

Resumen

A través de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) se evaluó el cumplimiento para el Anteproyecto de Metas de recolección y valorización para el producto prioritario Baterías¹ contenido en la Ley 20.920.

La metodología empleada en la elaboración del AGIES corresponde a un análisis costo-beneficio (ACB), en el que la implementación de la normativa se traduce a costos y beneficios directos en términos monetarios. El ACB consideró la comparación de dos escenarios: situación de línea base (o situación actual) y situación con normativa. Los costos considerados corresponden a aquellos asociados al cumplimiento de los nuevos valores normativos, vinculados a las actividades a realizar, desde la recolección de las baterías hasta la valorización de estas. Por su parte, los beneficios se consideran principalmente como el valor de lo obtenido tras la valorización, sea esto materiales reciclados o baterías de segunda vida, en conjunto con beneficios derivados por mejora en las condiciones ambientales de las personas.

La regulación considera dos metas independientes diferenciando el tipo de batería:

- Una meta específica para baterías de plomo-ácido.
- Una meta específica para baterías de iones de litio.

El AGIES a través de una metodología definida, evaluó el cumplimiento de las metas propuestas, obteniendo los siguientes resultados:

- Se establece que dada la actual tasa de recolección de baterías de plomo-ácido estimadas en el país, la cual alcanza un 90% del POM², se estima pleno cumplimiento de la normativa para esta meta.
- Respecto de los beneficios, se cuantificaron tres aspectos principales: el aumento en la recolección y valorización, el ahorro por la disminución de la disposición en rellenos de seguridad y la reducción de las desamenidades³ sociales derivadas de una inadecuada disposición de residuos. En conjunto, estos beneficios se estiman en un valor presente⁴ de US\$ 56,02 millones, (ver tabla A, en donde se muestran los valores desagregados por categoría de batería).
- Respecto de los costos, se consideran; costos de recolección, transporte, pretratamiento, costos de valorización, costos de administración y costos de garantía del Sistema de Gestión. En conjunto estos costos se estiman en US\$ 32,65 millones en valor presente (ver tabla A, en donde se muestran los valores desagregados por categoría de batería).
- La evaluación de costo y beneficio del AGIES para la regulación propuesta establece que, la razón beneficio-costo es de 1,72, esto indica que por cada 1 USD invertido se generará un beneficio social de 1,72 USD.

¹ Para efectos de este anteproyecto la definición de baterías como producto prioritario incluye únicamente aquellas que poseen un peso mayor a 5 kilogramos.

² POM es la sigla en inglés de puesto en el mercado (Placed on Market).

³ Se entiende por desamenidad, a cualquier factor indeseable que reduce el bienestar, empeora la calidad de vida, o genera un impacto negativo en el valor de un lugar.

⁴ Considera un período de 10 años y una tasa social de descuento del 5,5%.

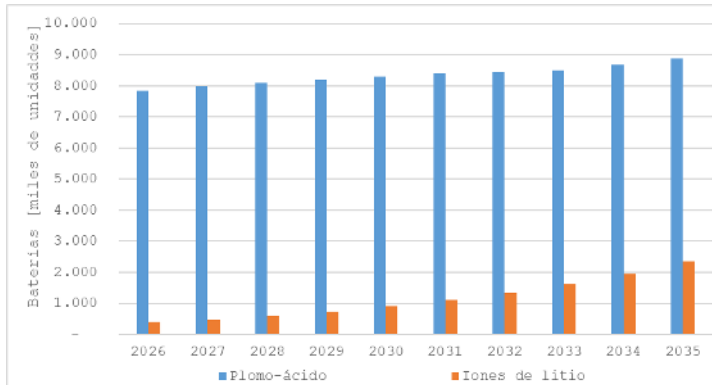


Figura A. Proyección de baterías por categoría (miles de unidades)

Se espera que la cantidad de baterías de plomo-ácido que entran al mercado aumenten levemente año a año, en contraposición con las baterías de iones de litio, para las cuales se espera un crecimiento en la cantidad puesta en el mercado en los próximos años, esto impulsado en gran parte por la electromovilidad.

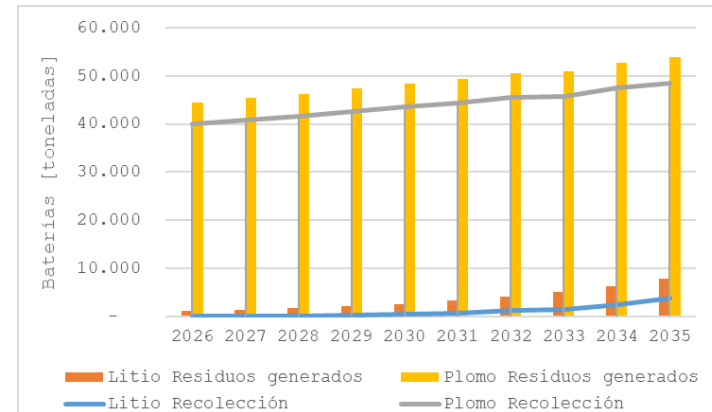


Figura B. Generación y recolección de residuos de baterías.

La implementación de metas de recolección para baterías de iones de litio (línea azul) y baterías de plomo-ácido (línea gris) tendrá efectos únicamente sobre las baterías de iones de litio, puesto que actualmente la recolección de baterías de plomo-ácido ya alcanza los niveles propuestos por las metas.

Categoría batería	Iones de litio	Plomo-ácido	Total
Beneficios	56,02	0	56,02
Costos	32,65	0	32,65
Razón B/C	1,72	N/A	1,72

Tabla A. Costos y beneficios en valor presente.

La tabla A muestra en valor presente en millones de dólares [MM USD], utilizando una tasa de descuento del 5.5% (MIDESO, 2024), los beneficios, costos y la razón beneficio-costos para el cumplimiento de metas de cada producto prioritario evaluado.

Dado que, las actuales tasas de recolección de baterías de plomo-ácido se encuentran en cumplimiento, se estima que el costo y beneficio asociado a la normativa para estas baterías corresponde a cero.



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL Del DECRETO SUPREMO
QUE ESTABLECE METAS DE RECOLECCIÓN Y VALORIZACIÓN Y OTRAS
OBLIGACIONES ASOCIADAS DE BATERÍAS

Enero de 2026

Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de colaborar en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental. En particular, de acuerdo con lo establecido en el artículo 70 letra g) de la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, le corresponde proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos. En este contexto, el año 2016 se publicó la Ley N°20.920, Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. En particular, la Ley N°20.920 permite al MMA, a través de la promulgación de decretos, establecer instrumentos para prevenir la generación de residuos y promover su valorización.

De acuerdo con el artículo 3 número 20), los productos prioritarios de definen de la siguiente manera: sustancia u objeto que una vez transformado en residuo, por su volumen, peligrosidad o presencia de recursos aprovechables, queda sujeto a las obligaciones de la responsabilidad extendida del productor, en conformidad a esta ley. Actualmente se consideran como productos prioritarios los aceites lubricantes, textiles, pilas, aparatos eléctricos y electrónicos, envases y embalajes, neumáticos, diarios y revistas y baterías, estas últimas objeto de esta evaluación. Según el artículo 4 letra d) de la Ley N°20.920, dentro de estos instrumentos se deberán establecer mecanismos de separación en origen y recolección selectiva de residuos.

Al respecto, y de acuerdo con lo mandatado por la Ley N°20.920 (artículo 4 inciso tercero letra a, que hace alusión a los contenidos del reglamento asociados al procedimiento de elaboración de este tipo de decretos), se requiere de la realización de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de las propuestas regulatorias de mecanismos de recolección selectiva de residuos. Dicho AGIES debe servir como apoyo a los procesos de Participación Ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones relacionadas al Proyecto Definitivo del Decreto Supremo, enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS). Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental (DEA) del MMA. El proceso de elaboración del Decreto Supremo, desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

- AGIES del Anteproyecto (A-AP) para apoyar el proceso de participación ciudadana, y
- Actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo (A-PD), que corresponde a la revisión de los valores del AGIES del Anteproyecto, según los cambios establecidos después del proceso de PAC para apoyar al CMS en la toma de decisión.

Figura 1: Etapas del AGIES



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento corresponde a una evaluación de costos y beneficios del Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1) del Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización del producto prioritario "Baterías".

En este análisis, y según la mejor información disponible, se evalúa el cumplimiento de las metas propuestas en el Anteproyecto de Decreto Supremo. Se estiman los beneficios económicos, sociales y ambientales estimados del cumplimiento de las metas de recolección y valorización propuestas en el Anteproyecto, y se estiman los costos que implican la implementación de estas metas.

Es importante señalar que estos documentos son un apoyo para la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de PAC, el consejo consultivo (CC) y el CMS, por lo cual no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación. Tanto el AGIES del Anteproyecto como la actualización de costos y beneficios del Proyecto Definitivo corresponden a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión. Otros antecedentes corresponden a, por ejemplo, antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación.

Los resultados presentados corresponden a las exigencias indicadas en el Anteproyecto a la fecha de cierre de este informe, las que podrían sufrir modificaciones en la elaboración del proyecto definitivo.

Índice

1	Antecedentes	8
2	Metodología General	13
2.1	Metodología Especifica para la estimación de costos y beneficios para Baterías	14
2.2	Línea base.....	18
2.2.1	Proyección de la línea base de baterías	19
2.3	Residuos de Baterías.....	21
2.4	Recolección, Valorización y Distribución de residuos de baterías.....	23
3	Resultados	25
3.1	Línea base.....	25
3.1.1	Estimación del PoM.....	25
3.1.2	Estimación residuos generados	26
3.2	Toneladas recolectadas y valorizadas.....	28
3.3	Aumento de las instalaciones asociadas a pretratamiento.....	31
3.4	Resultados económicos.....	31
3.4.1	Costos	31
3.4.2	Beneficios	32
3.5	Análisis de Costos y Beneficios.....	33
4	Referencias	34
Anexo A	Línea Base	36
Anexo B	Modelación y estimación de Costos	42
Anexo C	Modelación y estimación de Beneficios	49

Índice de Tablas

Tabla 1 Metas establecidas en el decreto consideradas para la elaboración del AGIES	9
Tabla 2 Costos y Beneficios derivados del cumplimiento de la regulación para baterías	17
Tabla 3 Categorías de baterías identificadas	18
Tabla 4 Categorías de baterías, según códigos arancelarios del Servicio Nacional de Aduanas	19
Tabla 5 Metas por año y categoría establecidas en el decreto	24
Tabla 6 Metas de recolección y valorización de baterías de iones de litio	24
Tabla 7 Proyección PoM baterías por categoría y uso principal (unidades)	25
Tabla 8 Proyectos de almacenamiento a enero de 2025	26
Tabla 9 Proyección residuos generados de baterías de plomo-ácido en miles de toneladas	27
Tabla 10 Proyección residuos generados de baterías de iones de litio en miles de toneladas	28
Tabla 11 Línea base de valorización de baterías por categoría	29
Tabla 12 Distribución de recolección adicional respecto de línea base, en toneladas por año	30
Tabla 13 Cantidad acumulada de instalaciones de recolección y almacenamiento .	31
Tabla 14 Resumen de costos por recolección y valorización de baterías, en valor presente y Millones de USD.	32
Tabla 15 Resumen de beneficios por recolección y valorización de baterías, en valor presente y MM USD.	32
Tabla 16 Resumen de resultados	33
Tabla B-1: Costos medios de recolección por categoría de batería, zona y método de recolección (USD/ton)	42
Tabla B-2: Costos medios de pretratamiento según categoría de batería y zona de recolección (USD/ton)	43
Tabla B-3: Costos medios de transporte según categoría de batería y zona de recolección (USD/ton)	44
Tabla B-4: Parámetros de beneficios unitarios por reciclaje o reutilización (USD/ton)	45
Tabla B-5: Parámetros de costos unitarios para Instalaciones de Recepción y Almacenamiento de residuos	47
Tabla C-1: Parámetros de beneficios unitarios por reciclaje o reutilización (USD/ton)	50
Tabla C-2: Disposición a pago (DAP) unitaria por aumento en un punto porcentual de la tasa de reciclaje de P+AEE (clp/persona al mes)	51

Índice de figuras

Figura 1: Etapas del AGIES	4
Figura 2 Metodología general utilizada en el AGIES	13
Figura 3 Ciclo de vida del producto prioritario Baterías	15
Figura 4: Proyección de cantidad de baterías para el periodo de evaluación...	20
Figura 5: Distribución de probabilidad para tasa de falla de una batería de iones de litio vendida en 2014	22
Figura 6 Comparación recolección entre escenarios	29
Figura 7 Baterías de iones de litio recolectadas y valorizados en escenario regulatorio	30

1 Antecedentes

El presente documento corresponde al AGIES del Anteproyecto del Decreto Supremo que establece las Metas de Recolección y Valorización y de otras obligaciones asociadas al producto prioritario *Baterías*. Estos productos se definen como prioritarios⁵ en la Ley 20.920, la que tiene por objetivo incorporar la recolección y valorización⁶ de estos y otros productos prioritarios, fomentando el reciclaje y entregando la responsabilidad a productores e importadores de los productos en dicha categoría.

