas durante el montaje o desmontaje, la conexión de pinzas de cables de emergencia, la electricidad estática, las abrazaderas flojas, la carga insuficiente, la sobrecarga y por dejar objetos metálicos encima de la batería.

- **Reactividad:**

Ácido sulfúrico: El contacto del electrolito con combustibles y materiales orgánicos puede causar fuego y explosión. También reacciona violentamente con agentes reductores fuertes, metales, gas trióxido de azufre, oxidantes fuertes y agua. El contacto con metales puede producir humos tóxicos de dióxido de azufre y puede liberar gas hidrógeno inflamable.

Compuestos de plomo: Se debe evitar el contacto con ácidos fuertes, bases, haluros, halogenados, nitrato de potasio, permanganato, peróxidos y agentes reductores.

Cuando el plomo entra al medio ambiente no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua. Una vez que el plomo entra a la atmósfera, puede viajar larga distancia si las partículas de plomo son muy pequeñas. El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas superficiales. Una vez que el plomo cae al suelo, se adhiere fuertemente a partículas en el suelo y permanece en la capa superior del suelo. Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia. El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años. Los niveles de plomo pueden ser más altos en plantas y animales en áreas donde el aire, el agua o el suelo están contaminados con plomo (RYA y GTZ, 2009).

Dependiendo del grado de mecanización de las instalaciones de eliminación de baterías, se estima que pueden surgir los siguientes riesgos ambientales (Vest, H., 2002):

- Contaminación de suelo y aguas subterráneas por el ácido derramado al vaciar los acumuladores.
- Dispersión del polvo de plomo por el viento, si se almacenan los acumuladores triturados sin protección.
- Producción de bastantes emisiones atmosféricas (por ejemplo, polvo con contenido de plomo, hollín, SO₂, cloruros, dioxinas, etc.) al fundir los residuos de acumuladores, debido a:
 - El procesamiento de acumuladores completos incluyendo sus partes plásticas (caja, separadores de PVC, en los tipos antiguos);
 - La eliminación inadecuada de gases y vapores durante el proceso de fusión y refinación;
 - La ausencia de tratamiento o el tratamiento inadecuado de los gases de combustión.
- Uso de escoria soluble en agua sin el diseño adecuado de tiradero, que evite la lixiviación y la formación de polvos.
- Almacenamiento a cielo abierto de escoria y cenizas del proceso de refinación.
- Vertido de residuos a cielo abierto, como por ejemplo cajas de acumuladores y separadores de PVC.

La informalidad en el manejo de residuos en general representa riesgos significativos para la salud y el medio ambiente. La participación de operadores informales está asociada no sólo al contrabando de residuos, sino que a condiciones de empleo inadmisibles desde el punto de vista de la seguridad social, sanitario y laboral; contaminación ambiental producida por el descarte en forma incontrolada de los residuos en los cursos de agua, la quema a cielo abierto o el vertido en el terreno de residuos peligrosos sin control y sin ninguna medida de protección ambiental; y la generación de sitios contaminados difíciles de identificar (RYA y GTZ, 2009).

13.4 Metodología del procedimiento de búsqueda asistida

El procedimiento de búsqueda asistida consiste en la búsqueda y contabilización de palabras clave en la descripción de cada registro de la partida arancelaria, con el fin de reconocer el tipo de batería al que corresponde cada importación. El programa reconoce la cantidad de veces que se encuentra cada palabra clave en la descripción, y entrega el número de palabras encontradas para cada tipo de batería. Basado en el número de palabras clave encontradas por el programa, los resultados son revisados por un programa que asigna el tipo de batería más probable basado en la cantidad de palabras encontradas para cada tipo de baterías. Finalmente, los resultados se revisan manualmente para corroborar y asignar el tipo de batería correspondiente.

En la Figura 13-6, se presenta una fracción de la BD de Aduanas, en que se puede ver la columna de descripción de mercancía. En esta columna, el programa lee la información y reconoce las palabras clave que se le han señalado, contabilizando la cantidad de palabras que encuentra para cada tipo de batería.

ID	DESCRIPCIONMERCANCIA
19	SIN-CODIGO ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; T ROJAN BATTERY COMPANY-F; SECA, CARGADA; PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO (PISTON);
20	SIN-CODIGO ; BATERIAS ; NESTOR ARAYA B LAZINA - F ; DIFERENTES MODELOS ; USADAS , EN USO PARA DISPOSICION FINAL EN RELLENO S
21	SIN-CODIGO ; ACUMULADORES ELECTRICOS; YIGITAK U; BAT.100AH 27-60 CCA650; DE PLOMO, CON ELECTROLITO LIQUIDO, DE LOS TIPOS UTILIZADOS PARA ARR
22	SIN-CODIGO ; ACUMULADORES ELECTRICOS; YIGITAK U; BAT.55AH 55530-CCA360; DE PLOMO, CON ELECTROLITO LIQUIDO, DE LOS TIPOS UTILIZADOS PARA ARR
23	186-6189(; ACUMULADOR ELECTRICO; CATERPILLAR R; DE PLOMO; CON ELECTROLITO LIQUIDO, PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO
24	170-0235(; BATERIAS; CATERPILLAR; DE PLOMO; CON ELECTROLITO LIQUIDO, PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO
25	145G51 ; ACUMULADOR ELECTRICO; ASTRA-F; N 150; DE PLOMO CON ELECTROLITO LIQUIDO, PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO;
26	190H52 ; ACUMULADOR ELECTRICO; ASTRA-F; N 200; DE PLOMO CON ELECTROLITO LIQUIDO, PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO;
27	26A19R ; ACUMULADOR ELECTRICO; ASTRA-F; 2 6A19R; DE PLOMO CON ELECTROLITO LIQUIDO, PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO;
28	1155F51 ; ACUMULADOR ELECTRICO; ASTRA-F; 1 155F51; DE PLOMO CON ELECTROLITO LIQUIDO, PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO
29	N100 ; ACUMULADOR ELECTRICO; ASTRA-F; N 100; DE PLOMO CON ELECTROLITO LIQUIDO, PARA ARRANQUE DE MOTORES DE EMBOLO
30	2955106461R ; BATERIA DE TRACCION; RENAULT; 29 55106461R; CON ELECTROLITO LIQUIDO DE 12VOLTS 150 AMP PARA ARRANQUE DE MOTOR DE EXPLO
31	AG00006344DPS ; BATERIAS ELECTRICAS; HANKOOK; CON ELECTROLITO LIQUIDO; PARA EL ARRANQUE DE MOTORES; PARA VEHICULO AUTOMOVIL
32	AG00006289DGP ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; HANKOOK; QUE FUNCIONEN CON ELECTROLITO LIQUIDO; PARA ARRANQUE DE MOTORES ENC.P/CHISPA
33	AG00001281DGP ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; HANKOOK; FUNC.C/ELECTROLITO LIQUIDO, P/ARRANQUE DE MOTORES EN C.P/CHISPA; .
34	AG00006268DPS ; ACUMULADORES ELECTRICOS DE PLOMO; HANKOOK; CON ELECTROLITO LIQUIDO; PARA EL ARRANQUE DE MOTORES
35	AG00006240M00 ; ACUMULADOR ELECTRICO; HANKOOK; MODELO AG00006240M00; DE PLOMO CON ELECTROLITO LIQUIDO PARA VEHICULO AUTOMOVIL
36	BATPB-A ; ACUMULADORES ELECTRICOS; DONG AH- F; DE PLOMO; CON ELECTROLITO LIQUIDO PARA ARRANQUE MOTOR DE EMBOLO(PISTON)
37	BATPB-A ; ACUMULADORES ELECTRICOS; DONG AH- F; DE PLOMO; CON ELECTROLITO LIQUIDO PARA ARRANQUE MOTOR DE EMBOLO(PISTON)
38	BATPB-A ; ACUMULADORES ELECTRICOS; DONG AH- F; DE PLOMO; CON ELECTROLITO LIQUIDO PARA ARRANQUE MOTOR DE EMBOLO(PISTON)
39	BATPB-A ; ACUMULADORES ELECTRICOS; DONG AH- F; DE PLOMO; CON ELECTROLITO LIQUIDO PARA ARRANQUE MOTOR DE EMBOLO(PISTON)

Figura 13-6 Descripción de mercancía en BD de Aduanas.

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, las descripciones de baterías que se presentan en la Figura 13-6 son revisadas para determinar los tipos de batería que se encuentran en la BD. Una vez que se reconocen los tipos de baterías, se registran las palabras clave que se repiten en las descripciones de cada tipo. Un ejemplo de palabras que se buscan para cada tipo de batería se presenta en la Tabla 13-17.