En el Anteproyecto se establecen las metas de recolección y valorización y obligaciones asociadas a Baterías, estableciéndose metas para baterías de plomo-ácido y de iones de litio. Para las estimaciones, elaboración de escenarios y producción de este AGIES se tomaron en consideración aspectos del Anteproyecto, lo que incluye las metas de recolección y otros aspectos relevantes para la modelación matemática, los que se resumen en la Tabla 1.

⁵ Productos escogidos y priorizados frente a otros por poseer alguna o varias de las siguientes características: Ser de un consumo masivo, por el volumen significativo de sus desechos, por ser residuos peligrosos para la salud de las personas y/o el medio ambiente, por ser factible su valorización, y por existir una regulación comparada de referencia.

⁶ Se entiende como valorización el conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y, o el poder calorífico de los mismos.

Tabla 1 Metas establecidas en el decreto consideradas para la elaboración del AGIES

Principales consideraciones	Propuesta Anteproyecto																						
Metas de recolección y valorización de baterías de plomo-ácido	Artículo 18.- los productores de baterías de plomo-ácido estarán obligados a cumplir, a través de un sistema de gestión, con las siguientes metas de recolección y valorización.: <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Meta baterías plomo-ácido</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Primer año</td><td>50%</td></tr> <tr> <td>Segundo año</td><td>50%</td></tr> <tr> <td>Tercer año</td><td>60%</td></tr> <tr> <td>Cuarto año</td><td>60%</td></tr> <tr> <td>Quinto año</td><td>70%</td></tr> <tr> <td>Sexto año</td><td>70%</td></tr> <tr> <td>Séptimo año</td><td>80%</td></tr> <tr> <td>Octavo año</td><td>80%</td></tr> <tr> <td>A contar del noveno año</td><td>90%</td></tr> </tbody> </table>	Meta baterías plomo-ácido		Primer año	50%	Segundo año	50%	Tercer año	60%	Cuarto año	60%	Quinto año	70%	Sexto año	70%	Séptimo año	80%	Octavo año	80%	A contar del noveno año	90%		
Meta baterías plomo-ácido																							
Primer año	50%																						
Segundo año	50%																						
Tercer año	60%																						
Cuarto año	60%																						
Quinto año	70%																						
Sexto año	70%																						
Séptimo año	80%																						
Octavo año	80%																						
A contar del noveno año	90%																						
Metas de recolección y valorización de baterías de iones de litio	Artículo 20.- Los productores de baterías de iones de litio estarán obligados a cumplir a través de un sistema de gestión, con las siguientes metas de recolección y valorización. Al menos un 30% de la meta de valorización deberá ser cumplida a través de la preparación para la reutilización. <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Meta baterías iones de litio</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Primer año</td><td>-</td></tr> <tr> <td>Segundo año</td><td>-</td></tr> <tr> <td>Tercer año</td><td>10%</td></tr> <tr> <td>Cuarto año</td><td>10%</td></tr> <tr> <td>Quinto año</td><td>20%</td></tr> <tr> <td>Sexto año</td><td>20%</td></tr> <tr> <td>Séptimo año</td><td>30%</td></tr> <tr> <td>Octavo año</td><td>30%</td></tr> <tr> <td>Noveno año</td><td>40%</td></tr> <tr> <td>A contar del décimo año</td><td>50%</td></tr> </tbody> </table>	Meta baterías iones de litio		Primer año	-	Segundo año	-	Tercer año	10%	Cuarto año	10%	Quinto año	20%	Sexto año	20%	Séptimo año	30%	Octavo año	30%	Noveno año	40%	A contar del décimo año	50%
Meta baterías iones de litio																							
Primer año	-																						
Segundo año	-																						
Tercer año	10%																						
Cuarto año	10%																						
Quinto año	20%																						
Sexto año	20%																						
Séptimo año	30%																						
Octavo año	30%																						
Noveno año	40%																						
A contar del décimo año	50%																						
Obligación de instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos de baterías.	Artículo 26.- Especificación del rol y las responsabilidades de los sistemas colectivos de gestión. Instalaciones de recepción y almacenamiento. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Plazo Cumplimiento</th><th>Criterio poblacional</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Primer año de cumplimiento de metas</td><td>Comunas con población superior a 500.000</td></tr> <tr> <td>Segundo año</td><td>Todas las capitales regionales del país</td></tr> <tr> <td>Tercer año</td><td>Comunas con población superior a 200.000</td></tr> <tr> <td>Quinto año</td><td>Comunas con población superior a 100.000</td></tr> </tbody> </table> Cada sistema colectivo de gestión deberá habilitar y operar, a través de uno o más gestores, instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos de baterías en las comunas y plazos que se indican.	Plazo Cumplimiento	Criterio poblacional	Primer año de cumplimiento de metas	Comunas con población superior a 500.000	Segundo año	Todas las capitales regionales del país	Tercer año	Comunas con población superior a 200.000	Quinto año	Comunas con población superior a 100.000												
Plazo Cumplimiento	Criterio poblacional																						
Primer año de cumplimiento de metas	Comunas con población superior a 500.000																						
Segundo año	Todas las capitales regionales del país																						
Tercer año	Comunas con población superior a 200.000																						
Quinto año	Comunas con población superior a 100.000																						

Fuente: Elaboración propia.

Existen otras exigencias que el decreto incorpora que son relevantes a la hora de estimar los resultados del AGIES, pues son parte fundamental de la simulación de la situación con proyecto. A continuación, se detallan los artículos en cuestión y las definiciones consideradas:

Artículo 19.- Cumplimiento de metas de recolección y valorización de residuos de baterías de la categoría de plomo-ácido.

Para cada sistema de gestión⁷, el porcentaje de valorización de baterías de plomo-ácido que permitirá establecer el cumplimiento de metas se determinará por la siguiente fórmula:

$$PCpb_i = 100 * \frac{(VSGpb_i + VCIpb_i)}{\text{Promedio TIMpb}_{3 \text{ años}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

PCpb_i: corresponde al porcentaje de valorización de baterías de plomo-ácido que el sistema de gestión alcanzó el año "i";

VSGpb_i: corresponde al total de toneladas de residuos de baterías de plomo-ácido valorizado por el sistema de gestión en el año "i".

VCIpb_i: corresponde al total de toneladas de residuos de baterías de plomo-ácido valorizadas en el año "i" por:

- i. Los consumidores industriales que hayan optado por el literal b.1) del Artículo 17 del Anteproyecto, en la proporción que corresponde al respectivo sistema de gestión; y,
- ii. Los consumidores industriales que hayan optado por el literal b.2) del Artículo 17 del Anteproyecto, en cuyo nombre y representación informa el respectivo sistema de gestión.

Promedio TIMpb_{3 años}: corresponde al promedio de toneladas de baterías de plomo-ácido introducidas en el mercado por parte de él o los productores que integran el respectivo sistema de gestión durante los tres años inmediatamente anteriores al año "i". Es decir, el promedio de toneladas introducidas en el mercado los años "i-1", "i-2" e "i-3".

En todos los casos, para el cálculo de "TIMpb_{3 años}", no deberán considerarse las baterías de segunda vida, valorizadas a través de la preparación para la reutilización, que hayan sido contabilizadas para el cumplimiento de metas de valorización, e ingresen nuevamente en el mercado nacional.

⁷ Organización, colectiva o individual, creada y financiada por productores de productos prioritarios para recolección y valorización de residuos generados

Artículo 21.- Cumplimiento de metas de recolección y valorización de residuos de baterías de la categoría iones de litio.

Para cada sistema de gestión, el porcentaje de valorización de baterías de iones de litio que permitirá establecer el cumplimiento de metas se determinará por la siguiente fórmula:

$$PCLI_i = 100 * \frac{(VSGli_i + VCli_i)}{W_i(PoM,V)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$PCLI_i$: corresponde al porcentaje de valorización de baterías de iones de litio que el sistema de gestión alcanzó el año "i";

$VSGli_i$: corresponde al total de toneladas de residuos de baterías de iones de litio valorizado por el sistema de gestión en el año "i".

$VCli_i$: corresponde a al total de toneladas de residuos de baterías de iones de litio valorizadas el año "i" por:

- i. Los consumidores industriales que hayan optado por el literal b.1) del artículo 17, en la proporción que corresponda al respectivo sistema de gestión; y,
- ii. Los consumidores industriales que hayan optado por el literal b.2) del artículo 17, en cuyo nombre y representación informa el respectivo sistema de gestión.

$W_i(PoM,V)$: corresponde a una estimación de la cantidad de toneladas de residuos de baterías generados el año "i", en función de las toneladas de baterías introducidas en el mercado durante los años anteriores por el o los productores que componen el sistema de gestión (PoM^8) y su vida útil estimada (VP), y se calculará de la siguiente forma:

$$W_i(PoM,V) = \sum_{t=t_0}^i POM(t) \times VP(t,i) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

i : corresponde al año de cálculo de la estimación.

t_0 : corresponde al primer año de vigencia de la obligación de informar del artículo segundo transitorio de la Ley.

$POM(t)$: corresponde a las toneladas de baterías de iones de litio introducidas en el mercado el año "t".

$VP(t,i)$: corresponde a una estimación de la tasa a la cual se convierten en residuos en el año "i", las baterías de iones de litio introducidas al mercado el año "t".

⁸ Puesto en el mercado (*Placed on Market*)

$VP(t,i)$ corresponde a una “distribución de Weibull” y se calcula de la siguiente forma:

$$VP(t,i) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} (i - t)^{\alpha-1} e^{-[(i-t)/\beta]^\alpha} \quad \text{Ecuación 4}$$

Los valores de α y β , que corresponden al “parámetro de forma” y el “parámetro de escala” de la distribución de Weibull, serán los siguientes para baterías de iones de litio:

α	3,5
β	10

El Ministerio pondrá a disposición una herramienta informática para facilitar el cálculo de $W_i(PoM,V)$, en un plazo de 6 meses contados desde la publicación del Decreto.

En todos los casos, para el cálculo de “ $POM(t)$ ”, no deberán considerarse a las baterías de segunda vida valorizadas a través de la preparación para la reutilización, hayan sido contabilizadas para el cumplimiento de metas de valorización, e ingresen nuevamente en el mercado nacional.