Tabla 13-17 Ejemplo de palabras clave buscadas para cada tipo de batería

Tipo	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Arranque	motor	arranque	vehiculo	automovil	automotriz
Bencina	motor	arranque	vehiculo	explosion	chispa
Diesel	motor	arranque	vehiculo	embolo	piston
Motocicleta	motocicleta	bicicleta			
Maquinaria	maquina	asfaltador	miner	perforacion	
Otras Litio	litio	lithium	cargar		
Otros Vehículos	aeronave	helicopter	autopropulsado	terminal	
Scooter	scooter				
Estacionaria Energía	estacionari	planta	fotovoltaic	gas	panel
Estacionaria Industrial	estacionari	industria	usoindustrial		
Estacionaria Respaldo	estacionari	recargable	UPS	respaldo	almacenamiento
Estacionaria S.C.	estacionari	alumbra	iluminacion		
Médico	medic	hospitala	ventilador	pulmonar	
Telecomunicaciones	estacionari	telecom	comunicacion	transcep	
Cargador	cargador				
Notebook	notebook	computa	laptop	portatil	ordenador
Pilas	pila	reloj	audifono	microbateria	consola
Celular	celular	telefono	tablet	phone	movil

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13-17 se presentan 18 tipos de baterías que se encuentran en las BD de importaciones de baterías. Para cada tipo, se han identificado palabras que se repiten con frecuencia en la descripción de mercancías. Se debe notar que las palabras pueden estar cortadas o ser una combinación de más de una palabra juntas, dado que las descripciones se trabajan sin espacios. Con esta información, el programa contabiliza la cantidad de palabras que ha encontrado para cada tipo de batería, para cada descripción de importación. El proceso de reconocimiento de palabras es iterativo, dado que, al revisar los resultados, se encuentran nuevas palabras que se repiten para algún tipo de batería, y se agregan a la tabla de palabras clave.

Con esta información, la búsqueda asistida programada en Visual Basic identifica la probabilidad, asociada a la cantidad de palabras de un tipo de batería, de que una partida corresponda a un tipo de batería. Una muestra de la contabilización de palabras clave para un fragmento de la BD se muestra en la Figura 13-7.

B	J	V	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY
ID	DESCRIPCIONMERCANCIA	ARANC_NAC	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7	Tipo 8	Tipo 9	Tipo 10	Tipo 11	Tipo 12
1	SIN-CODIGO ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; R	85071010	3	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
2	SIN-CODIGO ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; R	85071010	3	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
3	SIN-CODIGO ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; R	85071010	3	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
4	SIN-CODIGO ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; R	85071010	3	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
5	SIN-CODIGO ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; R	85071010	3	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
6	SIN-CODIGO ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; R	85071010	3	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
7	55559-MF ; ACUMULADOR ELECTRICO DE PLOMO; Y	85071010	3	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	NX120-7L-MF ; ACUMULADOR; YOKO; ELECTRICO,DE P	85071010	2	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	0
9	NX120-7-MF ; ACUMULADOR; YOKO; ELECTRICO,DE P	85071010	2	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	0
10	NX110-5L-MF ; ACUMULADOR; YOKO; ELECTRICO,DE P	85071010	2	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	0
11	N200-MF ; ACUMULADOR; YOKO; ELECTRICO,DE P	85071010	3	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 13-7 Resultados de contabilización de palabras clave por búsqueda asistida.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13-7 se puede ver los resultados que entrega el programa. Las columnas Tipo 1 a Tipo 12 corresponden a parte de los tipos de batería presentados en la Tabla 13-17. El valor asignado representa la cantidad de palabras que se encontraron para ese tipo, para la fila correspondiente. Con esta información, se puede determinar el tipo de batería basado en la probabilidad o “conteo de palabras” que entrega el programa. Luego, mediante el programa de clasificación de baterías se asigna el tipo de batería más probable a cada partida. Finalmente, mediante revisión manual se corrobora el tipo de batería asignado a cada importación.

El objetivo final de esta búsqueda es facilitar el proceso de identificación del tipo de batería entre el gran número de tipos de baterías y datos presentados en la base de datos. Sin embargo, dado que el sistema programado no es perfecto y las descripciones en la base de datos en ocasiones no cuentan con la información necesaria, se complementa con una revisión manual de los resultados de la búsqueda asistida, para confirmar a qué tipo de batería corresponde cada importación.

13.5 Reunión con Recimat

13.5.1 Minuta de reunión

Lugar de Realización	Video Conferencia	
Fecha	11 de diciembre de 2020	
Presentes	Antonio Carracedo	Gerente Comercial - Recimat
	José Miguel Valdés	GreenLab - Dictuc
	Viviana Cerda Gho	GreenLab - Dictuc
	Esteban Cathalifaud	GreenLab - Dictuc

TEMAS TRATADOS

- I. Reunión con Recimat para conocer su rol en la gestión del producto prioritario baterías

DESARROLLO DE LA AGENDA

1. Se realizó una introducción del estudio y la intención de la reunión.
2. Se habló sobre el rol de la empresa en la gestión de baterías, así como sus proyecciones en este aspecto. Para esto se buscó entender el tratamiento que entregan, así como la capacidad y características de la empresa.

1) Presentación de la empresa y su gestión

1. ¿Dónde están ubicados?

- Están ubicados en Calama.

2. ¿En qué consiste el tratamiento que entregan?

- Reciben baterías fuera de uso (BFU) de vehículos e industriales, las cuales son sometidas a un proceso de reciclaje.
- Reciben también ánodos de plomo usados, los cuales son procesados.
- Recimat es la cadena logística que abastece la fundición en RAM, donde se producen lingotes de plomo.
- A partir del proceso de reciclaje realizado por RAM, obtienen plomo, el cual comercializan para la producción de ánodos de plomo y baterías nuevas.
- RAM vende el 30-40% de su producción a INPPAMET³⁴, que fabrica ánodos de plomo. Mientras que el 60-70% restante se exporta para la fabricación de baterías nuevas³⁵.
- Comenzaron sus operaciones hace 35 años fabricando ánodos de plomo para la electroobtención de cobre para la minería (nacional y extranjera). Fueron capaces de ampliar sus operaciones al reciclaje de baterías de plomo debido a su experiencia en la producción de ánodos de plomo para la industria minera.

³⁴ INPPAMET no podría comprar más debido a que está supeditado a la minería del país, que ya habría alcanzado su *peak* (a la vez, son la empresa de ánodos de plomo más grande del mundo).

³⁵ En Chile no hay fabricación de baterías, por lo que la ley REP se aplicaría a importadores. El mayor importador de baterías del país sería Derco Center.

- Proceso:
 - o Las baterías son trituradas para extraer óxidos y sulfatos de plomo de su interior, a partir de los cuales se obtiene una “pasta” de plomo, muy tóxica.
 - o Esta pasta es transportada a la fundición de por alimentación automática (patentada ALPS³⁶), sin la intervención del personal de la planta para evitar su exposición a contaminantes.
 - o Finalmente, a partir del plomo fundido se obtienen lingotes de plomo (99.6%) bajo un proceso que captura la mayor parte de los gases contaminantes generados³⁷, emitiendo de esta manera hasta 2 mg de Pb/m³.
 - o Cabe destacar que, si bien este nivel de emisión es menor a los estándares propuestos por otros países, buscan disminuir incluso más sus emisiones, hasta 0.2 mg de Pb/m³.
- Son hoy considerados una de las plantas de reciclaje de baterías más modernas del mundo. Obtuvieron el premio nacional de medioambiente de Recyclápolis 2020 (Categoría Tierra).

3. ¿Cómo es el mercado del reciclaje de baterías?

- En Chile se generarían muy pocas baterías fuera de uso, por lo que Recimat es un monopolio en este mercado, sin que sea rentable para otra compañía entregar este mismo servicio.
- A pesar de esto, la empresa es tomadora de precios, por lo que pagan un 19% del precio propuesto por el London Metal Exchange (LME) por la compra de los residuos plomados, valor que está regulado por la Fiscalía Nacional Económica.
- Existiría una fuga de cerca del 8-10% de baterías fuera de uso hacia países vecinos. Explica que esto se debe a que, dado que los estándares de emisión de plomo de otros países de América Latina son menores a los chilenos, las compañías extranjeras tienen menores costos de operación y, por lo tanto, tienen la capacidad de pagar más por las baterías fuera de uso (por ejemplo, el doble) y seguir siendo rentables. Aunque el transporte trasfronterizo de residuos peligrosos no está permitido por la Convención de Basilea, parece no estar bien regulada la penalización cuando se intentan exportar estos residuos ilegalmente. Faltarían incentivos para que estos residuos se queden en Chile.
- Piensan que pueden existir fundiciones ilegales que se encarguen de tratar baterías de plomo, pero, de haber, se encargarían de tratar un volumen muy pequeño de BFU.
- Dado que las BFU se compran para el reciclaje y son un residuo pesado y diferente, no debería seguir la cadena de la basura domiciliaria. Quizás podría haber en algún acopio.