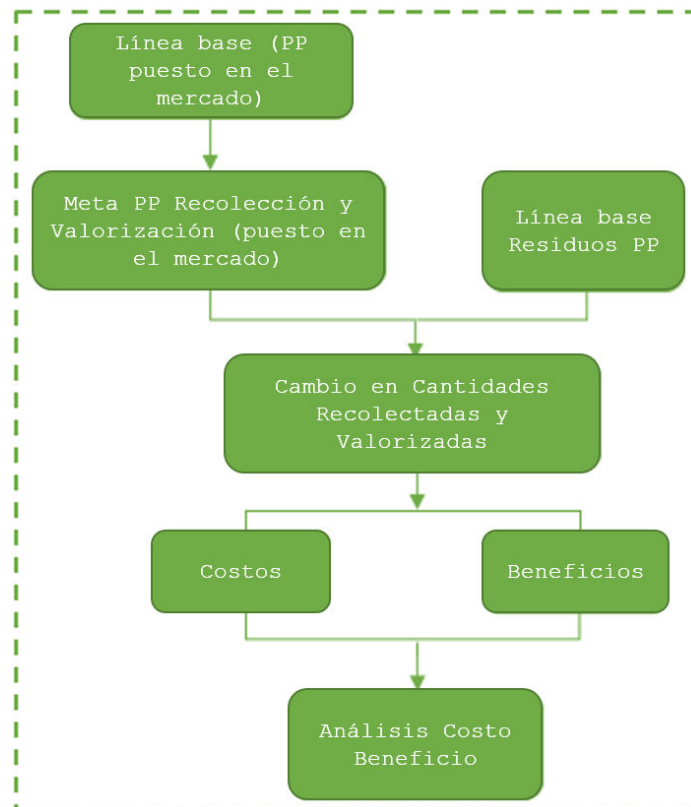
2 Metodología General

La metodología empleada en la elaboración del AGIES corresponde a un Análisis Costo-Beneficio (ACB) mediante el cual se generan indicadores que buscan representar los potenciales impactos de una política pública, proporcionando antecedentes tendientes a mejorar la toma de decisiones durante el proceso normativo.

En la Figura 2 se muestra un esquema de la metodología general para un ACB asociado a metas de recolección y valorización. La definición de metas implica un cambio en la cantidad de residuo del Producto Prioritario (PP) regulado destinada a la recolección y valorización. El AGIES evalúa la diferencia entre la "línea base"- *situación actual proyectada sin la implementación de la política, o situación sin "hacer nada"*- y la compara con la situación al implementarse la regulación- meta de recolección y valorización.

Luego, los indicadores son elaborados utilizando una serie de análisis o modelos que permiten relacionar cambios en la cantidad de residuos recolectados y/o valorizados con beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados por la regulación. En otras palabras, el análisis se realiza considerando el impacto adicional que genera la normativa respecto de la situación sin intervención (línea base).

Figura 2 Metodología general utilizada en el AGIES



Fuente: Elaboración propia.

Las etapas secuenciales de un ACB consisten en identificación, cuantificación y valoración de los impactos (Lave & Gruenspecht, 1991). De los impactos que pueden ser identificados, sólo algunos pueden ser cuantificados y de aquellos, pocos pueden ser valorados. La diferencia entre la cuantificación y la valoración de los impactos recae en que la valoración implica asignar un valor -económico o no económico- al impacto cuantificado, ya sean costos o beneficios.

Los beneficios valorados, para el caso de baterías, corresponden a la reducción de la disposición inadecuada de sus residuos, ingresos por recepción de estos en las instalaciones de valorización y venta de productos provenientes de los componentes por separado. Por otra parte, los costos valorados corresponden a los de transporte del residuo, tratamiento (valorización y eliminación), aumento de capacidad de tratamiento y costos vinculados a la administración de un sistema de gestión y de fiscalización que realiza el órgano competente en la materia.

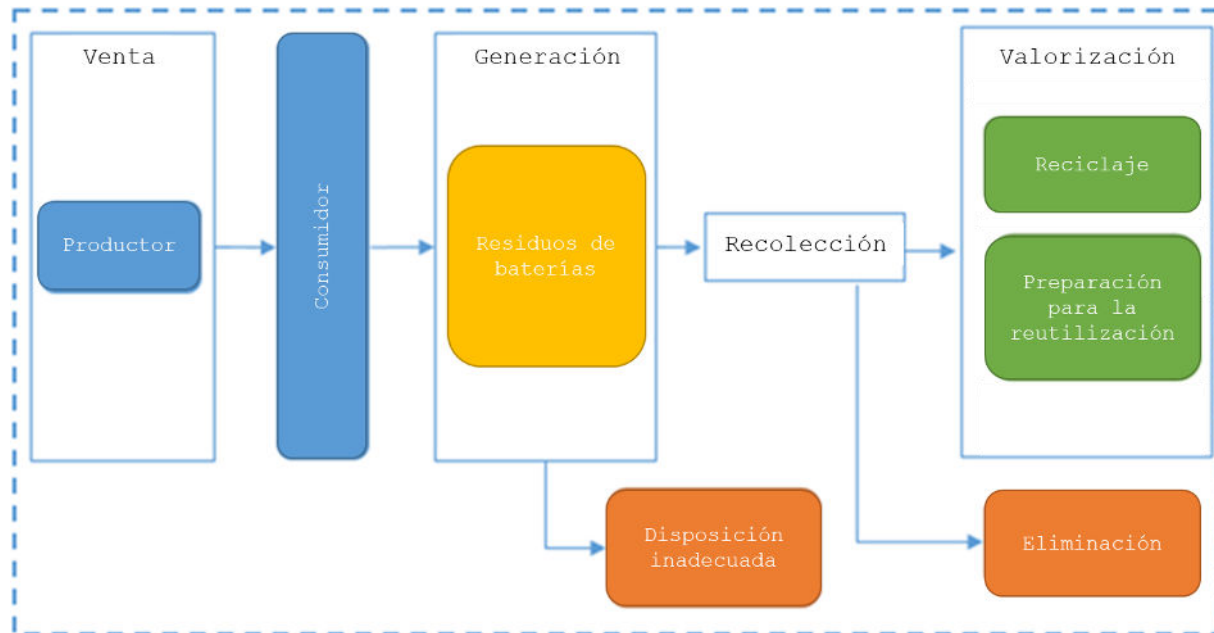
2.1 Metodología Especifica para la estimación de costos y beneficios para Baterías

La Figura 3 representa de forma más detallada la conceptualización de la implementación de esta política pública y las actividades que darán origen a costos y beneficios. Estas actividades, así como los efectos que puedan tener sobre la salud se evalúan mediante el ACB empleado por el AGIES para estimar sus impactos.

En una primera etapa se identifican los productores y consumidores de baterías, luego se cuantifican los residuos generados derivados de la implementación de la regulación (metas) y se comparan con una línea base, para luego valorizar los costos de disposición inadecuada, eliminación, y de valorización, contraponiéndolos con los beneficios obtenidos por la recuperación de materia prima y la reducción de desamenidades asociadas a una menor disposición no adecuada.

La determinación de los escenarios se basa en la Figura 3, que muestra una representación del ciclo de vida de las baterías. Ambos escenarios son iguales hasta la generación de residuos, dado que no se espera que la regulación tenga efectos sobre la cantidad de baterías que se comercian y por ende tampoco sobre los residuos que se generan. A partir de este punto los escenarios comienzan a divergir, dado que las cantidades recolectadas y valorizadas si serán diferentes entre escenarios producto de las metas propuestas. Para el escenario regulado se plantea que un 30% de las baterías de iones de litio recolectadas deberán ser valorizadas mediante preparación para la reutilización, aspecto que también deberá ser evaluado.

Figura 3 Ciclo de vida del producto prioritario Baterías



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la situación actual se debe estimar la cantidad de baterías introducidas en el mercado, los residuos generados y las cantidades recolectadas y valorizadas. Además, debido a que los consumidores generarán residuos de baterías a lo largo del territorio nacional, se debe determinar la situación actual considerando su distribución geográfica.

para través de una simulación matemática se evalúa que determinación tomará el regulador, quien definirá el qué, el cómo y el cuándo, de la regulación; y el regulado, que se verá obligado a cumplir con lo dispuesto por el regulador y decidirá desde su perspectiva la mejor forma de cumplir con la regulación.

Se asume que el regulado buscará cumplir incurriendo en la recolección de aquellos residuos disponibles en el mercado a través de la minimización del costo neto (enfoque costo eficiencia) considerando en su decisión tanto los costos como los beneficios económicos que recolectar, es decir:

min Costo neto del cumplimiento (toneladas)

Ecuación 5

$$\sum \text{toneladas valorizadas} = \text{Meta de valorización} - \text{Línea Base de valorización}$$

Específicamente, y dado que es función del AGIES comparar la situación actual con la situación con proyecto, el modelo de cumplimiento considera que las toneladas valorizadas deben igualar a la diferencia entre las toneladas a valorizar indicadas por la regulación y las que son valorizadas en la situación actual (tasa de valorización de línea base).

El modelo considera como exógenas (determinadas por el regulador) una serie de obligaciones que el regulado está forzado a cumplir en la forma planteada, lo que restringe las variables que puede modificar al minimizar los costos del cumplimiento.

Del modelo de cumplimiento planteado derivan los costos y beneficios que implicará la implementación de la regulación; en particular el problema de minimización determina los costos de recolección y transporte, mientras que los demás costos y la totalidad de los beneficios dependen directamente de la regulación planteada, es decir, del delta de toneladas a recolectar y valorizar. El detalle de los parámetros considerados, fuentes de información y forma de cálculos tanto de los costos como de los beneficios se detalla en los Anexos B y C.

Como señala la metodología general de AGIES, es posible identificar costos y beneficios económicos, ambientales y sociales, ligados a cada una de las etapas al ciclo de vida del producto prioritario. Sin embargo, por ser el objeto del modelo el análisis de los impactos asociados a la regulación que establece metas de recolección y valorización, sólo se consideran como relevantes aquellos directamente motivados por esta, esto es, únicamente los costos y beneficios asociados a las etapas de recolección y valorización.

La evaluación realizada identifica, cuantifica y valoriza, cuando es posible, los costos y beneficios detallados en la Tabla 2.

Tabla 2 Costos y Beneficios derivados del cumplimiento de la regulación para baterías

	Valorizados	No valorizados
Costos	• Costos por mayor recolección • Costos por mayor monitoreo y fiscalización • Costos por mayor pretratamiento • Costos por mayor valorización • Costos por mayor preparación para reutilización • Costos por mayor disposición de rechazos en rellenos sanitarios o de seguridad • Costos por mayor transporte a instalaciones de valorización • Costos por obligaciones asociadas • Costos por aumento de capacidad instalada	
Beneficios	• Beneficios por mayor ingreso por venta de residuos valorizados • Beneficio por obtención de baterías de segunda vida • Beneficios por menor desamenidad asociada a la mayor recolección y valorización de residuos. • Beneficio (ahorro) por no uso de relleno de seguridad.	• Beneficios sociales por mayor generación de empleos • Beneficios ambientales por menor riesgo de incendios u otras contingencias en rellenos sanitarios • Beneficios por disminución de microbasurales e impactos asociados • Aumento de la conciencia social respecto de la problemática ambiental • Beneficios por incentivos a la economía circular • Beneficios por relocalización de los recursos públicos liberados • Beneficios por menores emisiones de CO₂ equivalente asociadas a la extracción de materia prima virgen • Beneficios por conservación de recursos naturales no renovables • Beneficios por evitar la mala disposición de ácidos, plomo y litio

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Línea base

La estimación de efectos de la normativa es función de la diferencia que se produce entre el escenario normado y el escenario actual, también denominado línea base. El primer paso es determinar el escenario base, significa estimar cuántos residuos se generan y cuántos de estos se recolectan y valorizan sin la aplicación de la política evaluada.

Debido a que la política no incentiva un cambio en el consumo, sino que, en la recolección y la valoración, la cantidad residuos generados será igual para ambos escenarios (línea base y situación con proyecto), por lo que la diferencia entre los escenarios está dada por la recolección y valorización. A su vez, la cantidad de residuos generados es función de la cantidad de baterías que existen en el país en un momento dado, puesto que serán esos los que se conviertan en residuos. Para esto se trabaja con la cantidad de baterías que serán puestas en el mercado (PoM), para lo cual es necesario primero identificar y agruparlos de acuerdo con lo que se presenta en la Tabla 3. Esta tabla se utilizará para vincular los residuos con las metas a cumplir.

Tabla 3 Categorías de baterías identificadas

Categoría	Principales consideraciones
Arranque	Las baterías de arranque cumplen la función de comenzar la combustión de un motor de combustión interna, pero no cumplen la función de entregar energía para la propulsión misma. Son baterías de plomo-ácido.
Tracción	Baterías de las cuales se extrae energía para la propulsión de vehículos. Se espera un alza en las baterías de este tipo con el aumento de electromovilidad. Son baterías de iones de litio.
Estacionaria	Son baterías que se mantienen fijas en su posición. Su objetivo es el almacenamiento energético para emergencias, comunicaciones, alarmas, entre otros. Almacenamiento energético en plantas de generación eléctrica también forman parte de este tipo de baterías. Esto incluye las baterías en generación eléctrica de menor escala, como puede ser la domiciliaria mediante paneles fotovoltaicos. Inicialmente de plomo, pero ya se encuentran en sustitución por tecnologías de iones de litio, las que resisten de mejor manera los ciclos de carga y descarga continuos.