2) Sobre los residuos que procesan

1. ¿Qué residuos gestionan?

- Reciben baterías de vehículos principalmente; también baterías industriales y ánodos de plomo usados³⁸.

³⁶ Automatic Loading Protection System

³⁷ El plomo capturado en filtros de mangas también lo recuperan.

³⁸ Estos ánodos no pasan por proceso de reciclaje, sino por un proceso más simple.

- Las baterías industriales corresponden a un 10% de las baterías que reciben. Estas baterías provienen de compañías de telecomunicaciones, UPS, o bien de vías de recolección autorizadas y no autorizadas (“chatterros”). Corresponden a 180-200 ton al mes.

2. ¿De qué regiones reciben residuos?

- De todas las regiones.
- Cuando tienen que traer de lugares muy lejanos, ejemplo Punta Arenas, se transporta por barco hasta un lugar conectado por carretera, y luego hasta Calama por camión. Las bodegas con permiso de acopio tendrían autorizado tener los residuos 6 meses, por lo que se harían 2 transportes al año. Han hecho campañas publicitarias para tener una mayor recolección en este tipo de zonas.

3. ¿Qué volumen de residuos reciben?

- Indican que se generan en total cerca de 2,500 toneladas al mes de baterías fuera de uso en todo Chile (una batería en promedio pesaría entre 14 y 15 kg).
- Se encargan del tratamiento de cerca del 92% de las BFU generadas en el país, es decir, alrededor de 2,200 – 2.300 toneladas por mes.

4. ¿Cuál es su capacidad de procesamiento?

- Tienen autorizado procesar 4.123 toneladas de baterías usadas al mes.
- En cuanto a su capacidad técnica, su horno puede procesar mucho más que este límite. Podrían procesar cerca de 6,000 toneladas al mes.

5. ¿Qué obtienen como productos?

- Su producto primario son lingotes de plomo.
- El 70%³⁹ de los componentes de las baterías corresponden a óxidos y sulfatos de plomo, El 30% de su volumen se pierde en el proceso de fundición al extraer el oxígeno. Esto implica que cerca del 50% del peso de las baterías se convierte finalmente en lingotes de plomo comercializables.
- Por lo tanto, mensualmente producirían alrededor de 1,200 ton de lingotes de plomo, de los cuales 300-400 ton se venderían para la fábrica de ánodos, y 800-900 ton se exportarían (sin considerar el tratamiento de ánodos de plomo usados).
- También obtienen polipropileno, el cual es chipiado, granulado y pelletizado, para luego ser vendido a compañías externas que lo usan como materia prima.
- Obtienen ácido sulfúrico, el cual se neutraliza y se obtiene yeso (sulfato de calcio), que no tiene valor comercial. Lo disponen de manera adecuada en un botadero propio.
- También obtienen aguas residuales, las cuales solían usar para riego. Debido a restricciones no pueden usar esta agua con tal fin hasta certificar que el agua es potable.

3) Proyecciones a futuro

1. ¿Proyectan aumentar su capacidad, en volumen y/o en tipo de producto gestionado? ¿Otro?

- Buscan mejorar aún más sus estándares, disminuyendo sus emisiones de material contaminante a un 10% de su valor actual.

2. Comentarios sobre la implementación de Ley REP al producto prioritario baterías.

³⁹ Las baterías industriales tendrían un porcentaje mayor de plomo que las vehiculares (65%).

- Creen que la implementación de la Ley REP será un gran aporte a sus operaciones, sobre todo para formalizar las vías de recolección, acopio y transporte de los residuos. Destacan que actualmente cerca del 50% de los residuos que reciben son obtenidos por vías de recolección informal (chatarros).
- Mencionan que los chatarreros son reacios a la Ley REP, dado que implicará una mayor fiscalización de sus actividades y piensan que esto los perjudicará.
- Creen que la Ley REP será algo beneficioso, ya que traerá multas a los exportadores ilegales, y un marco legal potente para regular con respecto a este tema

13.5.2 Aclaraciones ex-post

Recimat aclaró vía e-mail la cantidad de baterías tratadas y el plomo producido por la fundición RAM, con el fin de tener una mayor claridad sobre su eficiencia de reciclaje. Por este medio también se mencionó que la información previamente entregada para confeccionar el presente estudio correspondía a la cantidad de baterías recibidas por la planta de tratamiento (no las efectivamente tratadas) para un determinado año, a la vez que los antecedentes previamente entregados correspondían a la totalidad de plomo obtenido por la fundición al procesar todos los residuos plomados (no la cantidad obtenida directamente de la fundición de BFU). Así, sus aclaraciones se presentan en la Tabla 13-18, donde los valores asignados a “informe” corresponden a los valores entregados por Recimat como aclaración, mientras que los bajo el título “UC” corresponden a los valores previamente disponibles por el presente estudio.

Tabla 13-18 Aclaración sobre baterías tratadas y plomo obtenido por Recimat

	Baterías molidas		Plomo Obtenido		Rendimiento	
	informe	UC	informe	UC	informe	UC
2018	22.071	21.713	13.210	16.003	59,9%	73,7%
2019	25.607	26.054	14.612	15.133	57,1%	58,1%

Fuente: Elaboración propia

También se aclara mediante esta misma vía que existe un aumento de BFU recibidas por la empresa entre el 2015 y 2016. Este incremento se debería al cierre de su única competidora, TECNOREC, escenario ante el cual recolectores de baterías usadas decidieron acumular durante un año estos residuos considerando la posibilidad de que se pudieran exportar eventualmente. Dado que la exportación de las BFU sigue siendo ilegal, en 2016 estos recolectores decidieron dejar de almacenar los residuos y venderlos a Recimat para su disposición final adecuada.

Respecto a los residuos de su proceso, posteriormente RAM aclaró que el ácido sulfúrico que obtienen se neutraliza y se produce yeso (sulfato de calcio), que no tiene valor comercial, por lo que es almacenado en un pretil autorizado para estos fines, y dispuesto como residuo industrial no peligroso en empresas externas. También que en la fundición generan una escoria, que es dispuesto en un vertedero propio de la empresa que cuenta con todas sus autorizaciones. Los únicos otros residuos que generan son contenedores y envases, que son entregados a una empresa externa que los dispone en un relleno de seguridad.

Mientras que en relación a otros residuos plomados que reciben desde la minería, de acuerdo con lo indicado por RAM, su magnitud estaría en el orden de 2 mil toneladas adicionales de residuos al año, dado que en 2020 habrían recibido 1,188 toneladas de chatarra anódica, y 879 toneladas de borra anódica.

Finalmente, Recimat validó los resultados de su operación que se presentan en la Tabla 5-7 elaborada por el equipo consultor.

13.6 Antecedentes sobre costos de tratamiento de agua y suelo por contaminación de metales pesados

Según la EPA (1994), La escorrentía superficial, que puede transportar partículas de suelo que contienen plomo absorbido, facilita la migración y posterior desorción de este en suelos contaminados. Mientras que el agua subterránea (típicamente baja en suelos suspendidos y sales de plomo lixiviables) normalmente no crea una vía importante para la migración del plomo. Sin embargo, si se han producido actividades de rotura de baterías de ácido-plomo *in situ* y el ácido de la batería se desechó en el sitio, es posible que se hayan transferido concentraciones elevadas de plomo y otros metales al agua subterránea, debido al pH ácido. Por este motivo, respecto a los costos de restauración, se realizó una revisión bibliográfica respecto a costos de tratamientos de aguas contaminadas con metales pesados, revisión que se resume en la Tabla 13-19.

Tabla 13-19 Costos identificados para el tratamiento de aguas contaminadas con componentes inorgánicos