Fuente: DICTUC, 2021.

El producto prioritario baterías es enajenado en el mercado por productores importadores. No se identifica producción local. Asimismo, pueden registrarse exportaciones de baterías hacia otros países. La cantidad de producto prioritario (en toneladas) que se considera como puesto en el mercado cada año puede expresarse como:

$$BAT_t^N = N_t^{NP} + N_t^{Imp} - N_t^{Ex}$$

Ecuación 6

Donde:

BAT_t^N : ventas totales de baterías en el año t [ton].

N_t^{NP} : producción nacional de baterías en el año t [ton]. Este aspecto puede resultar relevante en evaluaciones futuras en caso de desarrollarse la industria de producción local. Para el caso actual tiene un valor nulo.

N_t^{Imp} : importaciones promedio de baterías en el año t [ton].

N_t^{Ex} : exportaciones promedio de baterías en el año t [ton].

Considerando datos oficiales de comercio exterior, se estima el crecimiento de PoM de baterías, utilizando datos de aduanas y proyecciones de crecimiento poblacional del Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Para el caso de aduanas es necesario indicar que la información que se tiene es la cantidad unitaria de baterías que entran, pero se carece de información respecto del peso de estas. Las baterías se agrupan a través de 8 códigos arancelarios distintos, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4 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: DICTUC 2021, en base a datos del Servicio Nacional de Aduanas.

Para efectos del presente AGIES, se estima que todas las baterías descritas en la Tabla 4 serán consideradas en la evaluación- todas ellas cumplen con la definición de batería establecida por el decreto.

2.2.1 Proyección de la línea base de baterías

En esta sección se presenta la metodología utilizada para estimar el PoM de baterías, el cual sigue la lógica planteada anteriormente.

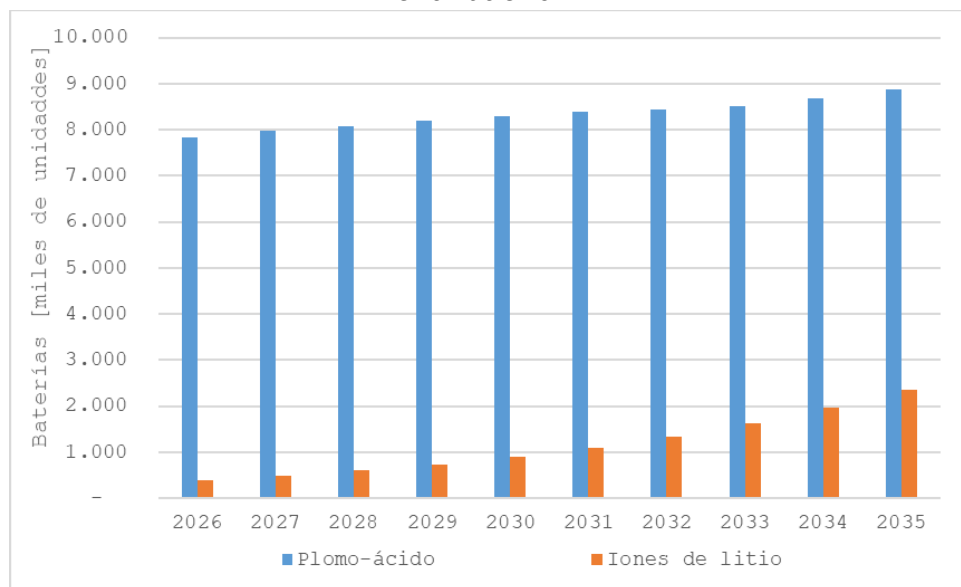
Dado que Chile no es un país en el que se fabriquen baterías, el PoM está basado en datos de importaciones y exportaciones, tanto de baterías individuales como, para aquellas que vengan incorporadas en vehículos u otros.

Para la elaboración de la línea base se debe tener en cuenta la ubicación de las baterías al momento de convertirse en residuos, ya que esto influye en los costos de recolección, transporte y valorización. Para el caso de las baterías estacionarias se considera la capacidad instalada de almacenamiento energético⁹ y su ubicación a lo largo del país. Se trabaja con el supuesto de que las nuevas baterías estacionarias se ubicarán en las mismas comunas en donde hoy existen baterías estacionarias. Para el caso de baterías provenientes de vehículos, sean estas para arranque o tracción, se trabaja con el supuesto de que las baterías se encontrarán según la distribución de la flota vehicular, la cual se estima en función de la población a nivel comunal.

Debido a que la normativa solo considera baterías de un peso igual o mayor a 5 kilogramos, DICTUC, 2021, levanta información que tiene por objetivo estimar los pesos de baterías de acuerdo con su uso, lo que permite desagregarlas, esto se puede observar en la Tabla A-4 y en la Tabla A-5.

En la estimación del PoM presente en la Figura 4 no se incluyen las baterías de peso menor a lo indicado, lo que deja fuera las baterías de arranque de motocicletas y las de tracción de micromovilidad, como en el caso de los scooters y bicicletas eléctricas. También quedarían fuera algunas baterías estacionarias de respaldo.

Figura 4: Proyección de cantidad de baterías¹⁰ para el periodo de evaluación



Fuente: elaboración propia, en base a DICTUC 2021.

⁹ Proyectos de almacenamiento energético con baterías en etapa de evaluación, construcción y operación.

¹⁰ Se excluyen las baterías de peso menor a lo definido por el decreto, lo que deja fuera las baterías de arranque de motocicletas y las de tracción de micromovilidad, como en el caso de los scooters y bicicletas eléctricas. También quedarían fuera algunas baterías estacionarias de respaldo.

2.3 Residuos de Baterías

Para la estimación de los residuos de baterías se utiliza el método de oferta de mercado (o de ventas), el que establece que una batería puesta en el mercado se transformará en residuo en un momento futuro de acuerdo a su vida útil. Este método es ampliamente usado por organismos internacionales, incluyendo la EPA y Unión Europea (E2Biz, 2019a).

Matemáticamente, es posible plantear el método como:

$$RBat_{n,t} = Bat_{n,t}^N(t - ls_n) \quad \text{Ecuación 7}$$

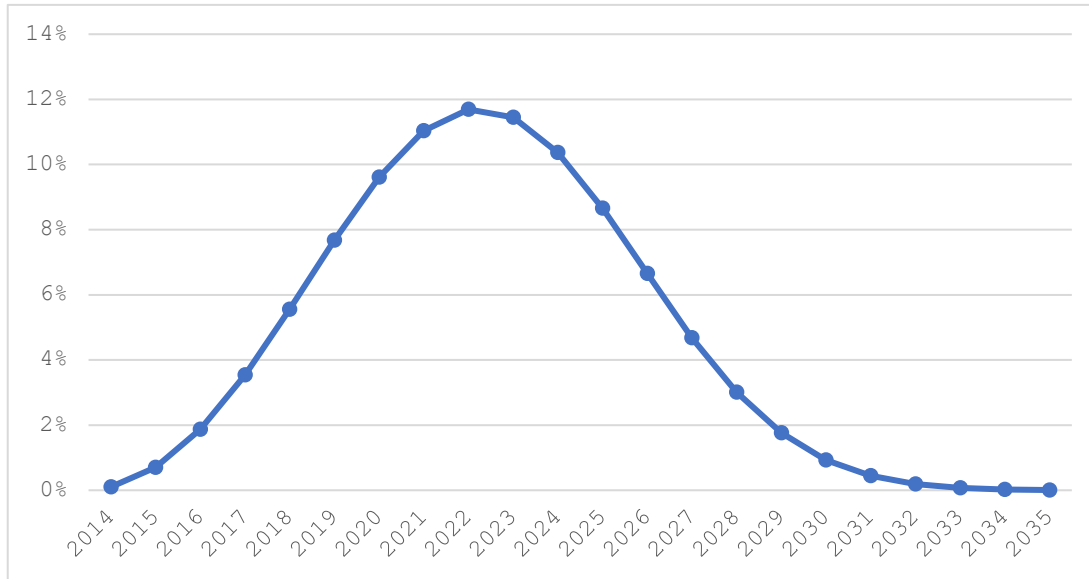
Donde,

- $Rbat_{n,t}$: cantidad de residuos de baterías de categoría n^{11} generados en el año t [ton/año].
- $AEEP_{n,t}^N$: ventas totales de baterías de categoría n en el año t [ton/año]. Incluye baterías incorporadas a vehículos, ya sea para arranque o tracción.
- ls_n : esperanza de vida (vida útil) de la batería de categoría n [años].

La vida útil de las distintas baterías ha sido estimada de manera internacional mediante datos empíricos, y para el caso de las baterías de iones de litio se considera la teoría estadística de distribución *Weibull*, dada la mayor vida útil de este tipo de baterías por sobre las de plomo-ácido. Para las baterías de plomo-ácido no se trabaja con vida útil esperada por batería, pero sin una distribución estadística.

¹¹ Las categorías pueden ser baterías de iones de litio o baterías de plomo-ácido. No se consideran otras tecnologías.

Figura 5: Distribución de probabilidad para tasa de falla de una batería de iones de litio vendida en 2014



Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo se muestra la distribución de probabilidad de la tasa de falla estimada para una batería de iones de litio vendida en 2014. Es posible observar, de acuerdo a lo estimado, que la totalidad de baterías de iones de litio vendidas en 2014 se convertirán en residuos a distintas tasas durante un largo periodo de tiempo, superando incluso los 20 años desde su venta. Considerando esto, se tiene que, la generación de residuos de baterías de iones de litio para un año determinado corresponderá a una distribución probabilística de los residuos que se generarían producto de las baterías que se vendieron en años anteriores, pero dada la distribución de Weibull utilizada, también se espera que una proporción menor de las baterías vendidas en un año determinado se conviertan en residuos ese mismo año.

Luego, las toneladas de baterías que se generan de manera anual, considerando aquellas puestas en el mercado estarán dadas por:

$$RBat_{T,n} = \sum_{t=0}^{t=T} Bat_{t,n} * TF_{(T-t)} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$RBat_{T,n}$: total de residuos de baterías generados en el año T por categoría n de batería [ton].

$Bat_{t,n}$: ventas totales de baterías en el año t por categoría n de batería [ton].

$TF_{(T-t),n}$: tasa de falla¹² de productos prioritarios en el año T-t de funcionamiento por categoría n de batería. Para baterías de iones de litio se utiliza una distribución de Weibull para definir la tasa de fallo para cada año, en función del año de venta. Para baterías de plomo-ácido se utiliza un valor fijo por tipo de batería y no una distribución.

Es importante señalar que esta metodología para la estimación de residuos supone dos hechos: i) el inicio de la condición de residuo ocurre en el mismo momento en que finaliza la vida útil, y ii) no se considera que las tasas de fallas de los productos puedan variar al largo del tiempo, es decir, se asumen vidas útiles constantes a lo largo del periodo de evaluación.

2.4 Recolección, Valorización y Distribución de residuos de baterías

Las baterías son recolectadas por gestores para ser trasladados a instalaciones de pretratamiento y/o tratamiento, o bien son conducidos a su eliminación y disposición final.

Las empresas de pretratamiento, dependiendo del tipo de residuo a tratar, realizan diferentes procesos tales como limpieza, clasificación, desarme, desmantelamiento y/o trituración. Las empresas de tratamiento, por otro lado, contemplan procesos tales como la preparación para la reutilización o fundición. Por último, aquellas empresas dedicadas a su eliminación y disposición final luego del fin de la vida útil de las baterías realizan procedimientos de destrucción, eliminación y disposición final.

Para distribuir de manera geográfica tanto la generación de residuos como la línea base de recolección y valorización se trabaja con el supuesto de que las baterías de arranque y tracción serán estimadas en función de la población comunal. Para el caso de baterías estacionarias se considera información de Ministerio de Energía, 2025, en particular respecto de proyectos de almacenamiento energético que buscaban ser instalados en Chile.