Referencia	Tratamiento	Descripción	Componentes del costo	Costo original	Unidad del costo original ^a	Costo medio en UF	Unidad costo medio
Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Second Edition, de la EPA (Peter J. Marks, Walter J. Wujcik, 1994)	Precipitación	Se transforman los contaminantes disueltos a sólidos insolubles, facilitando así su posterior eliminación de la fase líquida por sedimentación o filtración. El proceso, por lo general, utiliza el ajuste del pH, la adición de un precipitante químico, y la floculación.	Costo de capital de sistema para precipitación de metales, para tratar 75 L/min.	\$85,000	USD	\$3,230.0163	UF
			Costo de capital de sistema para precipitación de metales, para tratar 250 L/min.	\$115,000	USD	\$4,370.0220	UF
			Costo de operación	\$0.08-\$0.18	USD/m3	\$0.0049	UF/m3
			Costo adicional de operación por tratamiento de agua subterránea por precipitación. Costo estimado de USD\$330 por tonelada métrica de lodos (USD\$300 por tonelada).	\$0.13	USD/m3	\$0.0049	UF/m3
	Filtración	Se aíslas las partículas sólidas mediante el paso de una corriente de fluido a través de un medio poroso.	Costo total de operación	\$0.36-\$1.20	USD/m3	\$0.0296	UF/m3
	Intercambio iónico	Se eliminan los iones de la fase acuosa mediante el intercambio con los iones inocuos presentes en el medio de intercambio.	Costo total de operación	\$0.08-\$0.21	USD/m3	\$0.0055	UF/m3
	Extracción de Agua (Pump & Treat)	Extracción de agua contaminada del suelo y del subsuelo, tanto de la zona saturada como de la zona no saturada. Cuando se busca actuar sobre la zona no saturada, se requiere una inyección previa de agua, que arrastre y lave los elementos contaminantes del suelo.	Diseño e instalación de sistema para 380 L/min.	\$200	USD	\$7.6000	UF
			Operación	\$0.26-\$26.4	USD/m3	\$0.5065	UF/m3

Referencia	Tratamiento	Descripción	Componentes del costo	Costo original	Unidad del costo original ^a	Costo medio en UF	Unidad costo medio
Programa de Cumplimiento Ecomaule S.A. (Ecomaule S.A., 2015)	Remoción de apozamiento en la base del relleno	Succión y conducción de apozamiento de lixiviados a una planta de tratamiento.	Incluye los costos de la maquinaria necesaria y las Horas-Hombre de personal no calificado.	\$2,000.00	CLP/m3	\$0.0799	UF/m3

^a Valores en moneda de los años de estudio respectivos.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a lo presentado en la Tabla 13-19, si bien no existe ningún costo que represente de manera cercana la situación de tratamiento de aguas debido a la presencia de plomo en sitios de disposición sin las condiciones de seguridad necesarias, la mejor aproximación de costos es aquella que proviene del estudio de la EPA (1994), proponemos utilizar los valores presentados específicamente para los tipos de tratamiento **precipitación y filtración**⁴⁰⁴¹, por ser los más apropiados y los más utilizados en aguas contaminadas con metales (Peter J. Marks, Walter J. Wujcik, 1994). Si bien estos valores dan cierta confianza, por encontrarse dentro del rango de valores presentados en toda la literatura revisada, se debe tener en consideración que habría mucha incertidumbre asociada a la utilización de estos en una posible valorización. Esta incertidumbre no solo estaría asociada a la pertinencia del valor al caso nacional, sino también a la dificultad de cómo identificar cuál es la cantidad de aguas contaminadas. Adicionalmente, cabe mencionar que se decide no recomendar el valor de la referencia chilena, debido a que es una medida en que ya se encuentra operativo el sistema de tratamiento, y solo incluye el bombeo y conducción de los lixiviados a dicha instalación.

Si bien, según la literatura, la precipitación sería el método más común para tratar las aguas contaminadas con metales, no es claro si los costos de operación identificados para este sistema incorporan o no los valores asociados a la inversión inicial para su instalación. Si se consideran solamente los costos de operación de la precipitación, tanto del sistema en sí como del tratamiento de los lodos generados, se obtiene un costo de operación de 0.0098 UF/m³, cuyo orden de magnitud se encuentra dentro de los rangos del valor medio estimado para los otros sistemas aptos para el tratamiento de aguas con metales. Por lo anterior, para una posible evaluación a modo referencial del costo de tratamiento de lixiviados con alto contenido de metales pesados, se propone utilizar el rango de costos identificados, entre el tratamiento por precipitación y la filtración, lo que equivale a un costo aproximado de **entre 0.0098 y 0.0296 UF por cada m³ de agua tratada**.

⁴⁰ No se recomienda en este caso el uso de intercambio iónico, que se puede ver afectado por valores de pH extremos.

⁴¹ De acuerdo con la EPA (1994), la precipitación permite tratar aguas contaminadas con plomo y otros metales pesados; la filtración permite la eliminación de metales precipitados.