La recolección de baterías debe buscar cumplir las metas de recolección propuestas, las que hacen referencia a un porcentaje de recolección respecto de los residuos generados. Se plantean metas de recolección separadas para baterías de iones de litio y para baterías de ácido-plomo (ver Tabla 5). Si bien se reconoce la existencia de baterías de otro tipo, no se establecen metas de recolección para estas.

¹² La tasa de falla considera el año evaluado y todo el resto de años anteriores, puesto que los residuos tienen vida útil mayor a un año y la generación de residuos viene en su mayoría de años anteriores.

Tabla 5 Metas por año y categoría establecidas en el decreto

	Baterías de iones de litio	Baterías de plomo
Primer año	Sin meta	50%
Segundo año	Sin meta	50%
Tercer año	10%	60%
Cuarto año	10%	60%
Quinto año	20%	70%
Sexto año	20%	70%
Séptimo año	30%	80%
Octavo año	30%	80%
Noveno año	40%	90%
A contar del décimo año	50%	90%

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2026.

De acuerdo con el artículo 20 del anteproyecto, al menos un 30% de la meta de valorización deberá ser cumplida a través de la preparación para la reutilización. El artículo no define un máximo, por lo que es posible optar a preparación para reutilización en un porcentaje mayor a 30%. Esto da libertad a las empresas para definir la mejor medida. Para este AGIES se trabaja con el 30% y no un valor mayor. Esto puede resumirse en Tabla 6.

Tabla 6 Metas de recolección y valorización de baterías de iones de litio

	Recolección baterías de iones de litio	Valorización por preparación para reutilización	Valorización por otras técnicas
Primer año	Sin meta	N/A	N/A
Segundo año	Sin meta	N/A	N/A
Tercer año	10%	3%	7%
Cuarto año	10%	3%	7%
Quinto año	20%	6%	14%
Sexto año	20%	6%	14%
Séptimo año	30%	9%	21%
Octavo año	30%	9%	21%
Noveno año	40%	12%	28%
A partir décimo año	50%	15% ¹³	35%

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2026.

¹³ Corresponde al 30% del total de baterías de iones litio recolectadas.

3 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las estimaciones realizadas por el AGIES. En primer lugar, se presenta el PoM baterías, agrupado por categorías junto con la estimación de generación de residuos en el horizonte de tiempo evaluado. Posteriormente se estima la cantidad de residuos recolectados y valorizados según el escenario normado, para finalmente estimar los costos y beneficios atribuibles a la regulación.

3.1 Línea base

3.1.1 Estimación del PoM

La Tabla 7 presenta la proyección a 10 años de la cantidad estimada de baterías puestas en el mercado en unidades, por categoría y uso principal. Es posible observar que las baterías de plomo-ácido se encuentran fuertemente ligadas a baterías para arranque, mientras que las de iones de litio están asociadas a tracción. Respecto de las estacionarias, se espera una sustitución paulatina de baterías de plomo-ácido por baterías de iones de litio.

Tabla 7 Proyección PoM baterías por categoría y uso principal (unidades)

	Plomo-ácido			Iones de litio		
	Arranque	Tracción	Estacionaria	Arranque	Tracción	Estacionaria
2026	7.375.846	-	467.186	-	60.186	335.913
2027	7.541.261	-	440.111	-	89.400	396.718
2028	7.679.343	-	403.447	-	129.601	468.529
2029	7.851.982	-	355.260	-	182.741	553.339
2030	8.006.536	-	293.259	-	250.199	653.501
2031	8.171.330	-	214.730	-	332.882	771.794
2032	8.328.378	-	116.459	-	431.737	911.499
2033	8.505.313	-	-	-	548.490	1.076.493
2034	8.687.179	-	-	-	686.259	1.271.353
2035	8.868.452	-	-	-	849.758	1.501.485

Fuente: elaboración propia, en base a DICTUC 2021.

Para definir la ubicación geográfica de las baterías de arranque y tracción se utiliza la proyección de crecimiento poblacional basado en datos del INE, trabajando con el supuesto de que las baterías se encontrarán en donde se encuentre la población.

Para las baterías estacionarias la ubicación geográfica se estima a partir de datos del Ministerio de Energía, 2025, de donde proviene información de proyectos de almacenamiento. Vale la pena mencionar que todos los proyectos en dicho reporte son de baterías de iones de litio, lo que sostiene la idea de que las baterías de plomo se encuentran en salida, al menos para grandes sistemas de almacenamiento energético. Baterías estacionarias de

plomo pueden ser encontradas en otros sistemas de soporte y en almacenamiento energético menor, como el residencial o comercial. La información presente en el reporte se resume en la Tabla 8. Finalmente, la potencia instalada como porcentaje del total se utiliza para proyectar la ubicación de las baterías estacionarias. Se utiliza la suma para cada comuna, a modo de ejemplo, para Antofagasta se estima un 17,8%, basado en los valores que aparecen en las etapas En operación (12,1%), Proyectos en construcción (4,4%) y Proyectos en prueba (1,2%).

Tabla 8 Proyectos de almacenamiento a enero de 2025

Etapas del proyecto	Comuna	Potencia instalada (MW)	Potencia instalada como porcentaje del total
Centrales admitidas a tramitación	Copiapó	450	11,7%
	Coquimbo	400	10,4%
	La Ligua	381	9,9%
	Melipilla	120	3,1%
	Rengo	40	1,0%
	San Javier	40	1,0%
	Tiltil	300	7,8%
	Valparaíso	150	3,9%
En operación	Antofagasta	465	12,1%
	Arica	2	0,1%
	Copiapó	58	1,5%
	Talca	3	0,1%
	Temuco	32	0,8%
	Tiltil	119	3,1%
Proyectos en construcción	Antofagasta	171	4,4%
	Arica	3	0,1%
	Diego de Almagro	10	0,2%
	María Elena	461	12,0%
	Pozo Almonte	298	7,7%
	Tierra Amarilla	110	2,9%
	Tocopilla	116	3,0%
	Zapallar	3	0,1%
Proyectos en prueba	Antofagasta	48	1,2%
	Ovalle	3	0,1%
	Tocopilla	68	1,8%

Fuente: Ministerio de Energía, 2025.

3.1.2 Estimación residuos generados

La Tabla 9 presenta la generación de residuos (miles de toneladas) para baterías de plomo-ácido, las que se encuentran vinculadas a arranque y en menor medida a baterías estacionarias. En la Tabla 10 se presentan los mismos resultados, pero para baterías de iones de litio, las que se encuentran vinculadas a baterías de tracción y a baterías estacionarias. Se espera que en el futuro esta tecnología supere al plomo-ácido debido principalmente a un aumento de la electromovilidad. La desagregación por

región se obtiene a través de la Tabla 8 para baterías estacionarias, mientras que para baterías de arranque y tracción se utiliza la población comunal como dato par desagregar respecto del total nacional.

Tabla 9 Proyección residuos generados de baterías de plomo-ácido en miles de toneladas

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Arica y Parinacota	0,56	0,57	0,58	0,59	0,61	0,62	0,63	0,65	0,66	0,68
Tarapacá	1,03	1,06	1,08	1,11	1,14	1,17	1,23	1,20	1,29	1,32
Antofagasta	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52	2,71	2,48	2,78	2,83
Atacama	1,01	1,03	1,06	1,08	1,11	1,13	1,22	1,11	1,25	1,27
Coquimbo	2,09	2,15	2,20	2,27	2,33	2,39	2,49	2,47	2,61	2,67
Valparaíso	4,57	4,68	4,78	4,89	5,00	5,11	5,27	5,27	5,50	5,62
Metropolitana	18,04	18,45	18,79	19,21	19,58	19,97	20,39	20,71	21,28	21,74
O'Higgins	2,19	2,24	2,29	2,34	2,39	2,44	2,49	2,54	2,61	2,67
Maule	2,50	2,56	2,62	2,68	2,73	2,79	2,86	2,91	2,99	3,06
Biobío	4,63	4,72	4,79	4,88	4,96	5,04	5,12	5,22	5,32	5,42
La Araucanía	2,18	2,23	2,26	2,31	2,35	2,39	2,43	2,47	2,53	2,58
Los Ríos	0,87	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,98	1,00	1,02
Los Lagos	1,92	1,96	2,00	2,04	2,08	2,11	2,15	2,20	2,25	2,29
Aysén	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26
Magallanes	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	0,46
Total nacional	44,41	45,44	46,32	47,37	48,32	49,31	50,65	50,91	52,78	53,92

Fuente: Elaboración propia en base a resultados.

Tabla 10 Proyección residuos generados de baterías de iones de litio en miles de toneladas

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Arica y Parinacota	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Tarapacá	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,21	0,26	0,31	0,37	0,45
Antofagasta	0,36	0,44	0,54	0,64	0,77	0,91	1,08	1,29	1,53	1,82
Atacama	0,17	0,21	0,25	0,30	0,36	0,43	0,51	0,61	0,72	0,86
Coquimbo	0,11	0,14	0,17	0,20	0,25	0,30	0,36	0,44	0,54	0,65
Valparaíso	0,15	0,19	0,23	0,28	0,35	0,43	0,52	0,64	0,79	0,98
Metropolitana	0,18	0,23	0,29	0,38	0,49	0,64	0,84	1,10	1,43	1,86
O'Higgins	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05	0,06	0,08	0,11	0,15	0,20
Maule	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12	0,17	0,22
Biobío	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,15	0,21	0,30
La Araucanía	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,14	0,18
Los Ríos	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06
Los Lagos	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09	0,13
Aysén	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Magallanes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Total nacional	1,11	1,39	1,72	2,13	2,62	3,25	4,03	5,01	6,25	7,78

Fuente: Elaboración propia en base a resultados.

Los residuos generados pueden considerar datos de PoM entre los años 2014 a 2026 (dependiendo de la categoría), la proyección se establece según las definiciones de vida útil y/o probabilidad de fallo según lo definido en el capítulo 2.2.1.

3.2 Toneladas recolectadas y valorizadas

Respecto del proceso de recolección y valorización, para la evaluación de este Anteproyecto se incorporó información recopilada por DICTUC, 2021, en la cual, la recolección y valorización de baterías de plomo-ácido ya alcanza el 90% del total de residuos generados, siendo este valor igual al máximo exigido en la meta para este tipo de baterías, lo que generará que la regulación no genere cambios en el escenario actual, obteniendo como resultado del ejercicio de AGIES costos y beneficios iguales a cero para este tipo de baterías..

Para el caso de baterías de iones de litio, no fue posible encontrar información que pudiese indicar que existe recolección y valorización de

esta categoría de baterías. Los supuestos de línea base con los que se trabaja se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11 Línea base de valorización de baterías por categoría

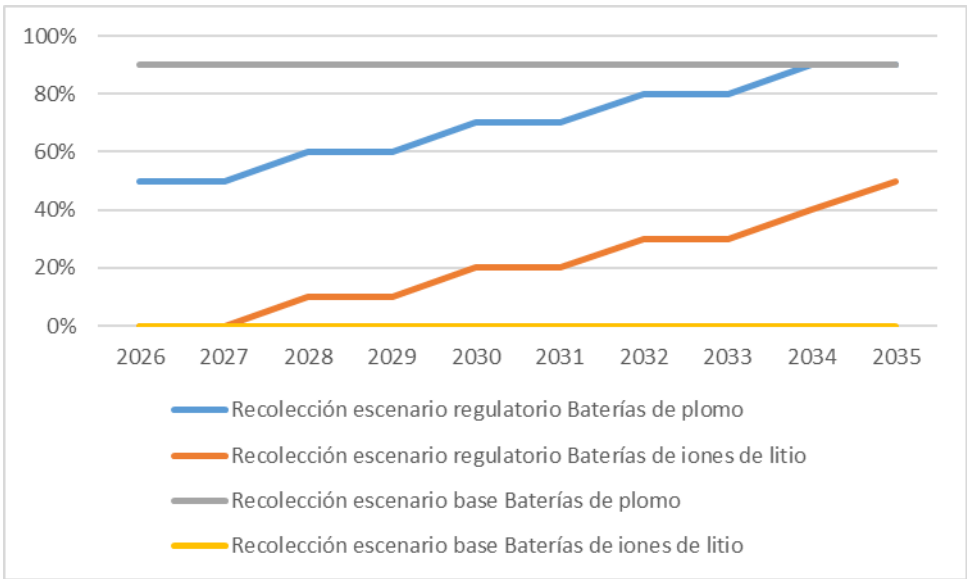
Categoría batería	Tasa de valorización en línea base
Plomo-ácido	90%
Iones de litio	0%

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación que realiza el AGIES tiene por objetivo la comparación entre un escenario base y un escenario regulatorio, para identificar diferencias y los resultados económicos que estas diferencias tienen.

La Figura 6 busca ilustrar como se comportarán las recolecciones en escenario base respecto de las recolecciones de escenario regulatorio. Como es posible observar, para el caso de baterías de plomo-ácido (línea gris) la recolección en escenario base ya es del 90%, razón por la cual la regulación no tendría efectos sobre esta categoría de baterías. Para el caso de baterías de iones de litio ocurre todo lo contrario, en el escenario base no existe recolección de baterías de esta categoría, por lo que la regulación tendría efectos evidentes.

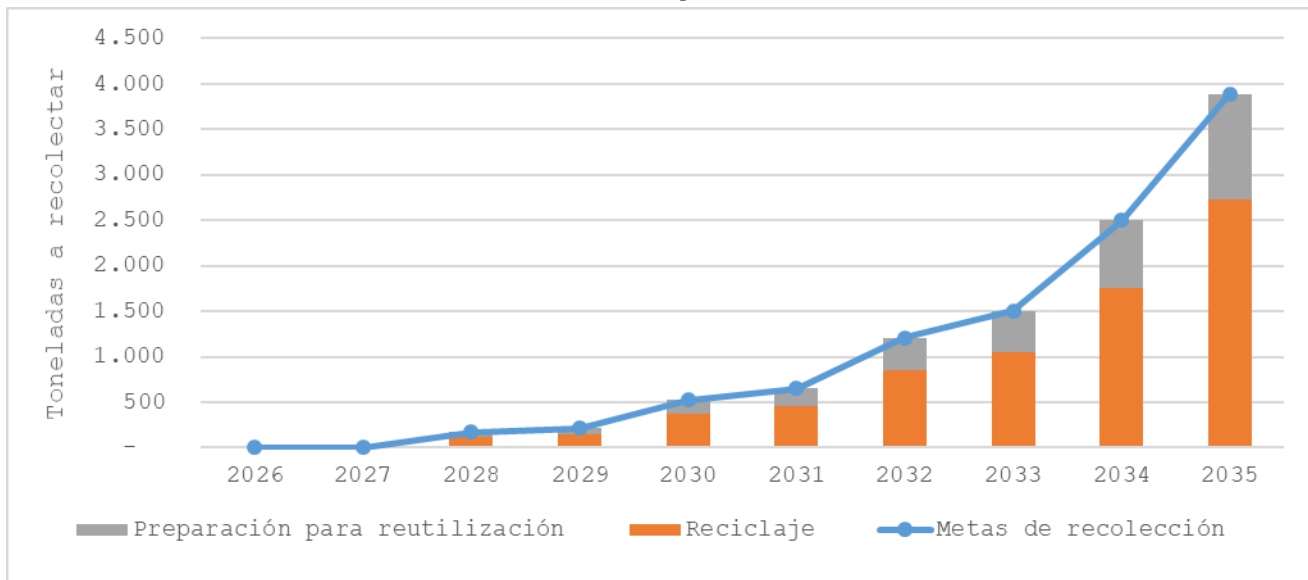
Figura 6 Comparación recolección entre escenarios



Fuente: Elaboración propia.

La recolección y valorización de las baterías de ion-litio tenderá a ser la definida por las metas del decreto. La Figura 7 ejemplifica este escenario. Se puede observar que se cumple con las metas de recolección y la valorización se divide en preparación para reutilización (30%) y reciclaje (70%), de acuerdo con lo propuesto en el Anteproyecto.

Figura 7 Baterías de iones de litio recolectadas y valorizadas en escenario regulatorio



Fuente: elaborado en base a proyecciones realizadas.

La Tabla 12 presenta el aumento(Δ -delta) de recolección respecto de la línea base, el cual es atribuido al cumplimiento de las metas propuestas. Se puede observar que existe un valor de cero para para baterías de plomo-ácido, dado que ya se recolecta lo suficiente en escenario base para cumplir con las metas- por ende, no hay una recolección adicional exigida por el decreto.

Tabla 12 Distribución de recolección adicional respecto de línea base, en toneladas por año

Año	Baterías de iones de litio	Baterías de plomo-ácido
2026	-	0
2027	-	0
2028	172	0
2029	213	0
2030	525	0
2031	649	0
2032	1.209	0
2033	1.504	0
2034	2.499	0
2035	3.889	0

Fuente: Elaboración propia en base a resultados.

3.3 Aumento de las instalaciones asociadas a pretratamiento

Se estima que, el cumplimiento de las metas propuestas significaría la instalación de plantas de recepción y almacenamiento. El número de instalaciones que deberán estar operativas al momento de comenzar la recolección está dado por lo planteado en el artículo 26 del Anteproyecto y se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13 Cantidad acumulada de instalaciones de recolección y almacenamiento

2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
0	1*	4	7	10	14	20	26	34	43

*Si bien la normativa se estima entre en vigencia al segundo año (2028) se establece como supuesto para los costos que en el año t-1 (2027) ya deberá al menos existir capacidad instalada para recepción y almacenamiento.

Fuente: elaborado en base a proyecciones realizadas.

3.4 Resultados económicos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos dado el nuevo escenario propuesto para el Anteproyecto.

Los resultados se presentan a continuación se expresan únicamente para baterías de iones de litio, la razón está dada puesto que, al cumplirse la regulación de baterías de plomo-ácido no es posible estimar una reconfiguración del sistema de gestión actual, que permita identificar los costos y beneficios adicionales incorporados por la normativa, sino que, se asume que se mantendrán los sistemas actuales.

3.4.1 Costos

Los costos totales de la regulación, en valor presente corresponden a 32,65 MM USD, y se presentan en la Tabla 14, los costos se concentran en la preparación para la reutilización y les siguen los costos de reciclaje y los de instalación de puntos adicionales.

La preparación para reutilización se vincula directamente con la meta del artículo 20, en el que se plantea que, del total de baterías de iones de litio recolectadas, al menos un 30% debe ser valorizada a través de la preparación para la reutilización, por consiguiente, los costos presentados representan ese escenario.

Tabla 14 Resumen de costos por recolección y valorización de baterías, en valor presente y Millones de USD.

Tipo de costo	Costo [MM USD]
Recolección	1,59
Transporte	0,57
Pretratamiento	1,76
Reciclaje	6,94
Reutilización	12,41
Puntos adicionales	6,78
Garantía	0,87
Administración	1,72
Total	32,65

Fuente: Elaborado a partir de resultados obtenidos.

3.4.2 Beneficios

Los beneficios totales de la regulación, en valor presente corresponden a 56,02 MM USD, esto considera los beneficios generados por el aumento en la recolección y valorización de baterías de iones de litio. Para esta categoría también se plantean metas de reutilización respecto de lo recolectado, siendo este el principal impulsor de los beneficios, seguido por el valor de los materiales obtenidos tras la valorización. Adicionalmente se consideran los beneficios por una disminución de las desamenidades sociales por la disposición incorrecta de las baterías y beneficios(ahorros) por una disminución de la cantidad de baterías que deberán ser enviadas a rellenos de seguridad. La Tabla 15 resume estos beneficios.

Tabla 15 Resumen de beneficios por recolección y valorización de baterías, en valor presente y MM USD.

Tipo de beneficio	Beneficio (MM USD)
Valor de lo reciclado	20,10
Valor de baterías de segunda vida	22,64
Disminución de desamenidades	9,70
Ahorros rellenos de seguridad	3,58
Total	56,02

Fuente: Elaborado a partir de resultados obtenidos.

3.5 Análisis de Costos y Beneficios.

El AGIES usa como principal herramienta para la evaluación de una política pública el análisis de costos y beneficios (ACB), razón por la cual en este capítulo se presentan de forma resumida los resultados de este indicador por tipo de residuo.

Los resultados indican que en ACB relación entre los beneficios y los costos (razón B/C) es de 1,72, podemos establecer que, respecto a la información y supuestos considerados en este AGIES, por cada 1 USD que se invierta en la recolección y valorización de baterías, se obtendrá un beneficio social de 1,72 USD.

Tabla 16 Resumen de resultados

Categoría batería	Beneficios	Costos	Razón B/C
Iones de litio	56,02	32,65	1,72
Plomo-ácido	0	0	N/A
Total	56,02	32,65	1,72

Fuente: Elaborado a partir de resultados obtenidos.

4 Referencias

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Handbook on the Re-use of End-of-Life Lithium-Ion Batteries from E-Waste (2023).

DICTUC. (2019). Estimación de Beneficios Ambientales asociados a la Implementación de la Ley REP para los productos prioritarios (Aparatos Eléctricos y Electrónicos), a través de Experimentos de Elección. Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente INFORME.

DICTUC. (2021). Actualización de información base e impactos ambientales específicos del producto prioritario baterías, contenido en la Ley N°20.920.

E2Biz. (2019a). Informe N°1 Final. "Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenidos en la ley 20.920".

E2Biz. (2019b). Informe N°3. "Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenido en la Ley 20.920".

E2Biz. (2024). Antecedentes para la elaboración de análisis económico y social de metas de recolección y valorización para Baterías de ion litio provenientes de la electromovilidad.

Lave, & Gruenspecht. (1991). Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit Cost Analysis and Effluent Fees. *Journal of Air and Waste Management* 41., 680-690.

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2024). Precios Sociales. Departamento de Metodologías y Estudios. División de Evaluación Social.

Ministerio de Energía. (2025). Reporte de proyectos en Construcción e Inversión en el Sector Energía mes de enero de 2025.

Ministerio de Medio Ambiente. (2016). Ley 20.920. Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 8, Reglamento que regula el Procedimiento de Elaboración de los Decretos Supremos Establecidos en la Ley N° 20.920.

Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Análisis General de Impacto Económico y Social de Anteproyecto de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "pilas y aparatos eléctricos y electrónicos" contenido en la ley 20.920.

Ministerio del Medio Ambiente. (2025). Análisis General de Impacto Económico y Social de Proyecto Definitivo de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "pilas y aparatos eléctricos y electrónicos" contenido en la ley 20.920.

Ministerio del Medio Ambiente. (2026). Anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización y obligaciones asociadas de baterías.

Resource Productivity & Recovery Authority (RPRA). 2024. Annual Report. RPRA, Ontario's circular economy regulator.

Servicio Nacional de Aduanas. (2019). Base de datos de importación y exportación de aparatos eléctricos y electrónicos.



Anexo A Línea Base

a) Categorías de Baterías, por glosa de importación

La estimación de línea base y PoM requiere la identificación de categorías de baterías a analizar. Estas se presentan en la Tabla A-1 y en la Tabla A-2. Posteriormente estas baterías son organizadas en función de su uso como baterías de arranque, tracción y estacionarias.

Tabla A-1 Categorías Principales de Baterías, por glosa de importación

Categoría	Característica	Posición Arancelaria	Descripción glosa de importación
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
		8507.6000	Acumuladores de iones de litio
		8507.8000	Los demás acumulares eléctricos
		8507.9000	Partes de acumuladores eléctricos

Fuente: DICTUC, 2021.