Respecto a la contaminación de suelos, la EPA (1994) indica que el plomo tiende a acumularse en la superficie del suelo, usualmente hasta 3 y 5 cm de la superficie, donde la concentración decrece con la profundidad. Algunos compuestos de plomo, como el sulfuro de plomo, son insolubles y típicamente inmóviles en el suelo siempre que se mantengan ciertas condiciones. Por ejemplo, el plomo presenta un alto grado de adsorción en suelos ricos en arcilla. Solo un pequeño porcentaje del plomo total es lixiviable; la mayor parte suele ser sólida o absorbida por las partículas del suelo.

En la Tabla 13-20 se presentan los costos identificados para el tratamiento de suelos contaminados con metales. Si bien se presentan varios costos asociados al método de solidificación, que pueden ser apropiados para otros casos, la EPA (1994) indica que los compuestos de plomo son solubles a pH bajo y a pH alto, como los inducidos por el tratamiento de solidificación/estabilización, lo que afecta fuertemente la lixiviación. Si bien todos los valores presentados se consideran apropiados, según la EPA (1994) La **solidificación** suele proponerse para sitios contaminados por el reciclaje de baterías de ácido-plomo, por lo que para una posible evaluación se propone usar el rango de valores para este tipo de tratamiento, que equivale a **entre 1.9 y 7.6 UF/ton**, dependiendo de la profundidad del suelo tratado (considerando una densidad de suelo estimada en 1.3 ton/m³).

Si bien no hay mayores antecedentes para poder ocupar los valores levantados, tanto para el tratamiento de agua contaminada, en que no hay referencias confiables de cuánta agua se podría contaminar por las baterías y sus distintos tipos de gestión inadecuada, como para el suelo contaminado en que no se tiene una referencia respecto a cuánto suelo se contamina y se debiera tratar para ser recuperado en estas situaciones, se considera de todos modos interesante tenerlos como antecedentes.

Tabla 13-20 Costos identificados para el tratamiento de suelos contaminadas con componentes inorgánicos

Referencia	Tratamiento	Descripción	Componentes del costo	Costo original	Unidad del costo original ^a	Costo medio en UF ^b	Unidad costo medio
Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados (Fundación Chile, 2012)	Remediación electrocinética	Tecnología que permite separar y extraer metales pesados, radionucleidos y contaminantes orgánicos presentes en suelos (zona saturada y no saturada), lodos, sedimentos y aguas subterráneas.	Costo operación	\$117	USD/m ³	1.94	UF/ton
Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Second Edition de la EPA (Peter J. Marks, Walter J. Wujcik, 1994)	Solidificación/estabilización (in situ)	Esta reduce la movilidad de sustancias peligrosas y contaminantes en el medio ambiente por medios físicos y químicos. Busca atrapar o inmovilizar contaminantes dentro de su medio "anfitrión" (ej. suelo, arena y/o materiales de construcción), en lugar de eliminarlos mediante un tratamiento químico o físico. Las pruebas de lixiviabilidad se realizan típicamente para medir la inmovilización de contaminantes.	Costo de mezcla/barrena para tratamiento poco profundo.	\$50-\$80	USD/m ³	1.90	UF/ton
			Costo de mezcla/barrena para tratamiento profundo.	\$190-\$330	USD/m ³	7.60	UF/ton
	Solidificación/estabilización (ex situ)	Los contaminantes ex situ se unen o encierran físicamente dentro de la masa estabilizada (solidificación), o se inducen reacciones químicas entre el agente estabilizador y los contaminantes para reducir su movilidad (estabilización). Suele requerir la eliminación de los materiales resultantes.	Costo servicio, incluyendo excavación	\$100	USD/ton	3.80	UF/ton
	Excavación y disposición de suelo fuera de sitio	El material contaminado es removido y transportado para permitir su tratamiento fuera del sitio. Puede ser requerido un pretratamiento para el material que será transportado.	Maquinaria, mano de obra, transporte y disposición final del material.	\$270-\$460	USD/ton	13.87	UF/ton
Programa de Cumplimiento ECOBIO S.A (ECOBIO S.A., 2015)	Escarpe de suelo afectado	Remover el 100% del suelo afectado y disponerlo en relleno de seguridad.	Maquinaria arrendada, volumen de tierra retirada	\$91,435	CLP/m ³	2.81	UF/ton

^a Valores en moneda de los años de estudio respectivos.

^b Para valores en m³, se estimó un costo ajustado considerando una densidad del suelo de 1.3 ton/m³, valor medio del rango 1 a 1.6 g/cm³.

Fuente: Elaboración propia