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

Posición Arancelaria	Subcategoría	Característica técnica	Uso	Rango de peso
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
N/A	Estacionaria	250-1200 Ah, 12 volt, 10-20 años vida útil	Telecomunicaciones. Centrales eléctricas, almacenamiento.	400 kg - 1,280 kg
8507.3000		1,2 volt	Equipamiento médico, radiocontrol, equipos de seguimiento, herramientas profesionales (construcción, agricultura, etc.)	21-220 gr
8507.4000	Otros usos	55-500 Ah, 30-40 años vida útil	Uso limitado, actualmente en paneles solares y turbinas eólicas.	3-20 kg
8507.6000		Configuraciones diversas	Usos diversos	Pesos muy variables
8507.8000	Otros usos			
8507.9000	Otros usos			

Fuente: DICTUC, 2021.

b) Baterías puestas en el mercado

La determinación del total de baterías puestas en el mercado (PoM) será función de la importación y exportación de baterías, pero también dependerá fuertemente de la entrada de vehículos de toda categoría, los que tienen incorporadas baterías desde fábrica. Existe un sinnúmero de aparatos eléctricos y electrónicos que utilizan baterías, pero virtualmente todas estas baterías quedan fuera de la evaluación al tratarse de baterías con un peso menor a 5 kilogramos. En la Tabla A-3 se explican los tipos de baterías identificados. En la Tabla A-4 se estima la cantidad de baterías importadas y exportadas de plomo para el año 2019 y en la Tabla A-5 las exportaciones e importaciones de baterías que no son de plomo. Esta información se utiliza para proyectar el PoM de baterías puestas en el mercado para los años futuros de la evaluación. Para esto se utiliza información de tasas de crecimiento poblacional del INE.

Tabla A-3 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.
	Diésel	Baterías para arranque de motores Diésel.
	Motocicleta	Baterías para arranque de motores de motocicletas o bicicletas motorizadas.
	Maquinaria	Baterías para arranque de motores de maquinarias usadas en 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 y drones.
	Otros vehículos	Baterías utilizadas en otros tipos de vehículos eléctricos de mayor envergadura.
	Scooter	Baterías para uso en scooters eléctricos.
Estacionaria	Estacionaria Energía	Baterías estacionarias usadas en producción de energía, como fotovoltaica, eólica y generación de gas.
	Estacionaria Industrial	Baterías estacionarias para uso industrial.
	Estacionaria Respaldo	Baterías estacionarias para respaldo energético, iluminación de emergencia y fuentes de poder.
	Estacionaria Sin Clasificar	Baterías estacionarias sin uso especificado.
	Médico	Baterías para equipos médicos como control, respiración y monitoreo.
	Telecomunicaciones	Baterías para uso en equipos de telecomunicaciones.
No batería	Cargador	Cargadores de baterías. No corresponden a baterías.
	Notebook	Baterías para computadores portátiles, consideradas como pilas por tamaño.
	Pilas	Pilas de diversos tipos, principalmente distintos a plomo.
	Celular	Baterías para celulares y otros aparatos pequeños.

Fuente: DICTUC, 2021.

Tabla A-4 Importaciones y exportaciones de baterías de plomo 2019

Categoría	Tipo	Unidades importadas	Unidades Exportadas	Total	Peso promedio [kg]	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	
	Diésel	703.805	389		16,9	11.888	
	Motocicleta	161.745	10		3,5	566	
	Maquinaria	5.140	516		17	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 baterías¹⁴	2.287.561	91.162	2.196.399			27.401

Fuente: DICTUC, 2021.

¹⁴ Los totales de baterías no incluyen la cantidad presentada en "No Baterías".

Tabla A-5 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
	Diésel				12,6	0	
	Motocicleta	10			16,9	0	
	Maquinaria	9.207			3,5	32	
Tracción	Otras Litio	23.894	22	776.736	17	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 baterías¹⁵	965.614	5.704	959.910			4.303

Fuente: DICTUC, 2021

¹⁵ Los totales de baterías no incluyen la cantidad presentada en "No Baterías".

c) Generación de residuos de baterías

De acuerdo a lo planteado en la Ecuación 8, la generación de residuos de baterías se modela mediante tasas de fallas probabilísticas calculadas mediante la utilización de información empírica. Para el caso de baterías de iones de litio se utiliza la distribución de Weibull descrita en la sección 2.2, mientras que para las baterías de plomo-ácido se trabaja con un valor de vida útil y las baterías se convertirían en residuos una vez pasada su vida útil. La información anterior permite generar las proyecciones de la Tabla A-6. Esta tabla se utiliza para generar la información base de Baterías Fuera de Uso (BFU), pero sobre esta se realizan estimaciones respecto de las baterías que no deben incluirse en la regulación, de las cuales destacan principalmente las baterías de arranque de vehículos pequeños, como motos o similares de baja cilindrada y baterías de tracción de micromovilidad, como scooters y bicicletas eléctricas. Una vez restados estos valores se obtienen la estimación mostrada en la Tabla 9 y la Tabla 10, valores sobre los cuales se estima lo recolectado en función de las metas.

Tabla A-6 Generación de BFU según clasificación de batería [toneladas],
2025 y 2030

Año Proyección	Clasificación	Escenario conservador electromovilidad			Escenario optimista electromovilidad		
		Vida útil Corta	Vida útil Media	Vida útil Larga	Vida útil Corta	Vida útil Media	Vida útil 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

Fuente: DICTUC, 2021.

Anexo B Modelación y estimación de Costos

a) Costos de recolección

La recolección de los residuos de baterías se podrá llevar a cabo mediante el traslado por parte de los generadores del residuo a una instalación de recepción. El costo de recolección se determina de manera diferenciada para cada una de las categorías de residuos en USD por tonelada.

Los costos de recolección se pueden expresar como sigue:

$$C_{recolección}_t = \sum_{i,n,z} RBat_{t,n,z}^{Disp} * Costo_{rec}_{n,z} \quad \text{Ecuación B-9}$$

Donde,

$C_{recolección}_t$: costo total de recolección en el año t (USD).

$RBat_{t,n,z}^{Disp}$: cantidad de baterías total de categoría n disponible para recolectar en el año t (toneladas) en la zona z.

$Costo_{rec}_{n,z}$: costo de recolección para baterías de categoría n en la zona z (USD/tonelada).

Se considera un costo de recolección según categoría de batería y zona geográfica, específicamente los valores unitarios son:

Tabla B-1: Costos medios de recolección por categoría de batería, zona y método de recolección (USD/ton)

Zona	Categoría batería	
	Iones de litio	Plomo-ácido
Austral	245,6	245,6
Central	213,4	213,4
Norte Chico	173,1	173,1
Norte Grande	229,3	229,3
Sur	167,4	167,4

Fuente: Elaboración propia, basado en E2BIZ 2019.

Para estimar los costos para la recolección se consideran los costos presentados por E2Biz (2019b), específicamente aquellos estimados para un sistema de recolección, los que incluyen almacenamiento temporal, transporte a valorización y personal necesario. Al valor mencionado se le restan los costos de transporte (parte integrante del valor calculado en la referencia) ya que este análisis determinó estos últimos de manera separada.

b) Costos de pretratamiento

Corresponde a la suma de los costos asociados a los distintos procesos de pretratamiento, además de costo adicionales como administrativos o de permisos.

$$C_{pretratamiento}_t = \sum_{n,z} RBat_{t,n,z}^{Rec} * CPr_{n,z} \quad \text{Ecuación B-10}$$

Donde,

$C_{pretratamiento}_t$: costo total de pretratamiento en el año t (USD).

$RBat_{t,n}^{Rec}$: cantidad de baterías totales recolectada de categoría n en el año t en la zona z en toneladas.

$CPr_{n,z}$: costo medio unitario asociado al pretratamiento de baterías de categoría n recolectado en la zona z (USD/ton).

Los datos considerados para la estimación de los costos de pretratamiento son los calculados por E2Biz (2019b):

Tabla B-2: Costos medios de pretratamiento según categoría de batería y zona de recolección (USD/ton)

Zona	Categoría batería	
	Iones de litio	Plomo-ácido
Austral	282,25	282,25
Central	245,25	245,25
Norte Chico	189,25	189,25
Norte Grande	282,5	282,5
Sur	173,25	173,25

Fuente: (E2Biz, 2019b).

c) Costos de transporte al punto de valorización

El costo de transporte al punto de valorización considera el movimiento de las baterías desde el punto de generación y recolección al lugar donde se ubican las plantas de valorización. Se utiliza un valor medio por tonelada transportada calculada por E2Biz (2019b)¹⁶ que considera aspectos como la distancia geográfica entre los lugares de origen y destino, costos de combustible y otros asociados al transporte por carretera, rendimiento de los vehículos de transporte, entre otros.

¹⁶ Este estudio sigue la metodología desarrollada en el AGIES de Envases y Embalajes (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

Matemáticamente:

$$C_transporte_t = \sum_{n,z} R Bat_{t,n,z}^{Rec} * CTrans_{n,z}$$

Ecuación B-11

C_transporte_t: costo total de transporte en el año t (USD) .

RAEEP_{t,n}^{Rec}: cantidad de baterías totales recolectada de categoría *n* en el año t en la zona *z* en toneladas.

CTrans_{n,z}: costo medio unitario asociado al transporte de baterías de categoría *n* recolectado en la zona *z* (USD/ton) .

Los valores unitarios son:

Tabla B-3: Costos medios de transporte según categoría de batería y zona de recolección (USD/ton)

Zona	Categoría batería	
	Iones de litio	Plomo-ácido
Austral	474	474
Central	20	20
Norte Chico	92	92
Norte Grande	258	258
Sur	59	59

Fuente: (E2Biz, 2019b) .

d) Costos valorización para reciclaje o preparación para la reutilización

Los residuos valorizados son transados en el mercado para su inclusión en nuevos procesos productivos, generando un beneficio por el aumento de las cantidades vendidas, pero para que esto sea posible es necesario incurrir en costos que permitan la obtención de materiales tras el reciclaje o baterías de segunda vida útil tras la preparación para reutilización de estas.

Para las baterías de plomo se utiliza información proveniente del informe de E2BIZ de 2019 “Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para el producto prioritario Aparatos Eléctricos y Electrónicos, contenido en la Ley 20.920” en el que se presentan los costos de procesar residuos con contenido de plomo.

Para el caso de las baterías de iones de litio la información proviene de la misma consultora, pero del informe “Antecedentes para la elaboración de análisis económico y social de metas de recolección y valorización para Baterías de ion litio provenientes de la electromovilidad” del año 2024, documento que complementa la información faltante para baterías de iones de litio. En este informe se entrega información respecto de los costos por la valorización de las baterías de litio, pero también se entregan

datos respecto de los costos de obtener baterías de segunda vida. Este es un punto relevante, puesto que las metas de recolección para baterías de iones de litio plantean que al menos un 30% de las baterías recolectadas deben ser procesadas para reutilización.

Luego, el costo de obtener materiales tras la valorización o la obtención de baterías de segunda vida útil es:

$$CRecoReut_t = \sum_{n,z} RBat_{t,n}^{Rec} * CRR_n$$

Ecuación C-12

CRecoReut_t: costo por tonelada reciclada o preparada para reutilización en el año t (USD).

RBat_{t,n}^{Rec}: cantidad de baterías totales recolectada de categoría *n* en el año t en toneladas.

CRR_n: costo de obtención de baterías reutilizables o materiales en la valorización de baterías de categoría *n* (USD/ton).

Tabla B-4: Parámetros de beneficios unitarios por reciclaje o reutilización (USD/ton)

Tipo de beneficio	Categoría batería	
	Iones de litio	Plomo-ácido
Costo de reciclar	1.453	384
Costo de obtener batería segunda vida	6.064	N/A

Fuente: (E2Biz, 2019b y E2Biz, 2024).

e) Costos de monitoreo y fiscalización

Para el correcto cumplimiento de la presente regulación, y del funcionamiento de la responsabilidad extendida del productor en general, se requiere establecer procesos de fiscalización al o los sistemas de gestión que operen, con el propósito de verificar el cumplimiento de las metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas. Para aquello, la Superintendencia del Medio Ambiente incurrirá en costos de fiscalización.

El modelo de fiscalización se encuentra principalmente basado en la figura de autorregulación del o los sistemas de gestión. No obstante, en los casos de la fiscalización que tengan alta complejidad, la SMA es quien asumirá esa labor. Los costos vinculados a esta fiscalización están relacionados a las horas de trabajo de profesionales (abogados y técnicos para las Divisiones de Fiscalización y de Sanción y Cumplimiento), además del establecimiento de sistemas informáticos. El primer año se incurrirá en un

costo adicional por la adquisición de equipos informáticos de CLP 70 millones (Ord. 2175/2018 SMA).

Sin embargo, este costo se ejecutará antes del inicio de la regulación para el producto prioritario baterías. En efecto, el primer producto prioritario en operar corresponderá al producto prioritario neumáticos, ejecutándose allí los costos señalados de fiscalización. De modo que, para la presente evaluación, no se incurrirá en costos adicionales de fiscalización para el cumplimiento del escenario regulatorio, pues serán equivalentes a los ejecutados en línea base.

f) Costo de garantía y administración del sistema de gestión

El regulado, con el fin de asegurar el cumplimiento de las metas y obligaciones asociadas, incurre en una garantía. Esta consiste en certificados de depósitos a la vista, boletas bancarias de garantía a la vista, certificados de depósitos de menos de trescientos sesenta días, carta de crédito *stand by* emitidas por un banco, pólizas de garantía o cauciones a primer requerimiento. La garantía se calcula según la siguiente ecuación:

$$C_{Garantia_t} = IT * F_{BC} \quad \text{Ecuación C-13}$$

Donde:

IT: Total de ingresos anuales del sistema de gestión proveniente de aportes de los productores.

F_{BC}: Factor de buen cumplimiento, cuyo valor depende del número de años consecutivos en que el regulado ha cumplido con sus metas de recolección. Este valor puede moverse entre 0 y 1.

Para efectos del AGIES, *IT* se asume equivalente a los costos netos de recolectar, pretratar y valorizar, y *F_{BC}* toma el valor de 1.

Este monto, al ser una garantía, requiere quedar inmovilizado hasta el cumplimiento de las metas, de modo que se considera el costo de oportunidad de no estar invirtiendo ese dinero en el sistema financiero, particularmente en bonos locales de la Tesorería General de la República, que rentan a una tasa del 3,2% en el plazo de la regulación (Ministerio de Hacienda 2019).

El costo de administración se considera igual al 7,4% de los costos netos antes mencionados, esto considerando un valor similar al reportado por el sistema de gestión belga de RAEE RECUPEL (Ahlers, Hemkhaus, Hibler, & Hannak, 2021).

g) Costo de obligaciones asociadas

Se establece la existencia de dos obligaciones asociadas susceptibles de ser evaluadas en el AGIES. La primera corresponde a la instalación de recepción y almacenamiento (IRAs) en distintas comunas del país de acuerdo

a la población de estas. Es costo anual asociado se determina de la manera siguiente:

$$C_{Oblig.IRA_t} = \sum_z IRA_{t,z} * (CMant.OP_{anual} + CInv_{anual}) \quad \text{Ecuación C-14}$$

Donde:

$C_{Oblig.IRA_t}$: Costo total de la obligación asociada de instalaciones de recepción de residuos en el año t (USD).

$IRA_{t,z}$: Número de instalaciones de recepción de residuos operando en el año t en la zona z.

$CMant.OP_{anual}$: Costo anual de operación y mantención de una IRA en la zona (USD/año).

$CInv_{anual}$: Costo de inversión anualizado asociado a la existencia de una IRA en la zona z (USD/año).

Los costos considerados provienen de E2Biz (2019b) y son los siguientes:

Tabla B-5: Parámetros de costos unitarios para Instalaciones de Recepción y Almacenamiento de residuos

Zona geográfica	$CMant.OP_{anual} \frac{USD}{año}$	Costo de Inversión Total (USD por IRA)
Norte Chico	28.673	142.329
Norte Grande	43.305	142.329
Central	39.169	142.329
Sur	27.199	142.329
Austral	47.547	142.329

Fuente: (E2Biz, 2019b)

Los costos de operación y mantención anual corresponden a los estimados para un punto limpio, excluyendo de estos los costos de transporte a valorización. Los costos de inversión, por otro lado, consideran un área de 464 metros cuadrados por instalación en base al tamaño considerado en la construcción de la *Red de Puntos Limpios de la Región Metropolitana*¹⁷. La licitación tuvo un valor de USD 2.846.587, equivalente a un costo de 307 USD/m².

Para anualizar el costo de inversión se considera una vida útil de 10 años y la tasa de descuento de 5.5%.

Por otro lado, la estimación de los costos asociados a la obligación de retiro de residuos desde los hogares se considera, de manera parcial, en los costos de recolección.

¹⁷ Contempló la construcción de 20 puntos de recepción de residuos con una superficie total de 9.280 m².

Dado que para el producto prioritario "Pilas + Aparatos eléctricos y electrónicos" ya se considera la instalación de puntos de este tipo y por ende se espera la existencia de estos, para esta evaluación se considera el costo de modificación de los puntos que existirán para que puedan recibir baterías, además de los residuos de pilas y aparatos eléctricos y electrónicos que recibirán.

La gestión de residuos de baterías bajo esquemas de REP implica requisitos adicionales de seguridad operacional, almacenamiento seguro de residuos peligrosos, sistemas de detección y mitigación de riesgos de incendio, y manejo especializado. Esto está establecido tanto en los marcos regulatorios de Ontario (RPRA, 2024) como en guías técnicas internacionales para baterías de ion-litio (GIZ, 2023), lo que justifica adoptar un factor de ajuste del 30 % sobre el costo de infraestructura existente para reflejar adecuadamente las inversiones adicionales necesarias.



Anexo C Modelación y estimación de Beneficios

A continuación, se explicita la metodología que permite estimar los beneficios identificados en la Tabla 2. Por disponibilidad de información, no todos pueden ser estimados, en esos casos se denominan beneficios no cuantificables.

h) Beneficios por venta de residuos valorizados y obtención de baterías de segunda vida

Los residuos valorizados son transados en el mercado para su inclusión en nuevos procesos productivos, generando un beneficio por el aumento de las cantidades vendidas.

Para el caso de baterías el valor de los residuos tras su valorización se estima en función de las categorías de las baterías, de las cuales se espera obtener plomo o litio, entre otros componentes, dependiendo del tipo de batería. El valor obtenido por tonelada de batería reciclada es el que se ve en Tabla B-4. Para las baterías de plomo se utiliza información proveniente del informe de E2BIZ de 2019 "Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para el producto prioritario Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenido en la Ley 20.920" en el que se presentan valores de residuos que contienen plomo o baterías y a través de los cuales es posible concluir el valor por tonelada reciclada de baterías de plomo-ácido. Para el caso de las baterías de iones de litio la información proviene de la misma consultora, pero del informe "Antecedentes para la elaboración de análisis económico y social de metas de recolección y valorización para Baterías de ion litio provenientes de la electromovilidad" del año 2024, documento que complementa la información faltante para baterías de iones de litio. En este informe se entrega información respecto de los beneficios por la valorización de las baterías de litio, pero también se entregan datos respecto de los beneficios de obtener baterías de segunda vida. Este es un punto relevante, puesto que las metas de recolección para baterías de iones de litio plantean que al menos un 30% de las baterías recolectadas deben ser procesadas para reutilización.

Luego, el beneficio por los materiales obtenidos tras la valorización o la obtención de baterías de segunda vida útil es:

$$BRecoReut_t = \sum_{n,z} RBat_{t,n}^{Rec} * BRR_n$$

Ecuación C-15

$BRecoReut_t$: Beneficio obtenido por tonelada reciclada o preparada para reutilización en el año t (USD).

$RBat_{t,n}^{Rec}$: cantidad de baterías totales recolectada de categoría n en el año t en toneladas.

BRR_n : Beneficio por obtención de baterías reutilizables o materiales obtenidos en la valorización de baterías de categoría n (USD/ton).

Tabla C-1: Parámetros de beneficios unitarios por reciclaje o reutilización (USD/ton)

Tipo de beneficio	Categoría batería	
	Iones de litio	Plomo-ácido
Valor de materiales obtenidos por reciclaje	4.209	1.706
Valor batería segunda vida	11.063	N/A

Fuente: (E2Biz, 2019b y E2Biz, 2024).

i) Beneficios por aumento en las tasas de reciclaje de residuos de Baterías

La disposición inadecuada de los residuos de baterías trae asociado costos por contaminación de suelos, aguas y aire. Estos provocan externalidades a la población, reduciendo su bienestar. Esta desamenidad en general es difícil de cuantificar y valorizar, debido a que el aumento de malos olores, reducción de un ambiente libre de contaminación o el incremento del riesgo de contaminación por componentes de las baterías en cuerpos de agua o suelos no poseen precios de mercado.

En 2019, el MMA solicitó a través de la consultora DICTUC la estimación de beneficios ambientales por la disminución de la disposición inadecuada y aumento de las tasas de reciclaje de P+AEE. Así, a través de experimentos de elección, se logra calcular un valor que permite estimar los beneficios por el aumento de la recolección de residuos de P+AEE y, por tanto, la consecuente reducción de las desamenidades provocadas por la mala disposición de estos.

El método de experimento de elección corresponde a una técnica de preferencias declaradas, en donde se estima la disposición a pagar (DAP) de las personas encuestadas por el mejoramiento de su situación a través de un programa definido en un escenario hipotético. Este escenario plantea un aumento de la recolección de residuos de AEE y por tanto una reducción de los RAEE dispuesto inadecuadamente a través de un programa que financia mayoritariamente el Estado y las empresas privadas, pero con participación de las personas. La técnica ofrece un set de alternativas que describen el plan diferenciándose en los atributos y niveles de estos atributos. Por atributos se consideraron los tipos de residuos de baterías, método de recolección (retiro puerta a puerta o sin servicio), porcentaje de disposición adecuada alcanzada a nivel nacional gracias al programa, porcentaje de reciclaje alcanzado a nivel nacional gracias al programa y el monto de pago (DICTUC, 2019).

Luego, el beneficio por aumentar las tasas de reciclaje de P+AEE es:

$$B_AumentoR_t = \sum_n DAP_n * \Delta R_n * Pob_{activa}$$

Ecuación C-16

Donde

$B_AumentoR_t$: Beneficio por aumento de las tasas de reciclajes de los P+AEE respecto de la línea base (USD).

DAP_n : Disposición a pago mensual por aumento de un punto porcentual en la tasa de reciclaje de P+AEE según tipo, por persona (CLP/persona/mes).

ΔR_n : Variación porcentual de la tasa de P+AEE recolectados y valorizados respecto de la línea base (%).

Pob_{activa} : Población nacional económicamente activa.

Las personas consideradas en esta evaluación corresponden a la población urbana mayor de 18 años y económicamente activa, que es la población considerada en el ejercicio de valoración económica realizada por la consultora. Esto es así pues se necesita que la persona que declaró una DAP tenga efectivamente capacidad de pago.

Los valores de DAP unitarios considerados son los extraídos del AGIES de "metas de recolección y valorización de Pilas y Aparatos eléctricos y electrónicos", y tras la revisión de datos con la Oficina de Economía Circular se opta por utilizar el valor de "Electrodomésticos grandes, medianos y pequeños", al tratarse de un proxy razonablemente similar.

Tabla C-2: Disposición a pago (DAP) unitaria por aumento en un punto porcentual de la tasa de reciclaje de P+AEE (clp/persona al mes).

Tipo de P+AEE	DAP (CLP/persona/mes)	Intervalo de confianza
Aparatos refrigerantes	18,18	[15;21]
Electrodomésticos grandes, medianos y pequeños	17,95	[15;21]
Aparatos de iluminación	15,35	[13;18]
Aparatos con monitores y pantallas	17,52	[14;20]

Fuente: (DICTUC, 2019).

j) Beneficio por no uso de rellenos de seguridad

Dada la composición de las baterías de plomo-ácido o las baterías de iones de litio, la disposición correcta de este tipo de residuos significará el uso de rellenos de seguridad. De acuerdo con el

$$Bahorro_t = \sum_{n,z} R Bat_t^{Rec} * BHR$$

Ecuación C-17

Bahorro_t: Beneficio obtenido en forma de ahorro por no utiliza rellenos de seguridad en el año t (USD).

RBat_t^{Rec}: cantidad de baterías totales recolectadas en el año t en toneladas.

BHR: Beneficio por tonelada de baterías que no llega a rellenos de seguridad, porque fueron recicladas o preparadas para reutilización. El valor es de 525 (USD/ton).